



ACTA OCEANOGRÁFICA DEL PACÍFICO

2018

Volumen 22, N.º 1
ISSN N.º 1390-129 X

Volumen 22, N.º 1
ISSN N.º 1390-129 X

2018

ACTA OCEANOGRÁFICA
DEL PACÍFICO

Base Naval Sur. Av. 25 de Julio,
vía Puerto Marítimo.
Apartado postal: 5940
Código postal: 090205
(+593) 424 81300
inocar@inocar.mil.ec
www.inocar.mil.ec
Guayaquil - Ecuador

Revise publicaciones anteriores
en nuestra página web:
<http://bit.ly/InocarActas>



ACTA OCEANOGRÁFICA DEL PACÍFICO

Volumen 22, Nº 1, 2018

COMITÉ EDITOR

Editor

Patricio HIDALGO Vargas
Capitán de Navío -EM
Director del Instituto Oceanográfico de la Armada

Director de la Publicación

TNFG-SU Geovanny LEON Naranjo
Director de Oceanografía Naval-INOCAR

Subdirector de Publicación

Dr. Christian NARANJO Padilla M.Sc.
Jefe de División de Biología Marina-INOCAR

LISTA DE REVISORES DE LOS ARTICULOS

Dr. Luis Troccoli
Docente Universidad Estatal
Península de Santa Elena.

Dr. Manuel Cruz M.Sc.
Docente Emérito Universidad de Guayaquil
Facultad de Ciencias Naturales

Dra. Mirtha Lewis.
Investigador Centro Nacional Patagónico
Unidad de Biología y Manejo de Recursos
Acuáticos

Ing. Carlos Martillo PhD
Investigador Centro Nacional Patagónico
Politécnica del Litoral

Juan José Alava, Ph.D.
Institute for the Oceans and Fisheries, Faculty
of Science, the University of British Columbia
Vancouver, British Columbia, Canadá

Ing. Pamela Minchala
Subsecretaria de Gestión Marino y Costera
Ministerio del Ambiente Del Ecuador

Dra. María Luzuriaga M.Sc.
Investigador del Instituto Nacional de Pesca

Biól. Elcira Delgado M.Sc
Investigador del Instituto del Mar del Perú

Jaimie Rojas M.Sc.
Investigador de la Fundación La Salle
Venezuela

Biól. Xavier Oñate M.Sc.
Investigador

Biól. Pedro Jiménez
Investigador

Ing. Sergio Suárez M.Sc.
Instituto Oceanográfico de la Armada

Dra. María Elena Tapia M.Sc.
Instituto Oceanográfico de la Armada

Dr. Christian Naranjo
Instituto Oceanográfico de la Armada

Ing. Luis A. Cedeño
Investigador

AGRADECIMIENTOS Y CRÉDITOS

Los autores de los artículos publicados en el volumen 22, Número 1, desean expresar su agradecimiento al Señor CPNV-EM Patricio HIDALGO Vargas, Editor de la Revista Acta Oceanográfica del Pacífico y al TNFG-SU Geovanny LEON Naranjo, Director de la publicación, por todo el apoyo brindado para publicar los artículos científicos relacionados a las Ciencias Marinas que contribuyen a fortalecer las capacidades y conocimiento de las nuevas generaciones.

Nuestro reconocimiento a los señores investigadores que conforman la lista de revisores de las instituciones nacionales y extranjeras, que con su colaboración en calidad de revisores por pares de los artículos y sus valiosos comentarios aportaron para el éxito de la revista.

A la Lcda. Janeth Paredes, Ing. Mariuxi Vera y Lcdo. Oscar Huayamave funcionarias del INOCAR, por su colaboración en la creación de la infografía y en el diseño de la Portada de la revista Acta Oceanográfica del Pacífico-2018 respectivamente.

Finalmente deseamos expresar nuestro agradecimiento a la Biól. Elsa Salazar y a la Lcda. Alicia Alvarez que realizaron el levantamiento del texto en digital y la revisión de los artículos acogiendo a la norma que se solicita en la instrucción para los autores.

VARIABILIDAD DE LA CLOROFILA Y SU RELACIÓN CON EL FRENTE ECUATORIAL, ISLAS GALAPÁGOS DURANTE LOS AÑOS 2014 AL 2016.

VARIABILITY OF CHLOROPHYLL AND ITS RELATIONSHIP WITH THE EQUATORIAL FRONT, GALAPAGOS ISLANDS DURING THE YEARS 2014 TO 2016.

María Elena Tapia¹, Christian Naranjo ¹

¹ Instituto Oceanográfico de la Armada, INOCAR. Avda. 25 de julio- Base Naval Sur.
Email: maria.tapia@inocar.mil.ec christian.naranjo@inocar.mil.ec

Resumen

Se analizaron un total de 20 estaciones oceanográficas en el mar ecuatoriano durante los años 2014 al 2016. Se elaboraron mapas de distribución de clorofila a, y la relación con los parámetros físicos y químicos.

Las condiciones oceanográficas físicas fueron propicias para la presencia del Frente Ecuatorial y de los afloramientos ecuatoriales al oeste de las islas Galápagos el desarrollo del Evento El Niño 2015-2016, no siguió un patrón definido, sino que presentó características particulares para cada región del Océano Pacífico Sur. En Ecuador se observó que la productividad primaria aumentó considerablemente durante el Crucero CO-1-2016 existiendo la presencia de afloramientos con núcleos de clorofila a, que mostraron altas concentraciones celulares e incremento de la abundancia relativa.

Palabras Claves: Clorofila, productividad primaria, Frente ecuatorial, islas Galápagos, afloramiento.

Abstract

A total of 20 oceanographic stations were analyzed in the Ecuadorian sea during the years 2014 to 2016. Chlorophyll a distribution maps were elaborated, and its relationship with physical and chemical parameters was evaluated.

Physical oceanographic conditions favored the presence of the Equatorial Front and the equatorial upwelling to the west of the Galapagos Islands. The development of the El Niño 2015-2016 event, did not follow a defined pattern, but presented particular characteristics for each region of the Southern Pacific Ocean. In Ecuador it was observed that primary productivity increased considerably during the Cruise CO-1-2016 Cruise, with the presence of upwelling with an increase in chlorophyll, high cells concentrations an increase in relative abundance.

Keywords: Chlorophyll, primary productivity, Equatorial Front, Galapagos islands, upwelling.

INTRODUCCIÓN

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.

La clorofila *a* es una medida de los pigmentos verdes y de la biomasa del fitoplancton, 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 (Kirk, 1994); EPA, (2001).

Las algas son la base de la cadena alimenticia y responsables de la mayor parte de la productividad primaria por lo que su utilidad es para evaluar y/o monitorear la contaminación ambiental se basa en que algunas especies pueden reflejar los efectos de los contaminantes en el agua de mar a través de su presencia, ausencia o estado fisiológico. Si bien las algas son uno de los grupos más utilizados como bioindicadores en ecosistemas marinos, para metales pesados estas pueden exhibir concentraciones mucho más altas que las que se encuentran en otros organismos (Robledo & Freile, 2014).

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 (King, 1966).

El mar territorial ecuatoriano tiene características océano atmosféricas bien diferenciadas con respecto a otras regiones geográficas del Pacífico, como producto de la interacción de varias masas de agua y las condiciones atmosféricas del medio circundante.

Una de las características más importantes del océano entre las islas Galápagos y el Ecuador continental es el Frente Ecuatorial que se localiza normalmente entre los 0° a 3° sur, separando las aguas más frías y ricas en nutrientes de la Corriente de Humboldt y su extensión la Corriente Sur Ecuatorial de las aguas cálidas superficiales que generalmente se caracterizan por ser pobres en nutrientes procedentes del norte.

A pesar de que las condiciones oceanográficas estacionales del Frente Ecuatorial, generalmente se mantienen de año a año, sin embargo se han observado algunas diferencias, en la intensidad y permanencia del frente, sino también a fluctuaciones en pequeña y gran escala, ligadas a determinadas propiedades inherentes al ecosistema marino.

Su posición y orientación en el mar costero ecuatoriano y la intensidad de las termohalinas a través de los años y en las diferentes épocas de un mismo año, son las características más notables, que identifican la magnitud de su desarrollo y su repercusión en la vida acuática (Pak y Zaneveld, 1974).

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

Por lo mencionado, el objetivo de este trabajo es determinar la variabilidad de la productividad primaria en el margen insular, a fin de establecer las condiciones oceanográficas consideradas normales y aquellas que indiquen posible ocurrencia de eventos cálidos o fríos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio corresponde a veinte estaciones localizadas alrededor de las islas

Galápagos y ubicadas en las secciones 82°W, 86°W, 89°W y 92°W, (Figura 1).

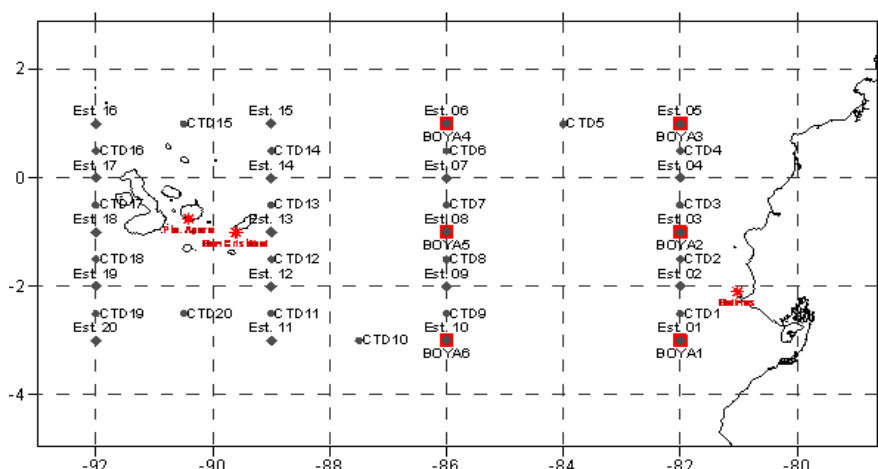


Figura 1. Ubicación de las estaciones Oceanográficas durante los cruceros oceanográficos 2014-2016.

Figure 1. Location of Oceanographic stations during oceanographic cruises 2014-2016.

Método de Campo:

En las estaciones oceanográficas se obtuvieron muestras de agua en ocho niveles de profundidad para análisis de clorofila *a* se colectaron muestras de un litro de agua de mar a 0, 10, 20, 30, 40, 50, 75 y 100 m de profundidad.

Las muestras de agua marina para el análisis de la clorofila *a* fueron filtradas con una bomba al vacío. Adicionalmente se utilizó un set de filtración donde se colocaron los filtros de fibra de vidrio Whatman de 0.48 μ , donde se vertieron 1000 ml de muestra.

Finalmente se adicionaron 2 ml de carbonato de magnesio para que los pigmentos de la clorofila se adhieran a los filtros.

Método de Laboratorio:

Posteriormente, los filtros fueron colocados en una solución de 10 ml de acetona al 90%, que luego fueron cubiertos con papel aluminio y llevados a refrigeración durante un período de 24 horas. Luego se centrifugaron las muestras durante 2 minutos a 1500 RPM. Se utilizó el fluorómetro digital para leer las densidades ópticas de clorofila *a*, las lecturas se realizaron directamente en el tubo de fluorescencia.

Para los cálculos de clorofila *a* se emplearon las ecuaciones detalladas en el manual de la SCOR UNESCO Working Group 17 (1966). Las muestras de clorofila se obtuvieron a bordo de cada muestreo. Los gráficos de distribución superficial y vertical se realizarán en el Programa ODV, (Tabla 1).

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

Table 1. Chlorophyll *a* scale: Primary Productivity expressed in 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

Características hidrográficas del Frente Ecuatorial.-

Cromwell y Reid (1956), han definido lo que es un frente oceánico, señalando que es una banda a lo largo de la superficie del mar a través de la cual la densidad cambia abruptamente, además de la densidad, temperatura y salinidad, otras propiedades pueden cambiar de igual forma a través de un frente, incluyendo velocidad de las corrientes y concentraciones de materiales disuelto y suspendido, algunas ocasiones con cambios notables en el color y transparencia del agua.

Wooster (1969), ha interpretado la presencia, como la posición promedio del Frente Ecuatorial entre los 80° y 90° W entre las costas de Ecuador y Perú y las islas Galápagos señalando que el Frente, es una manifestación en superficie que se caracteriza por ser una región que separa las aguas frías y más salinas de la Corriente del Perú, de las cálidas y menos salinas aguas tropicales del Norte. El límite entre los dos tipos de aguas es el Frente Ecuatorial, a través de análisis de los promedios de la temperatura superficial mensual, ha concluido sobre algunas características generales del Frente:

1. El Frente Ecuatorial es una característica superficial confinada sobre los 100 metros de profundidad.
2. Es una característica permanente.
3. La localización del frente varía estacionalmente.
4. El Frente está orientado zonalmente (Oeste- este) entre las Galápagos y los 84° W, y meridionalmente (Noreste-sureste) al este de los 83° W; y el gradiente de temperatura a través del Frente, decrece de este a oeste y, tiende a ser mayor, durante el invierno en el Hemisferio Sur que durante el verano.

Posteriormente han sido las investigaciones de Pak y Zaneveld, (1974) las que principalmente han contribuido al

conocimiento de las características oceanográficas ligadas al Frente Ecuatorial, desde el oeste de las islas Galápagos hasta las proximidades de la costa del Ecuador.

Debido a la importancia que tiene el trabajo de Pak y Zaneveld (*op.cit*) para las futuras investigaciones de la oceanografía física y biológica del Frente Ecuatorial, se presentan las conclusiones que han llegado estos autores:

- 1) El afloramiento ecuatorial asociado con la divergencia inducida por el viento y la Subcorriente Ecuatorial, parece ser el mayor origen del agua fría del Frente Ecuatorial al oeste de las islas Galápagos.
- 2) La Subcorriente Ecuatorial se extiende al este de las islas Galápagos más allá de los 85° 30'W, (Pak y Zaneveld, 1973) encontrándose así la Subcorriente asociada con el afloramiento al lado este de las islas Galápagos.
- 3) Se observa cuando está bien definido el Frente Ecuatorial está asociado con el afloramiento ecuatorial al este de las islas Galápagos.
- 4) Sugieren los autores que en adición a la Corriente de Perú, el afloramiento asociado con la Subcorriente puede ser el mayor origen del agua fría del Frente Ecuatorial en la región al este de las Galápagos entre los 3° W norte y 3°W sur.

RESULTADOS

Crucero CO-1-2014:

Sección 82°W: Distribución superficial de Clorofila *a*.

Se registraron aguas de alta productividad de clorofila *a*, entre 0.99–1.12 mg/m³ correspondientes a las E-3 y 4 respectivamente.

La menor concentración de clorofila se registró en la E-2 con 0.08 mg/m³ (Figura 2).

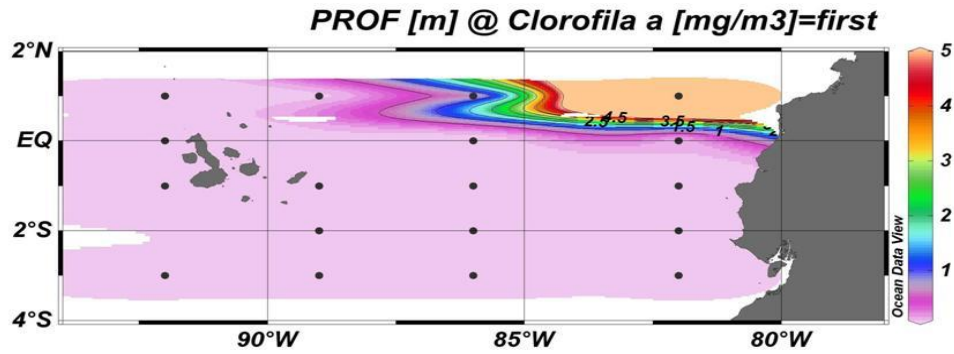


Figura 2. Distribución superficial de Clorofila *a* durante el C0-2-2014.

Figure 2. Chlorophyll *a* surface distribution during C0-2-2014.

Distribución subsuperficial de Clorofila *a*.

Se presentaron altas concentraciones de clorofila con rangos entre 1.06-2.45 mg/m³ localizados en las E-1 y 3 en los niveles de

20 – 30 metros de profundidad. Las menores concentraciones de biomasa clorofílica se encontraron en la E-2, con valores entre 0.04-0.10 mg/m³, (Figura 3).

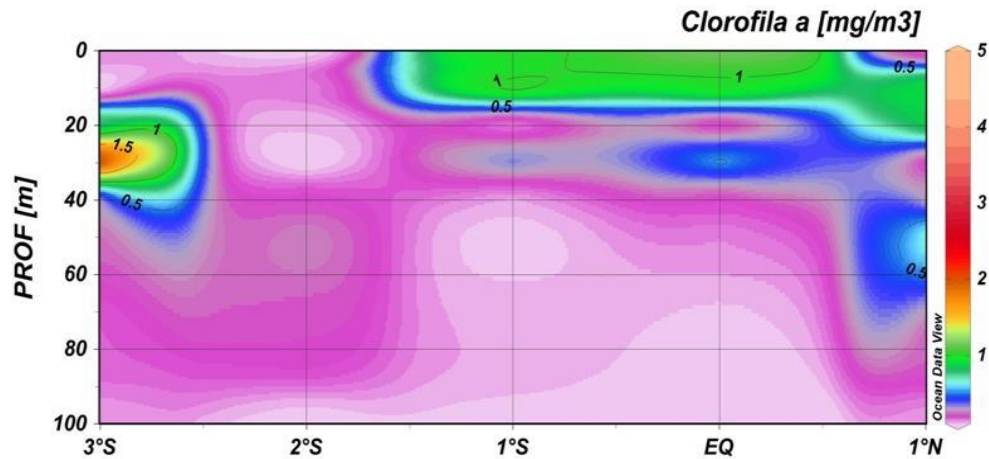


Figura 3. Distribución subsuperficial de Clorofila *a* durante el C0-2-2014, Sección 82°W.

Figure 3. Subsurface distribution of Chlorophyll *a* during C0-2-2014, Section 82°W.

Sección 86°W: Distribución superficial de Clorofila *a*.

Se registraron aguas de alta productividad con núcleos de clorofila *a*, entre 2.34-2.41mg/m³ correspondientes a las E-7 y 9 respectivamente (Figura 2).

Distribución subsuperficial de Clorofila *a*. Se registraron altos núcleos de clorofila con rangos entre 3.11-3.62-3.87mg/m³ localizados en las E-7 y 9 en los niveles de 30-40 metros de profundidad (Figura 4).

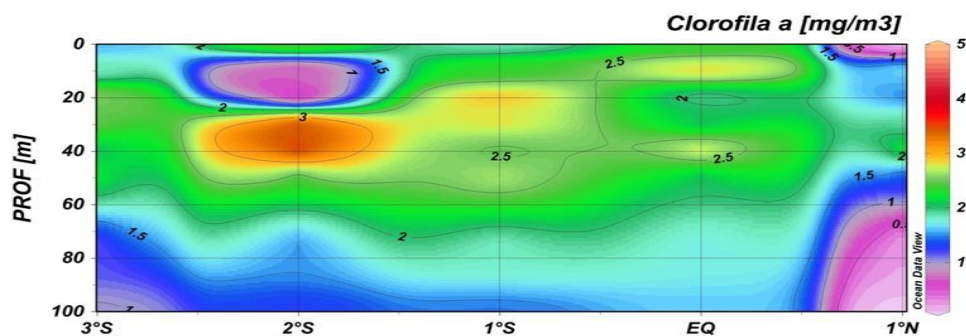


Figura 4. Distribución subsuperficial de Clorofila *a* durante el C0-2-2014, Sección 86°W.

Figure 4. Subsurface distribution of Chlorophyll *a* during C0-2-2014, Section 86°W.

Sección 89°W: Distribución superficial de Clorofila *a*.

Se registraron aguas de muy alta productividad con núcleos de clorofila *a*, entre 1.69-3.63 mg/m³ correspondientes a las E-12 y 13, respectivamente (Figura 2).

DISTRIBUCIÓN SUBSUPERFICIAL DE CLOROFILA *a*.

Se registraron altos núcleos de clorofila con rangos entre 3.68-4.26 mg/m³ localizados en la E-13 en los niveles de 20-30 metros de profundidad, siendo considerada esta sección la de mayor productividad primaria (Figura 5).

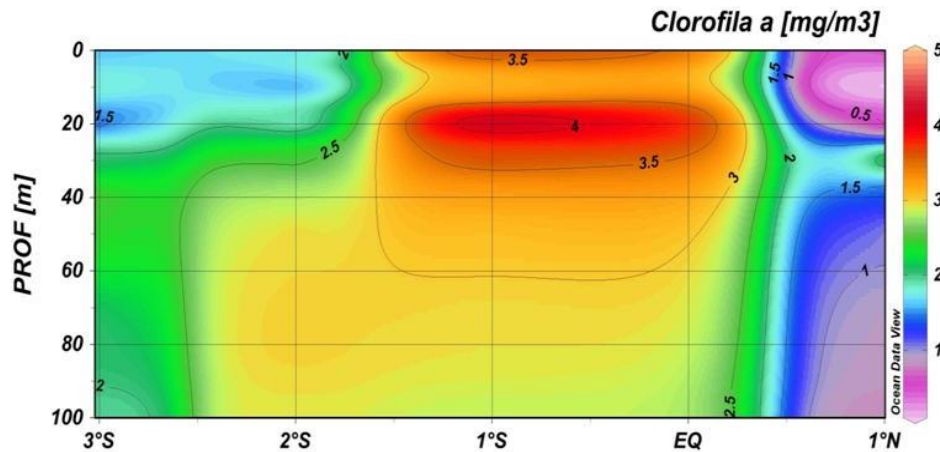


Figura 5. Distribución subsuperficial de Clorofila *a* durante el C0-2-2014, Sección 89°W.

Figure 5. Subsurface distribution of Chlorophyll *a* during C0-2-2014, Section 89°W.

Sección 92° W: Distribución superficial de Clorofila *a*.

En la capa superficial se registró un núcleo de clorofila *a*, con 2.87 mg/m³ localizado en la E-17.

La menor concentración de clorofila se registró en la E-20 con un valor de 0.49 mg/m³ (Figura 2).

DISTRIBUCIÓN SUBSUPERFICIAL DE CLOROFILA *a*.

Se presentaron tres núcleos de clorofila con rangos entre 2.69-2.96-3.46 mg/m³ localizados en las E-16, 17 y 18, a los 30 y 50 metros de profundidad, caracterizando un área de afloramiento.

La menor concentración de biomasa clorofílica se encontró en la E-20, con 0.08 mg/m³ (Figura 6).

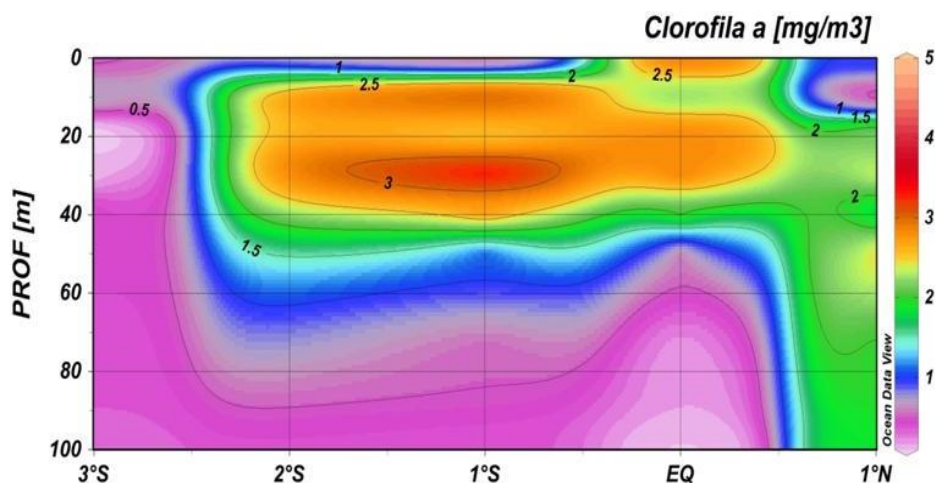


Figura 6. Distribución subsuperficial de Clorofila *a* durante el C0-2-2014, Sección 92° W.

Figure 6. Subsurface distribution of Chlorophyll *a* during C0-2-2014, Section 92° W.

Crucero CO-1-2015:

Sección 82°W: Distribución superficial de Clorofila *a*.

Se registraron aguas de baja productividad de clorofila *a*, con rangos entre 0.05-0.07

mg/m³ correspondientes a las estaciones 3 y 9 localizadas a 1° norte y 2°sur respectivamente. La menor concentración de clorofila se registró en la E-7 con un valor de 0.03 mg/m³ (Figura 7).

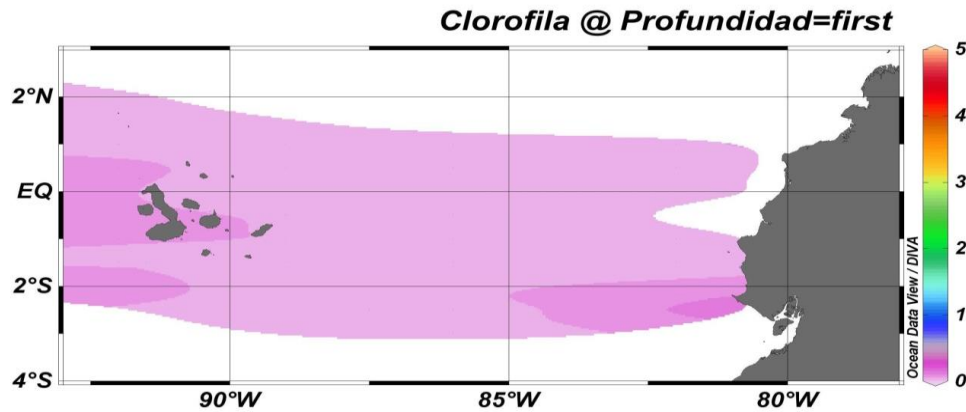


Figura 7. Distribución superficial de Clorofila *a*, durante el C0-1-2015.
Figure 7. Chlorophyll *a* surface distribution, during C0-1-2015.

DISTRIBUCIÓN SUBSUPERFICIAL DE CLOROFILA *a*.

Se registraron aguas ligeramente productivas de clorofila, a los 75 m de profundidad correspondiente a la E-1, con 0.19 mg/m³ y localizada a 3°sur.

La menor concentración de biomasa clorofílica se encontró a los 30 m de profundidad E- 9, con 0.02 mg/m³, (Figura 8).

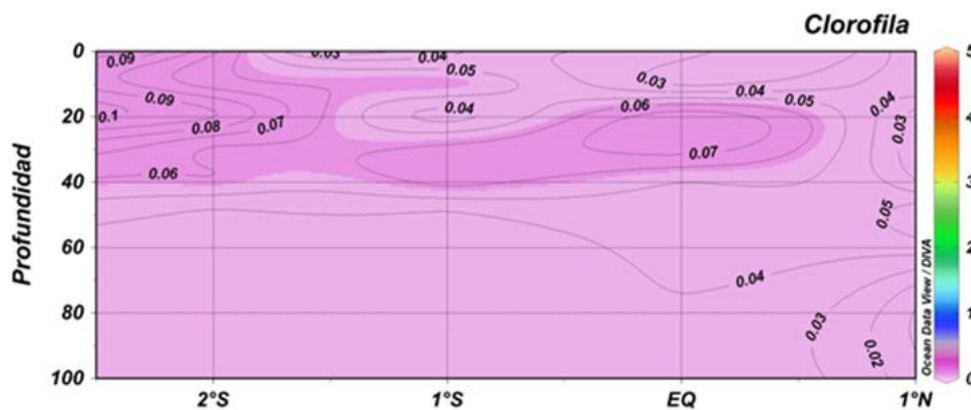


Figura 8. Distribución subsuperficial de Clorofila *a*, durante el C0-1-2015, Sección 82°W.
Figure 8. Subsurface distribution of Chlorophyll *a* during C0-1-2015, Section 82°W

Sección 86°W: Distribución superficial de Clorofila *a*.

En la capa superficial se registraron aguas de baja productividad de clorofila con 0.05 mg/m³ correspondiente a la E-17 localizada a 2°sur (Figura 7).

DISTRIBUCIÓN SUBSUPERFICIAL DE CLOROFILA *a*.

Se registraron aguas de baja productividad de clorofila con rangos entre 0.07-0.08 mg/m³ localizadas en la E-15, en los niveles de 30-40 metros de profundidad, siendo la menor concentración de clorofila en la estación 11 con 0.02 mg/m³ a los 10 metros de profundidad (Figura 9).

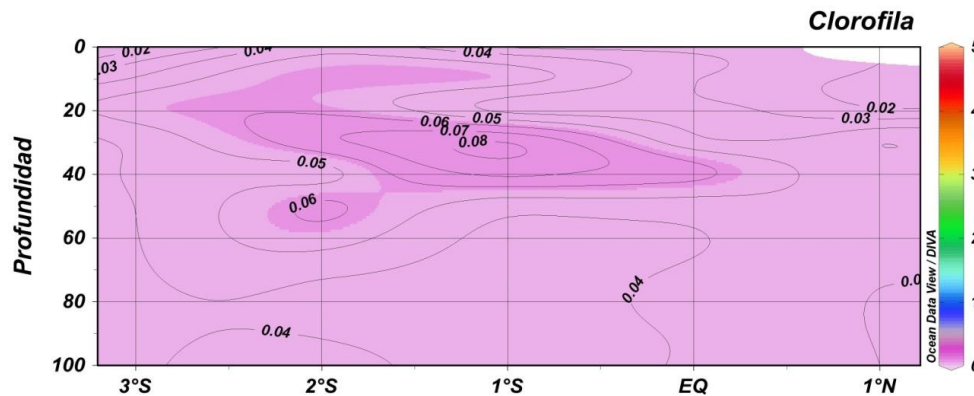


Figura 9. Distribución subsuperficial de Clorofila *a* de la Sección 86° W, durante el C0-1-2015.

Figure 9. Subsurface distribution of Chlorophyll *a* from Section 86 ° W, during C0-1-2015

Sección 89°W: Distribución superficial de Clorofila *a*.

Se registraron aguas de baja productividad de clorofila con 0.05 mg/m³ correspondiente a la E-23 a 1°sur (Figura 7).

DISTRIBUCIÓN SUBSUPERFICIAL DE CLOROFILA *a*.

Se encontraron aguas de baja productividad de clorofila con rangos entre 0.07-0.08 mg/m³ localizadas a 1°sur E-23 en los niveles de 20-30 metros de profundidad, siendo la menor concentración de clorofila en la estación 21 con 0.03mg/m³ a los 30 metros de profundidad (Figura 10).

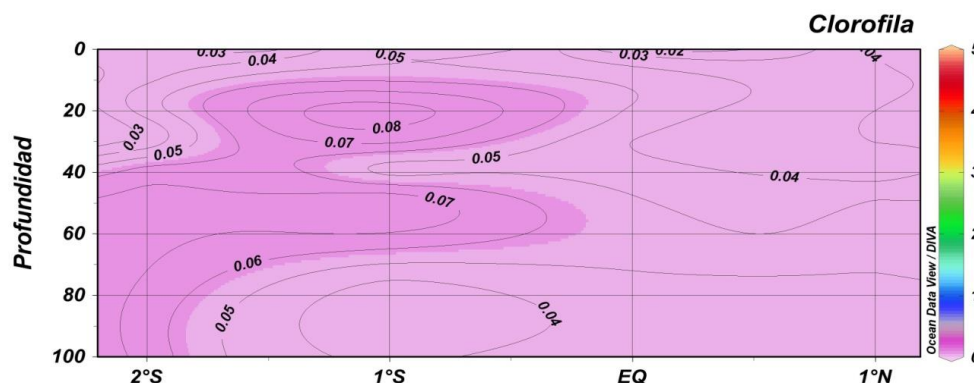


Figura 10. Distribución subsuperficial de Clorofila *a* de la Sección 89° W, durante el C0-1-2015.

Figure 10. Subsurface distribution of Chlorophyll *a* from Section 89 ° W, during C0-1-2015.

Sección 92° W: Distribución superficial de Clorofila *a*.

Se registró aguas de baja productividad de clorofila *a*, con 0.08 mg/m³ localizado a 2°sur en la E-25. La menor concentración de clorofila se registró en la E-33 con un valor de 0.02 mg/m³ (Figura 7).

DISTRIBUCIÓN SUBSUPERFICIAL DE CLOROFILA *a*.

Se presentaron aguas de baja productividad de clorofila con rangos entre 0.08-0.09 mg/m³ localizados a 0°sur y 2°sur en la E-29 y 25 a los 10 y 30 metros de profundidad respectivamente.

La menor concentración de biomasa clorofílica se encontró en la estación 33 a los 30 m de profundidad con 0.02 mg/m³ (Figura 11).

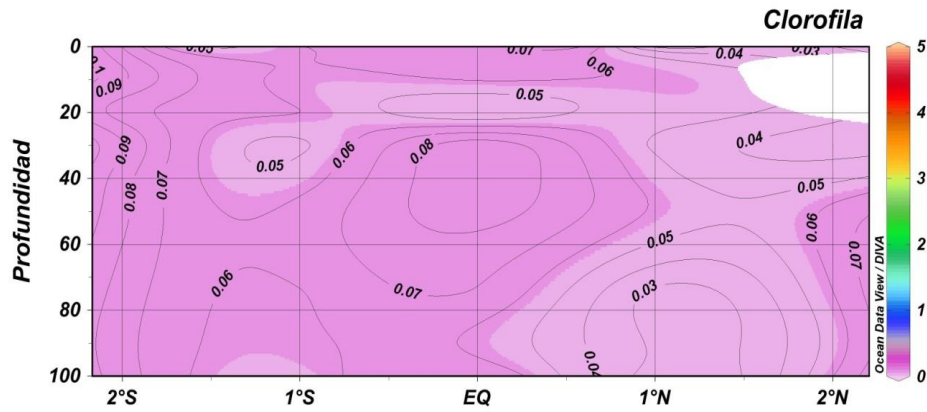


Figura 11. Distribución subsuperficial de Clorofila *a* de la Sección 92° W, durante el C0-1-2015.

Figure 11. Chlorophyll *a* subsurface distribution of Section 92 ° W, during C0-1-2015.

Crucero CO-1-2016:

Sección 82°W: Distribución superficial de Clorofila *a*.

Se registraron aguas de alta productividad de clorofila *a*, entre 1.58–2.01 mg/m³

correspondientes a las E-1 y 3 respectivamente.

La menor concentración de clorofila se registró en la E-9 con 0.22 mg/m³ (Figura 12).

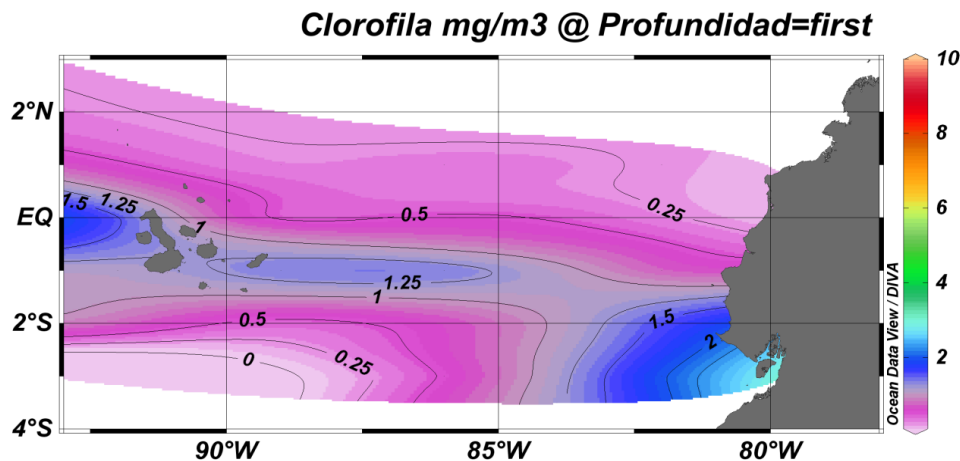


Figura 12. Distribución superficial de Clorofila *a* durante el C0-1-2016, Sección 82°W.

Figure 12. Surface distribution of Chlorophyll *a* during C0-1-2016, Section 82°W.

DISTRIBUCIÓN SUBSUPERFICIAL DE CLOROFILA *a*.

Se presentaron altas concentraciones de clorofila con rangos entre 1.61-1.76-2.18

mg/m³ localizados en las E-1 y 3, desde los 10 hasta los 30 metros de profundidad.

Las menores concentraciones de biomasa clorofílica se encontraron en las E- 7 y 9, con valores entre 0.17-0.21 mg/m³, (Figura 13).

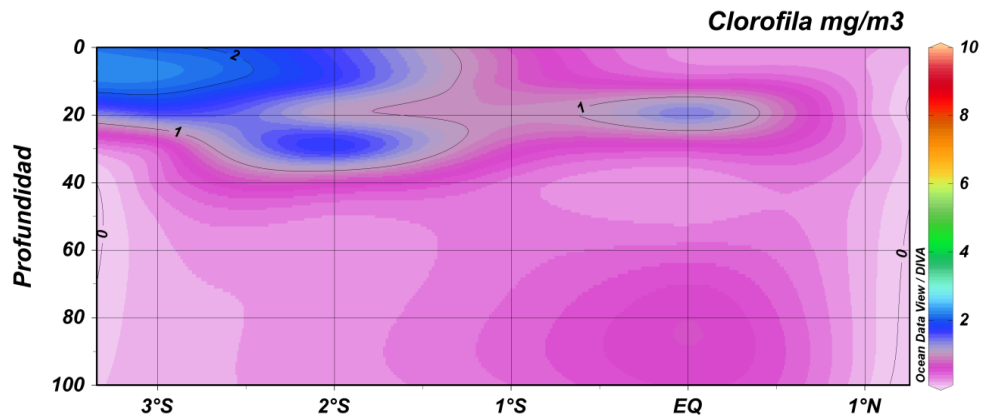


Figura 13. Distribución subsuperficial de Clorofila *a* durante el C0-1-2016, Sección 82°W.

Figure 13. Subsurface distribution of Chlorophyll *a* during C0-1-2016, Section 82°W.

Sección 86°W: Distribución superficial de Clorofila *a*.

Se registraron aguas productivas con valores entre 0.64-1.41 mg/m³ correspondientes a las E-13 y 15 respectivamente, (Figura 12).

DISTRIBUCIÓN SUBSUPERFICIAL DE CLOROFILA *a*.

Se encontraron altos núcleos de clorofila con rangos entre 2.55-2.96 mg/m³ localizados en las E-17 y 19, en los niveles de 20-30 metros de profundidad siendo considerada esta sección la de mayor productividad primaria, (Figura 14).

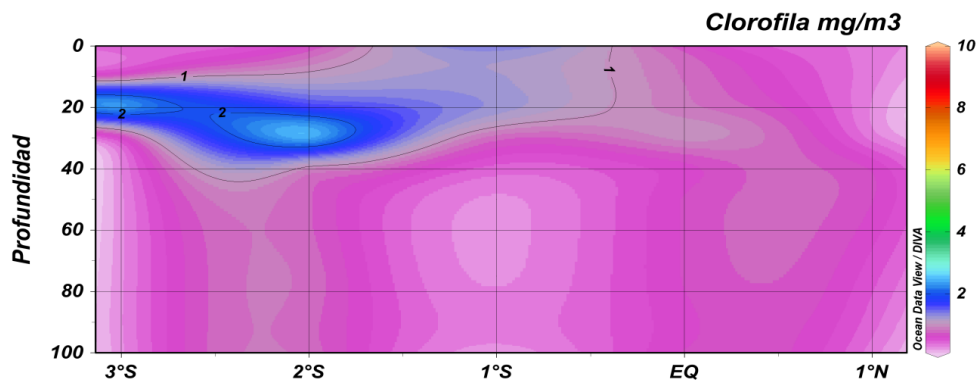


Figura 14. Distribución subsuperficial de Clorofila *a* durante el C0-1-2016, Sección 86°W.

Figure 14. Subsurface distribution of Chlorophyll *a* during C0-1-2016, Section 86°W.

Sección 89°W: Distribución superficial de Clorofila *a*.

Se registró aguas de alta productividad con un núcleo de 1.35 mg/m³ localizado en la E-23 (Figura 12).

DISTRIBUCIÓN SUBSUPERFICIAL DE CLOROFILA *a*.

Se registraron núcleos de clorofila con rangos entre 1.23-1.24-2.89 mg/m³ localizados en la E-23 en los niveles de 10-20 y 30 metros de profundidad (Figura 15).

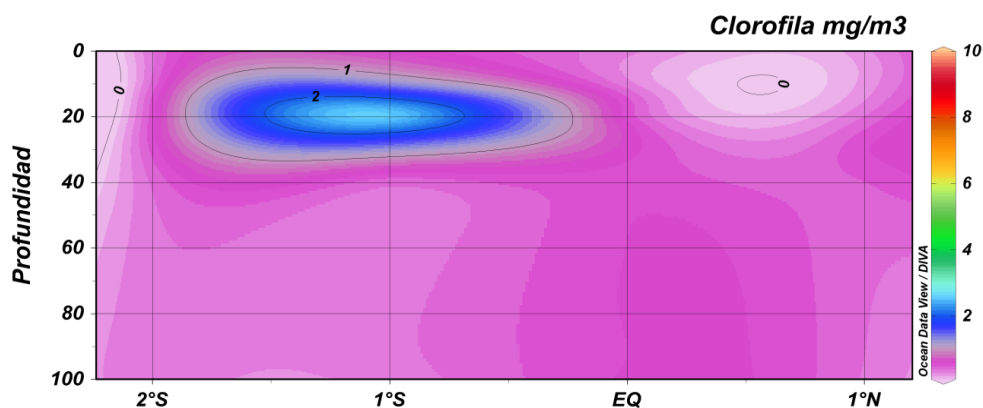


Figura 15. Distribución subsuperficial de Clorofila *a* durante el C0-1-2016, Sección 89°W.
Figure 15. Subsurface distribution of Chlorophyll *a* during C0-1-2016, Section 89°W.

Sección 92° W: Distribución superficial de Clorofila *a*.

En la capa superficial se registraron aguas productivas de clorofila *a*, con 1.09-1.59 mg/m³ localizados en las E-27 y 29.

La menor concentración de clorofila se registró en la E-33 con 0.26 mg/m³ (Figura 12).

Distribución subsuperficial de Clorofila *a*.

Se presentaron tres núcleos de clorofila con rangos entre 1.01-1.22-1.33 mg/m³ localizados en las E-27 y 29, desde los 10 hasta los 30 metros de profundidad, caracterizando un área de afloramiento.

La menor concentración de biomasa clorofílica se encontró en la E-33, con rangos entre 0.35-0.37 mg/m³ (Figura 16).

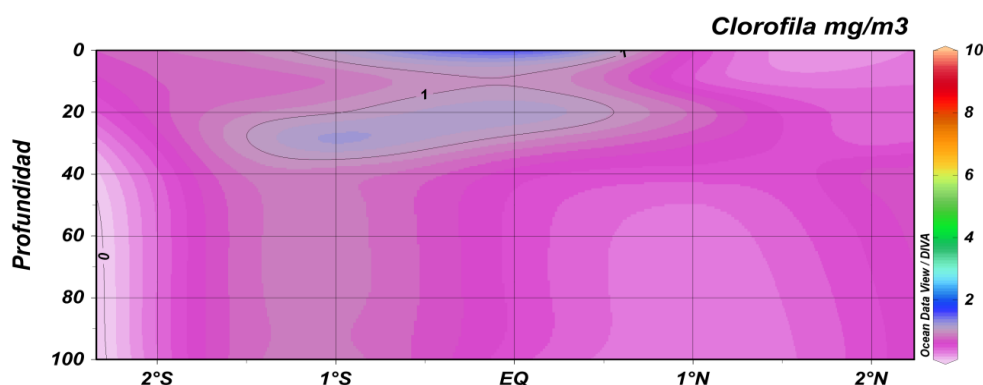


Figura 16. Distribución subsuperficial de Clorofila *a* durante el C0-1-2016.
Figure 16. Subsurface distribution of Chlorophyll *a* during C0-1-2016, Section 92° W.

DISCUSIÓN

Se realizó una recopilación de la información en ésta área del mar ecuatorial.

Según Jiménez (1978), destaca que los valores de clorofila *a* superior a 5.50 mg/m³ de clorofila 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 varía de acuerdo a la posición geográfica y estación del año y se identifican por medio de la distribución latitudinal de la temperatura.

Cullen, Reid y Stewart (1982), consideran a la clorofila como un indicador de biomasa fitoplanctónica, utilizada para definir zonas potencialmente productivas.

Tapia y Torres (2000), en un estudio efectuado alrededor de las bahías en las islas Galápagos registraron que la biomasa en peso de Clorofila fue de 0.56 mg/m^3 es decir una relación de 1:1, con excepción en el área de afloramiento en Isabela que fue 1:3 (1.54 mg/m^3 : 5405123 cél/l).

Tapia y Naranjo (2005-2006), registraron en las islas Galápagos que la concentración de la biomasa de clorofila se presentó mayor a 1° norte de la sección 90°W y a 0° índice que fue disminuyendo progresivamente hacia el sur, con rangos que se encuentran dentro de una categoría de baja productividad primaria.

Naranjo y Tapia (2007), reportaron en un estudio efectuado en la isla Baltra una elevada productividad primaria con rangos entre $1.40\text{-}1.88 \text{ mg/m}^3$, en la capa superficial.

Tapia y Naranjo (2012), registraron que las mayores biomásas de clorofila se observaron en la sección 92°W localizados a 1.5 y 2.5°W sur desde el estrato superficial hasta los 20 metros, registrándose parches de alta productividad primaria.

CONCLUSIONES

Durante el Crucero CO-1-2014 se registraron núcleos de elevada clorofila en la columna de agua desde los 0 hasta los 30 m de profundidad ubicado a 1° sur de la sección 89°W y el otro núcleo de alta productividad clorofílica se observó a 1° sur de la sección 92°W hasta los 30 m, esta alta productividad está asociada principalmente a la Corriente de Cromwell que se presenta al oeste de las islas Galápagos.

El afloramiento al oeste de la isla Isabela en la sección 92°W se presentó con gran intensidad, registrando valores altos de nitrato, fosfato y silicato producto del

afloramiento de la Corriente de Cromwell, la misma que fluye hacia el este extendiéndose a todo lo largo del Ecuador. Durante el crucero del 2016 se observó a nivel superficial de la sección 82°W un núcleo de clorofila. A nivel subsuperficial se determinaron núcleos de clorofila hasta los 30 m de profundidad ubicado a 2° sur de la sección 86°W y el otro núcleo de alta productividad clorofílica se observó a los 1° sur de la sección 89°W hasta los 30 m, esta alta productividad está asociada principalmente a la presencia bien marcada del Frente Ecuatorial que se presenta hasta el oeste de las islas Galápagos.

Con respecto a la distribución superficial del fitoplancton, las mayores concentraciones celulares se localizaron al sur del Frente Ecuatorial, decreciendo las concentraciones fitoplanctónicas hacia el noreste.

AGRADECIMIENTOS

Especial agradecimiento a los Directivos del INOCAR por el apoyo brindado y a los Drs. Adriana González docente de la Universidad Autónoma de Baja California, Manuel Cruz docente Emérito de la Universidad de Guayaquil y Luis Troccoli docente de la Universidad Península de Santa Elena por las valiosas sugerencias vertidas al documento. A la Lcda. Alicia Álvarez por facilitarnos la bibliografía especializada.

REFERENCIAS

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. Instituto Nacional Galápagos. 1997. Plan Regional para la Conservación y el desarrollo sustentable de Galápagos: 1-154.

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
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.

Naranjo C., & M. Tapia. 2007. Composición del plancton en la bahía Abolán de la isla Baltra, islas Galápagos durante marzo de 2005. Acta Oceanográfica del Pacífico, 2003-2004 Vol. 14 (1): 49-56.

Pak, H. And J.R. Zaneveld, 1974. Equatorial Front in the Eastern Pacific Ocean. J. Phys. Oceanogr., Vol.4:570-578.

Robledo, D. & Y. Freile. 2014. Bioindicadores y guardianes de nuestro futuro ambiental. México. I Edición.

SCOR UNESCO Working group 17, 1966. Determination of photosynthetic pigments in the sea-water. Monographs on

oceanographic methodology, 1, UNESCO: 9-18.

Tapia M., y Torres G, 2000. Variabilidad fitoplanctónica en 5 Bahías, islas Galápagos (Ecuador). Acta Oceanográfica del Pacífico, Vol. 10. No.1: 151-159.

Tapia M., & C. Naranjo. 2005-2006. Plancton alrededor de las islas Galápagos, durante el crucero oceanográfico efectuado en mayo de 2004. Acta Oceanográfica del Pacífico, Vol. 13 (1): 137-168.

Tapia M., 2006. Variabilidad temporal del fitoplancton en áreas costeras del mar ecuatorial y su interrelación con el evento “La Niña 1999-2000”. Acta Oceanográfica del Pacífico, Vol. 14 (1): 37-48.

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

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.

Wooster, W., 1969. Equatorial front between Peru and Galapagos. Deep. Sea Res. Supl. Vol 16: 407-419.

COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL PLANCTON ANTE FACTORES OCEANOGRÁFICOS EN LAS ESTACIONES DE ESMERALDAS, PUERTO LÓPEZ Y SALINAS *

TEMPORARY BEHAVIOR OF PLANCTON BEFORE OCEANOGRAPHIC FACTORS IN THE STATIONS OF ESMERALDAS, PUERTO LÓPEZ AND SALINAS*

Robert Bucheli¹

Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales² 1 Instituto Nacional de Pesca (INP),

*Universidad de Guayaquil (UG), Maestría, Facultad de Ciencias Naturales.

E-mail: rbucheli@institutopesca.gob.ec

RESUMEN

*Se determinó el efecto de los componentes oceanográficos en la abundancia, diversidad, riqueza de especies de plancton en aguas superficiales, a diez millas frente a la costa de Esmeraldas, Puerto López y Salinas. El periodo de estudio fue 2004 - 2012 y en el procesamiento de datos se aplicó análisis de componentes principales y correspondencia canónica. Se detectó variación latitudinal significativa ($P < 0.05$), de la temperatura superficial del mar, silicatos, nitratos, fitoplancton y zooplancton, observándose en los dos primeros, un gradiente de descenso de norte a sur, y en los tres últimos de sur a norte. Los restos de variables no mostraron diferencia alguna. La temperatura influyó muy poco en el fitoplancton, pero fue importante para el zooplancton. Los nutrientes estuvieron disponibles en los rangos para el desarrollo del fitoplancton. Respecto a las interrelaciones entre variables, se observó a *Nitzschia longissima* y *Cylindrotheca closterium* asociadas al nitrato y silicato (Puerto López y Salinas), *Hemiaulus hauckii* a la temperatura (Esmeraldas y Puerto López) y *Oncaea. cleveis* al oxígeno disuelto (Puerto López y Salinas). La dinámica temporal del plancton muestra estar ligada a las variaciones de temperatura y concentraciones de nutrientes.*

Palabras claves: diversidad, fitoplancton, variabilidad, zooplancton.

ABSTRACT

*The effect of the oceanographic components on the abundance, diversity and richness of plankton species in surface waters was determined, ten miles off the coast of Esmeraldas, Puerto López and Salinas. The period of study was 2004 - 2012 and in the processing of data, analysis of principal components and canonical correspondence was applied. Significant latitudinal variation ($P < 0.05$), sea surface temperature, silicates, nitrates, phytoplankton and zooplankton were detected, observing in the first two, a gradient of descent from north to south, and in the last three from south to north. The remains of variables showed no difference. The temperature influenced the phytoplankton very little, but it was important for the zooplankton. Nutrients were available in the ranges for phytoplankton development. Regarding the interrelations between variables, *Nitzschia longissima* and *Cylindrotheca closterium* were found to be associated with nitrate and silicate (Puerto López and Salinas), *Hemiaulus hauckii* at temperature (Esmeraldas and Puerto López) and *Oncaea. cleveis* at dissolved oxygen (Puerto López and Salinas). The temporal dynamics of the plankton show to be linked to the variations of temperature and nutrient concentrations.*

Keywords: diversity phytoplankton, variability, zooplankton.

INTRODUCCIÓN

Las capas superficiales del pacífico oriental frente a las costas de Ecuador están sometidas a variaciones físicas y químicas estacionales, causadas por dos grandes ecosistemas marinos: el del Pacífico Central y el de la corriente de Humboldt, ecosistemas que han originado en la zona norte y parte de la central características de tipo tropical con predominio de aguas cálidas resultantes de la corriente de Panamá cuya temperatura varía entre 23 y 27 °C (Comisión Permanente del Pacífico Sur (CCPS), 2014), mientras la zona sur está influenciada por aguas de características frías entre 20 y 25 °C, proveniente de un ramal de la corriente de Humboldt (CCPS, 2014).

El encuentro de las dos corrientes crea una zona de transición debido a la mezcla de aguas de diferentes temperaturas, ocasionando oscilaciones térmicas y desalojo de las masas de agua, según la estación que esté presente durante el año. De diciembre a abril se produce la época húmeda (invierno) y de mayo a noviembre la temporada seca (verano) (Cruz, 2012).

En las aguas cálidas de la zona norte y parte de la central, se desarrolla una alta biodiversidad y bajas biomásas, mientras en las aguas frías del sur, reflejan alta biomasa y baja diversidad (Flores *et al.*, 2013).

Cabe destacar, que los patrones de circulación local asociados con los parámetros físicos varían la posición espacial de los organismos. Una variable física de gran importancia en el ecosistema marino es la temperatura superficial del mar (TSM): Factor que ejerce un impacto importante en las comunidades en una localidad determinada (Ayala *et al.*, 2016).

Al variar, durante el intervalo del día, en unos grados centígrados influye marcadamente en la distribución de los organismos del plancton, ya que las diversas actividades normales se desarrollan bien en determinados límites térmicos (Cognetti *et al.*, 2001), y de la tolerancia fisiológica a temperaturas altas (Mesas & Tarifeño, 2015).

Así mismo, la salinidad, tiene trascendental importancia en las actividades biológicas. En el mar el valor de la salinidad están asociadas a las diferentes masas de aguas. Las capas superficiales del mar son ocupadas por Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) y ATS de bajas salinidades y por ACF de altas salinidades (Dioses, 2013), bajos las diferentes condiciones de temperatura y salinidad, las especies planctónicas se distribuyen de acuerdo al grado de tolerancia en la cual pueden sobrevivir.

Por otro lado, el movimiento de las aguas subsuperficiales llevan aguas frías ricas en nutrientes hacia la capa de mezcla motivando los florecimientos, que enriquece al medio marino, propiciando la proliferación de consumidores secundarios y terciarios. Sin embargo, los nutrientes como el nitrógeno (N), fósforo (P) y silicio (Si), que regulan el crecimiento del fitoplancton, pueden ser factores limitantes, por su insuficiente concentración en el mar (Gadea Pérez, 2012).

Considerando las condiciones oceanográficas mencionadas, se han realizado estudios del plancton marino, evidenciándose la influencia que ejercen los parámetros abióticos y bióticos sobre el plancton.

De la Cuadra (2009), analizo la información oceanográfica y meteorológica, en tres estaciones localizadas a 10 millas fuera de la

costa del Ecuador durante el periodo 2004-2008.

Calderón y Lindao (2009), Observaron un descenso en la densidad y variedad de especies ictioplanctónicas en el 2008 con respecto al 2006 y 2007. Cruz *et al.* (2010-2011), Investigaron el evento El Niño 2009-2010 de las regiones Niño 1+2 y 3.4, y determinaron que una de las la especie más frecuente durante el evento fue *Hyalocylis striata*.

Gualancañay *et al.* (2010-2011), que caracterizaron la bahía de Jaramijó, observaron mayor cantidad de fitoplancton y zooplancton en época lluviosa que en la época seca.

Tapia y Naranjo (2012), relacionaron los Aspectos oceanográficos del plancton con el frente ecuatorial, concluyendo que: *Thalassiosira subtilis*, *Chaetoceros curvisetus* Ch. *eibonii*, *Rhizosolenia imbricata*, *Proboscia alata* y *Planktoniella sol* fueron las especies más abundante a lo largo del frente. Cruz (2012), analizó los rangos de tolerancia a la temperatura, salinidad y reacción con el tipo de masas aguas, de 14 especies de gasterópodos planctónicos dando a conocer las preferencias ecológicas de cada especie.

Tapia (2013), examino los efectos de la prospección sísmica en la composición y distribución del fitoplancton, registrando mayor dominancia de diatomeas y menor concentración de dinoflagelados, cocolitofóridos, silicoflagelados, cianobacterias y tintinnidos.

Belén *et al.* (2013), realizó un análisis de 30 años del comportamiento climático en tres

estaciones en las costas ecuatorianas en época húmeda, observando una tendencia hacia el aumento de la temperatura superficial del aire y del mar, y un comportamiento diferente de las precipitaciones a lo largo del tiempo.

Luzuriaga (2015), comparo la distribución y relaciones ecológicas de los foraminíferos planctónicos en condiciones normales y durante el niño 1997–1998, típico a *Globigerinoides sacculifer* como una de las especies que predominó en el evento el Niño 1997 -1998, en su etapa madura.

Esta investigación realiza un análisis histórico de la abundancia, distribución de fitoplancton y zooplancton y su relación con algunas variables ambientales en las estaciones de Esmeraldas, Puerto López y Salinas, para determinar las reacciones del plancton, ante cambios de temperatura y densidad de los nutrientes.

MATERIALES Y MÉTODOS

La información para realizar este trabajo fue obtenida de las bases de datos de los departamentos de plancton, de química y física del proyecto Variabilidad Climática ejecutado por el Instituto Nacional de Pesca, en estaciones ubicadas a 10 millas del margen costero de las provincias de Esmeraldas (79°46'498. O; 1°7'42.2. N), Puerto López (Manabí) (81°02'217. O; 1°34'9.6. S) y Salinas (Santa Elena) (81°06'18.6. O; 2°12'3.36. S) (figura 1) entre los años 2003 a 2012 con una frecuencia de muestreo mensual.

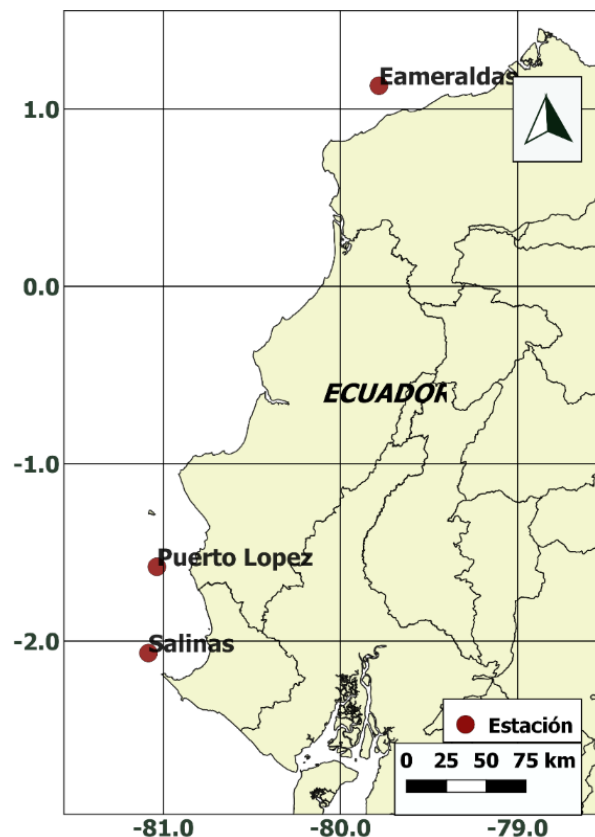


Figura 1. Ubicación de las estaciones de estudio a 10 millas frente al perfil costero de Ecuador.
Figure 1. Location of study stations 10 miles away from the coastal profile of Ecuador.

Se utilizaron embarcaciones de fibra de vidrio propulsada por un motor fuera de borda y mediante un GPS (Global Position System) se ubicó el punto de muestreo.

Se tomaron datos de temperatura superficial del mar (TSM) mediante un termómetro de mercurio, el cual fue sumergido en un balde con agua de mar durante cinco a diez minutos; registrando la temperatura en una bitácora. Luego se sumergió un disco de Secchi, midiendo la profundidad de transparencia del agua.

Se colectaron muestras de agua para oxígeno disuelto (Carpenter, 1965), nutrientes como nitrato, nitrito, fosfato y silicatos (Parsons et al. (1984) y fitoplancton (Ferrario *et al.*, 1995) mediante la sumersión de una botella Niskin a 0, 10, 30, 50, 75 y

100 m de profundidad. Después a bordo, se procedía a la colecta de agua, en botellas de polietileno de 500 ml de capacidad. Posteriormente el líquido para determinar oxígeno disuelto era filtrado al vacío por medio de membranas de filamentos de vidrio Wathman GF/C. Los filtros eran colocados en papel aluminio e inmediatamente congelados, para después ser llevados al laboratorio del INP, para su posterior análisis.

De las muestras de aguas colectadas en la misma botella Niskin, se obtuvieron muestras para análisis de fitoplancton, las cuales se colectaron en frascos de 200 ml de capacidad. A cada muestra se agregó 8 a 10 gotas de una solución de Lugo para su conservación (Ferrario *et al.*, 1995).

Después se procedió a realizar un arrastre superficial con redes de plancton de 200 micras de ojo de malla, para la obtención de organismos del zooplancton (Boltovskoy, E. (1981). El arrastre se lo realizó a una velocidad de la embarcación de dos nudos durante cinco minutos. Luego se procedía a recoger las redes y el plancton atrapado en la red era colectado en frascos de 200 ml de capacidad, al cual se le agregaba entre 8 y 10 ml de formol neutralizado con tetraborato de sodio (Boltovskoy, E. (1981 y Ferrario *et al.*, 1995).

Fase de laboratorio

En el laboratorio de química del INP, a las muestras de agua para el análisis químico, se le determinaron los siguientes elementos químicos: nitrito [NO₂], nitrato [NO₃], fosfato [PO₄], silicato [SiO₄], y oxígeno disuelto [O₂]. Los valores de los nutrientes fueron calculados en base a los criterios de Strickland y Parsons (1972). El oxígeno disuelto fue valorado por el método de Winkler reformado por Carpenter (1965).

En el laboratorio de plancton del INP, se procedió a realizar el análisis cuali-cuantitativo de fitoplancton, por el método Utermöhl, descrito por Mora *et al.* (2016), luego de haber sedimentados las muestras durante 24 horas en cámaras de sedimentación de 10cc. El recuento se realizó mediante un microscopio invertido y la identificación de los organismos mediante claves de libros especializados Björnberg (1981).

En tanto, para la estimación del zooplancton, se aplicó el procedimiento descrito por Frontier (1981) luego de colocar una alícuota (25 ml) en una cámara Dolfus (Equipamientos para analice microscópica), para después identificar las especies

presentes, principalmente copépodos. Para el análisis cualitativo de las especies se realizaron siguiendo las claves descritas en los libros de identificación de Boltovskoy E. (1981) y Boltovskoy D. (1999). El recuento de los individuos se lo realizó por medio de un microscopio estereoscópico.

Con los datos, se estimó la equitatividad, riqueza y diversidad de Shannon-Wiener (Martella *et al.*, 2012). A continuación, a los mismos datos, se le realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov (Guillen, 2013). Luego de comprobar el no cumplimiento de los supuestos, se aplicaron análisis no paramétrico, Kruskal-Wallis (Soto, 2013), y la prueba Mann-Whitney para estacionalidad (Angulo *et al.*, 2013). Los valores fueron expresados en diagramas de caja y bigotes (García & Dulcimar, 2013).

Además se aplicó el coeficiente de Spearman entre las variables abióticas y bióticas, para mostrar el grado de correlación entre variables. Así mismo, para conocer las relaciones entre las variables ambientales y las especies más frecuentes y/o abundantes, se efectuó un análisis de correspondencia canónica (ACC) (Carles, 2014) mediante el programa CANOCO versión 4.5.

RESULTADOS

Variables físicas y químicas

El análisis de varianza simple mostró que TSM, silicato y nitrito registraron variaciones latitudinales y temporales significativas ($P < 0.05$). Las dos primeras variables mostraron los valores más altos en la estación del norte, mientras que la última en las estaciones del sur; así mismo, se observó los valores más altos en la época húmeda (figuras 2 y 3). Nitrito, fosfato y oxígeno disuelto no mostraron diferencias significativas ($P > 0.05$).

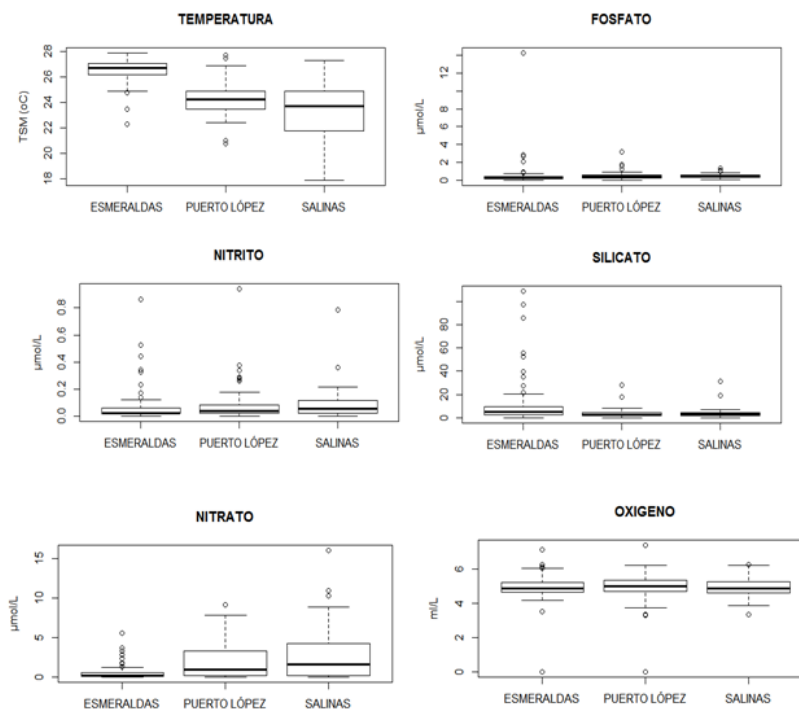


Figura 2. Distribución espacial de temperatura superficial del mar, nitrito, nitrato, fosfato, silicato y oxígeno disuelto en aguas superficiales a diez millas de la costa de Esmeraldas, Puerto López y Salinas.

Figure 2. Spatial distribution of sea surface temperature, nitrite, nitrate, phosphate, silicate and dissolved oxygen in surface waters ten miles off the coast of Esmeraldas, Puerto López and Salinas.

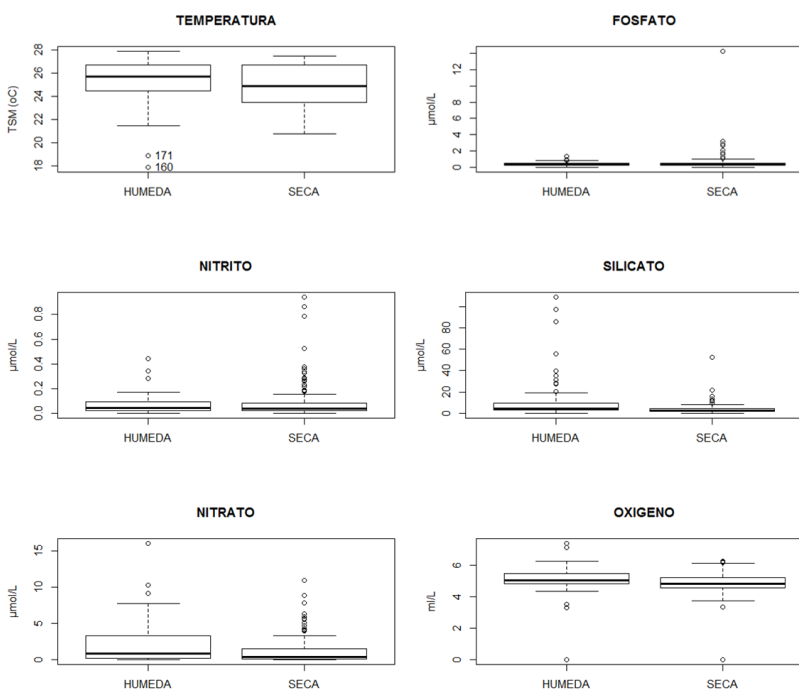


Figura 3. Distribución temporal de temperatura superficial del mar, nitrito, nitrato, fosfato, silicato y oxígeno disuelto en aguas superficiales a diez millas de la costa de Esmeraldas, Puerto López y Salinas.

Figure 3. Temporal distribution of sea surface temperature, nitrite, nitrate, phosphate, silicate and dissolved oxygen in surface waters ten miles off the coast of Esmeraldas, Puerto López and Salinas.

En Esmeraldas la TSM promedio fluctuó entre 25.7 y 27.5 °C, en Puerto López entre 23.9 y 25.6 °C y en Salinas entre 22.5 y 24.7 °C (Figura 4).

Los valores de nitrito en Esmeraldas oscilaron entre 0.03 y 0.37 $\mu\text{mol/L}$, detectándose el valor menor en los años 2005, 2008 y 2012, el mayor en el 2004 (Figura 4). En tanto, en Puerto López los valores oscilaron entre 0.03 y 0.21 $\mu\text{mol/L}$, observándose la cifra menor en el 2010 y la mayor en el 2004. Mientras en Salinas se registraron densidades entre 0.07 y 0.21 $\mu\text{mol/L}$, perteneciendo la mínima densidad al 2012 y la máxima al 2005.

Así mismo, el nitrato mostró en Esmeraldas concentraciones que oscilaron entre 0.18 y 1.20 $\mu\text{mol/L}$, en Puerto López valores que fluctuaron entre 0.47 y 4.47 $\mu\text{mol/L}$ y en Salinas densidades entre 0.81 y 5.03 $\mu\text{mol/L}$ (Figura 4).

En tanto el fosfato, registro en Esmeraldas, el valor mínimo (0.18 $\mu\text{mol/L}$) en el año

2012 y el máximo (2.28 $\mu\text{mol.L}^{-1}$) en el 2008. En Puerto López se halló la mínima concentración (0.31 $\mu\text{mol/L}$) en el 2010 y la máxima (0.85 $\mu\text{mol/L}$) en el 2008, en Salinas el valor menor (0.29 $\mu\text{mol/L}$) se mostró en 2010 y el mayor (0.55 $\mu\text{mol/L}$) en el 2009 (Figura 4).

Por otro lado, el silicato, en Esmeraldas, presentó concentraciones promedio que fluctuaron entre 3.32 y 28.0 $\mu\text{mol/L}$, en cambio en Puerto López, los valores oscilaron entre 2.03 y 5.98 $\mu\text{mol/L}$, mientras que en Salinas, las densidades variaron entre 1.93 y 7.91 $\mu\text{mol/L}$ (Figura 10 A) (Figura 4).

En tanto el oxígeno disuelto, mostró valores promedios que fluctuaron entre 4.72 y 5.23 ml/L en Esmeraldas; entre 4.48 y 5.24 ml/L en Puerto López y entre 4.58 y 5.29 ml/L en Salinas, (Figura 4). La localidad con mayor promedio fue Puerto López y la de menor promedio fue Salinas (Figura 4).

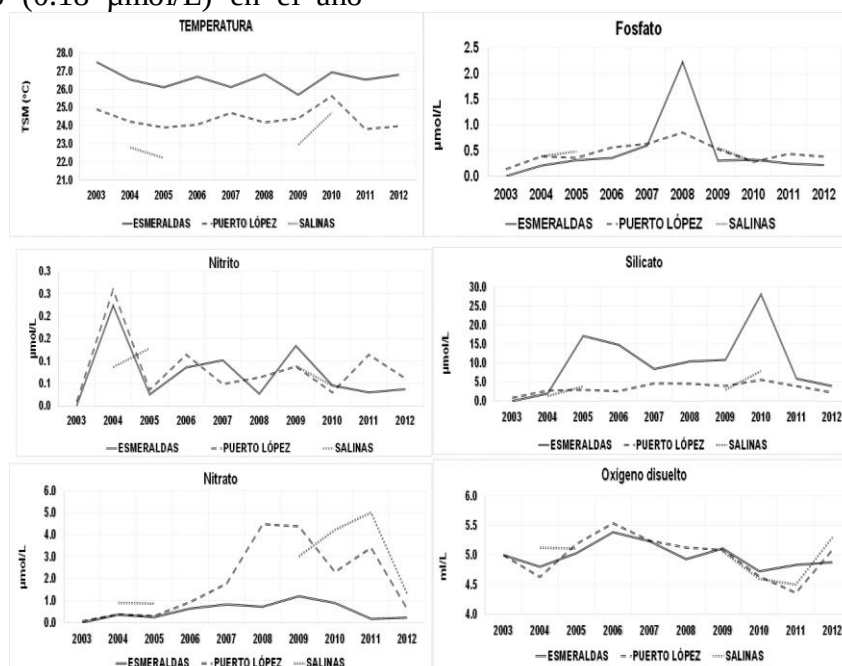


Figura 4. Distribución interanual de temperatura superficial del mar, nitrito, nitrato, fosfato, silicato y oxígeno disuelto en aguas superficiales a diez millas de la costa de Esmeraldas, Puerto López y Salinas.

Figure 4. Interannual distribution of sea surface temperature, nitrite, nitrate, phosphate, silicate and dissolved oxygen in surface waters ten miles off the coast of Esmeraldas, Puerto López and Salinas.

Fitoplancton

Las densidad y diversidad mostraron diferencias significativas latitudinal y temporal ($P < 0,05$). Detectándose mayor abundancia y variedad en la zona norte y en el período seco (figura 5 A-C). En Esmeraldas, la densidad promedio osciló entre 7795 y 33483 cel/L, observándose el valor mínimo en el 2003 y el máximo en el 2009, en tanto la diversidad varió entre 2.09 y 3.51 bits.org, observándose que valores menores a 3.00 bits.org se detectaron del 2007 al 2012, excepto en el 2008 y superiores del 2003 al 2006 (Figura 6 A y B). En Puerto López las concentraciones

variaron entre 8405 y 29545 cel/L, cifras detectados en el 2006 y el 2011 respectivamente, mientras los valores de la diversidad fluctuaron entre 1.47 y 2.77 bits.org, detectándose cifras menores a 2 bits.org en el 2007 y del 2009 al 2011 y superiores en el resto de años (Figura 6 A y B). En Salinas la abundancias fluctuaron entre 11226 y 44286 cel/L, siendo registrados el valor menor en el 2005 y el mayor en el 2011, así mismo la diversidad varió entre 0,92 y 2,99 bits.org, observándose valores menores a 2 bits.org en el 2009 y el 2010 y mayores en los años 2004, 2005 y 2012 (Figura 6 A y B).

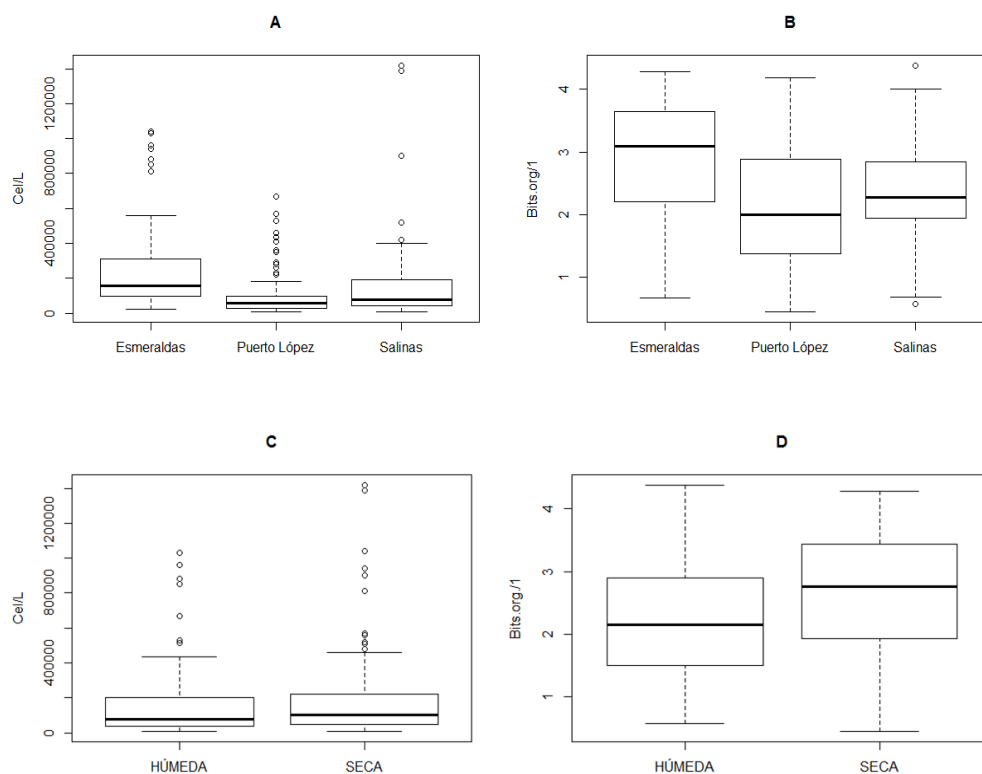


Figura 5. Densidad (A y C) y diversidad (B y D) espacial y temporal de fitoplancton en las aguas superficiales a 10 millas frente a las costas de Esmeraldas, Puerto López y Salinas del 2003 al 2012.

Figure 5. Density (A and C) and diversity (B and D) spatial and temporal phytoplankton in surface waters 10 miles off the coast of Esmeraldas, Puerto López and Salinas from 2003 to 2012.

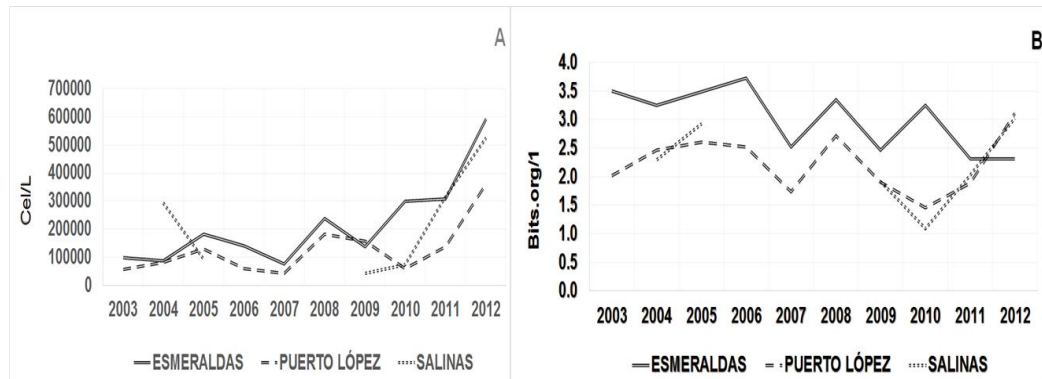


Figura 6. Densidad (A) y diversidad (B) interanual de fitoplancton en las aguas superficiales a 10 millas frente a las costas de Esmeraldas, Puerto López y Salinas del 2003 al 2012.

Figure 6. Density (A) and interannual diversity (B) of phytoplankton in surface waters 10 miles off the coast of Esmeraldas, Puerto López and Salinas from 2003 to 2012.

El análisis taxonómico determinó 11 clases, siendo más frecuentes la *Coscinodiscophyceae* y *Bacillariophyceae* (Figura 7). Ambas clases registraron diferencias significativas ($P < 0.05$) interanuales siendo diferentes los años 2011 y 2012, respectivamente, así mismo a nivel de sitios, la mayor densidad la registró Salinas, en tanto, la época donde más frecuentaron fue en la seca. Las *Cyanophyceae*, no mostraron diferencias significativas interanuales. El sitio donde más abundaron fue en Puerto López. Los años en el que

mostraron sus valores máximos fueron 2010 y el 2011, a nivel de época fueron más frecuentes en la húmeda. La clase *Fragilariophyceae* registró diferencia significativa ($P < 0.05$) entre localidades, detectándose la máxima abundancia en Esmeraldas, en tanto a nivel interanual registró mayor densidad en el 2011. A nivel de época fue abundante en la época húmeda. Las clases *Litostomatea*, *Prymnesiophyceae* y *Euglenophyceae* fueron poco representativas.

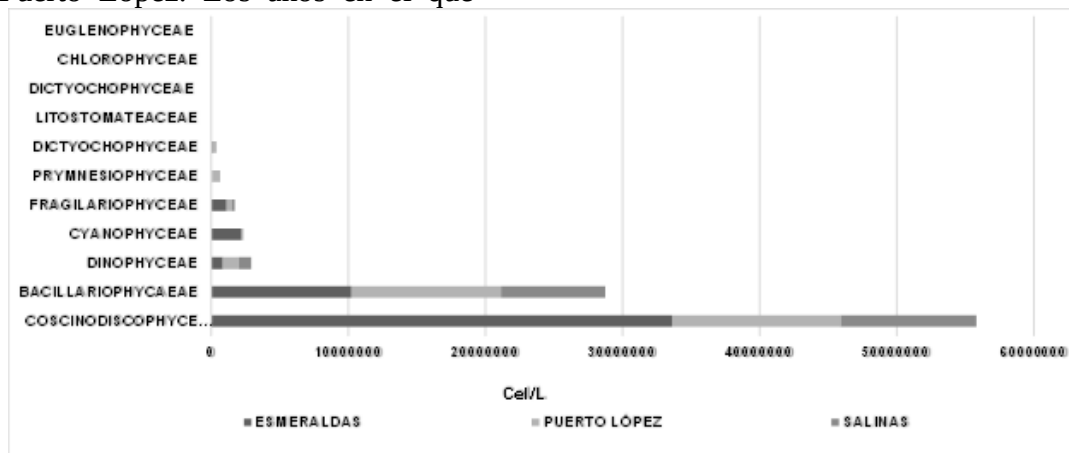


Figura 7. Concentración de las clases del fitoplancton en las estaciones Esmeraldas, Puerto López y Salinas.

Figure 7. Concentration of phytoplankton classes at the Esmeraldas, Puerto López and Salinas stations.

Zooplankton

La abundancia del zooplankton no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$) latitudinal

y temporal (Figuras 8 A y C), pero la diversidad si mostró diferencias significativa a nivel de época ($p < 0.5$), observándose más abundancia en época seca (Figura 8D). En

Esmeraldas la densidad promedio osciló entre 27 y 106 org.m⁻³, detectándose el valor mínimo en el 2008 y el máximo en el 2006, en tanto la diversidad osciló entre 3,07 y 4,02 bits.org⁻¹, correspondiendo el valor mayor al 2008 (Figuras 9 A y B). En Puerto López, la abundancia varió entre 24 y 310 org.m⁻³, valores detectados en el 2010 y 2012, respectivamente; así mismo, la diversidad fluctuó entre 2,77 y 3,66 bits.org⁻¹

¹, detectándose cifras menores a 3,00 bits.org⁻¹ desde el 2003 al 2005 y en el 2011 y superiores en el resto de años (Figuras 9 A y B). En Salinas las concentraciones fluctuaron entre 26 y 121 org.m⁻³, registrándose la cantidad menor en el 2010 y la mayor en el 2012, mientras la diversidad varió entre 2,86 y 3,67 bits.org⁻¹, siendo el valor menor y único registrado para el año 2005 (Figuras 9 A y B).

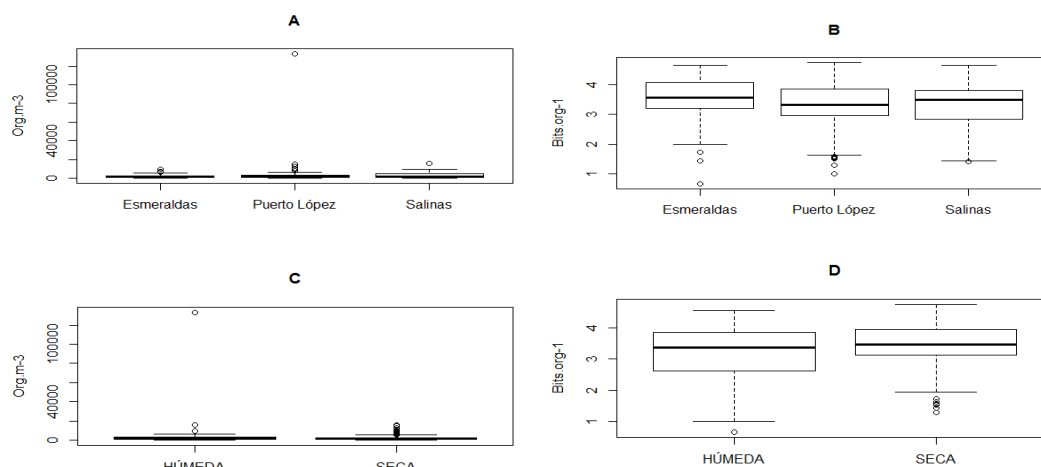


Figura 8. Densidad (A y C) y diversidad (B y D) espacial y temporal de zooplancton en las aguas superficiales a 10 millas frente a las costas de Esmeraldas, Puerto López y Salinas del 2003 al 2012.

Figure 8. Density (A and C) and diversity (B and D) spatial and temporal zooplankton in surface waters 10 miles off the coast of Esmeraldas, Puerto López and Salinas from 2003 to 2012.

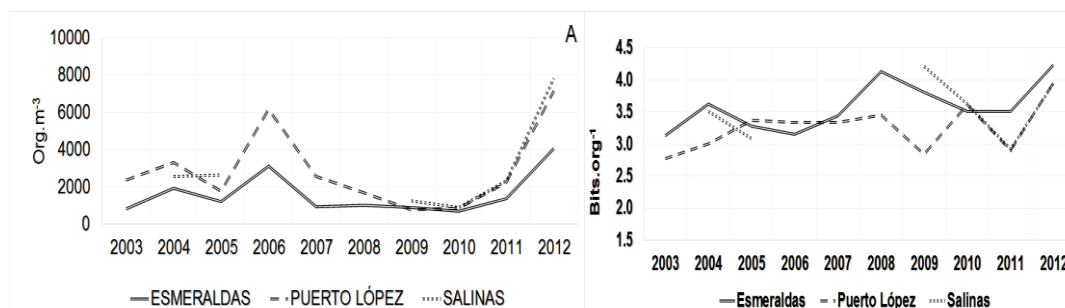


Figura 9. Densidad (A) y diversidad (B) interanual de zooplancton en las aguas superficiales a 10 millas frente a las costas de Esmeraldas, Puerto López y Salinas del 2003 al 2012.

Figure 9. Density (A) and interannual diversity (B) of zooplankton in surface waters 10 miles off the coast of Esmeraldas, Puerto López and Salinas from 2003 to 2012.

Durante el estudio siete clases fueron las más representativas, siendo Maxillopoda y Malacostraca las de mayor abundancia (figura 10). Predominando en mayor concentración la primera en Salinas y la

segunda en Puerto López. Así mismo, se observó que los grupos registraron las densidades más altas en el 2006 y el 2012 y en la época húmeda.

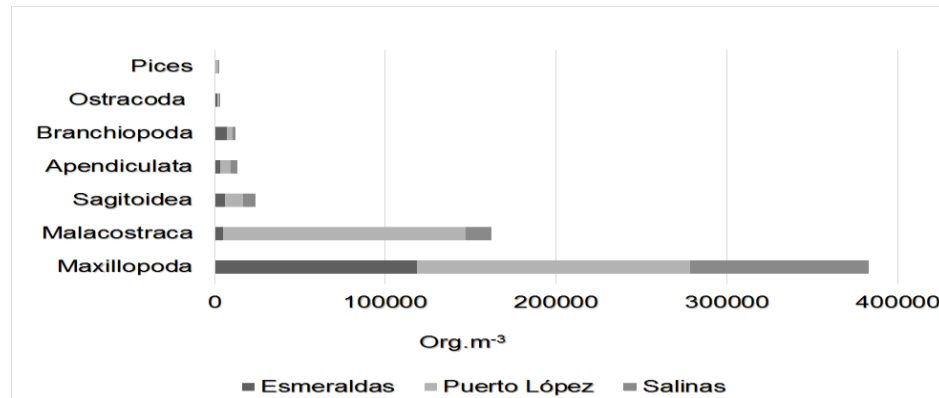


Figura 10. Abundancias de las clases del zooplancton en las estaciones de Esmeraldas, Puerto López y Salinas.

Figure 10. Abundances of the zooplankton classes in the stations of Esmeraldas, Puerto López and Salinas.

Factores abiótico vs bióticos

El análisis de correlación muestra una correlación positiva del fitoplancton con silicato, oxígeno, nitrato, TSM y

zooplancton; negativa con fosfato y nitrato. Así mismo el zooplancton se relacionó negativamente con la TSM (Tabla 1).

Tabla 1. Rango de correlación de Spearman entre variables abióticas y biológicas más representativas.

Table 1. Spearman correlation rank between most representative abiotic and biological variables.

	FITO	NO2	NO3	O2.L	PO43	SiO2	TSM	ZOO
FITO	1.00							
NO2	0.05	1.00						
NO3	-0.11	0.38	1.00					
O2.L	0.04	0.01	0.02	1.00				
PO43	-0.14	0.45	0.44	0.21	1.00			
SiO2	0.13	0.09	0.22	0.04	0.10	1.00		
TSM	0.10	-0.26	-0.37	-0.12	-0.31	0.27	1.00	
ZOO	0.06	0.12	-0.01	0.24	0.09	-0.22	-0.20	1.00

Análisis de Correspondencia Canónica (ACC)

Durante el estudio, el ACC entre especies de fitoplancton y variables ambientales determinó, que la TSM fuera el parámetro de mayor variabilidad y el de menor variabilidad el nitrato. Al primer componente se asoció de modo positivo la TSM y negativamente el oxígeno. Al componente dos se relacionaron en el extremo positivo, silicatos y en el negativo nitrato y fosfato. Al silicato se asoció *C. closterium*; a disco Secchi, *P. seriata*; a nitrato *N. longissima* y *P. alata*, a fosfato *R. styliformis* y a oxígeno *H. sinensis*. El resto de especies se relacionaron de manera débil con las variables (Figura 11a).

El ACC entre el zooplancton y los parámetros ambientales, la TSM, fue el factor de mayor coeficiente al contrario del oxígeno disuelto el menor de todos, siendo inversamente proporcional a *P. avirrostris*. El primer factor, asoció en el extremo negativo al oxígeno disuelto y en el positivo la TSM, observándose que el incremento de la variable estimuló las densidades de *Oncaea cleveis*, *Centropage furcatus*, *Acrocalanus longicornis*, *Undinulas vulgaris* y *Paracacalanus parvus*. El segundo componente, correlacionó positivamente al disco Secchi, variable que influyó poco en *O. media*. La mayor parte de especies se correlacionaron de manera débil con las variables (Figura 11b).

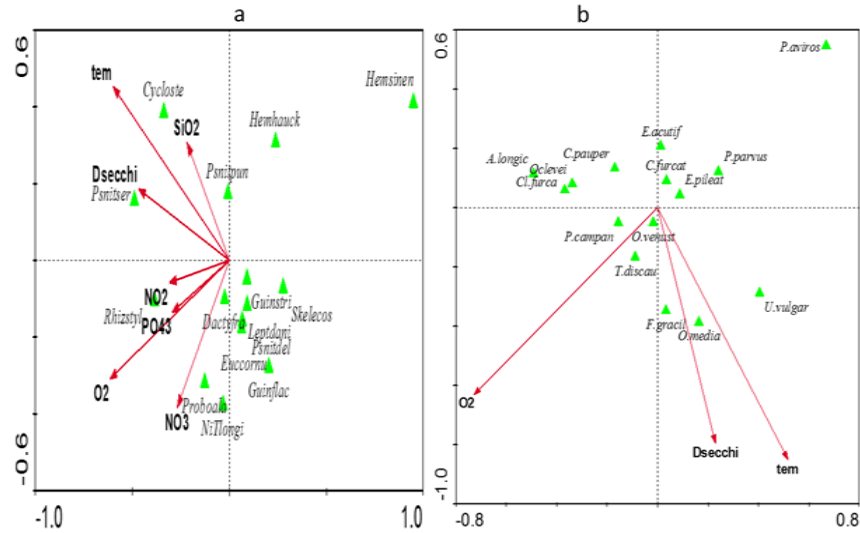


Figura 11. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) de las variables físico-químicas con especies más representativas de fitoplancton (a) y zooplancton (b) durante de 2004 al 2012.

Figure 11. Canonical Correspondence Analysis (CCA) of the physic-chemical variables with most representative species of phytoplankton (a) and zooplankton (b) from 2004 to 2012.

En la tabla 2 se representan las especies indicadoras durante el periodo de estudio, puede distinguirse que no todas la especies son efectivos en la caracterización de una determinada variable en cada localidad, por ejemplo *G. striata* se muestra como

indicadora de nitrato en Esmeraldas, pero no en Puerto López y Salinas. Se detectó que las especies, de acuerdo a su requerimiento físico y químico se mostraron como indicadoras de uno o varios parámetros en una localidad o en varias de ellas

Tabla 2. Especies de fitoplancton y del zooplancton asociadas en mayor grado a las variables ambientales en las tres estaciones durante el periodo de estudio.

Table 2. Phytoplankton and zooplankton species most associated with environmental variables in the three seasons during the study period.

FITOPLANCTON								
Esmeraldas			Puerto López			Salinas		
Especies	Variable	Promedio (µm/L)	Especies	Variable	Promedio (µm/L)	Especies	Variable	Promedio (µm/L)
<i>Guinardia striata</i>	NO2	0.7	<i>Nitzschia longissima</i>	NO3	1.96	<i>Nitzschia longissima</i>	NO3	2.91
<i>Rhizosolenia styliformis</i>	NO3	0.57	<i>Proboscis alata</i>			<i>Proboscis alata</i>		
<i>Dactylosolen fragilisimus</i>			<i>Chaetoceros decipiens</i>	PO3	0.49	<i>Rhizosolenia styliformis</i>	PO3	0.45
<i>Cylindrotheca closterium</i>	PO3	0.55	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>			<i>Cylindrotheca closterium</i>	SO3	4.08
<i>Chaetoceros decipiens</i>	SO3	11.61	<i>Nitzschia pacifica</i>			<i>Hemiaulus sinensis</i>	O2	4.93
<i>Cylindrotheca closterium</i>	Transp.		<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>	SO3	3.67	<i>Pseudo-nitzschia seriata</i>	Transp.	
<i>Nitzschia longissima</i>	5.92 m		<i>Cylindrotheca closterium</i>				8.37 m	
<i>Rhizosolenia setigera</i>	T.clina		<i>Pseudo-nitzschia seriata</i>	Transp.				
<i>Bacteriastrium delicatulum</i>	30 m			7.13 m				
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>			<i>Hemiaulus hauckii</i> Grunow	TSM				
<i>Hemiaulus hauckii</i> Grunow	TSM			21.85 °C				
	24.75 °C							
ZOOPLANCTON								
Esmeraldas			Puerto López			Salinas		
Especies	Variable	Promedio (µm/L)	Especies	Variable	Promedio (µm/L)	Especies	Variable	Promedio (µm/L)
<i>Evadne tergestina</i>	O2	4.82	<i>Acrocalanus longicornis</i>	O2	4.92	<i>Oncaea cleveis</i>	O2	4.93
<i>Penilia avirostris</i>	T.clina		<i>Oncaea cleveis</i>			<i>Clausocalanus furcatus</i>		
<i>Oncaea media</i>	30 m		<i>Clausocalanus furcatus</i>			<i>Acrocalanus longicornis</i>		
<i>Calocalanus pavo</i>			<i>Clausocalanus furcatus</i>	T.clina		<i>Oncaea media</i>	Transp.	
			<i>Oncaea venusta</i>	40 m			8.37 m	
			<i>Eucalanus pileatus</i>			<i>Undinula vulgaris</i>	TSM	
						<i>Paracalanus parvus</i>	20.58 °C	

DISCUSIÓN

El comportamiento espacial de la temperatura mostró un gradiente de disminución de norte a sur (Figura 2). El gradiente es evidenciado como consecuencia del predominio de aguas cálidas que llegan desde la cuenca de Panamá afectando la zona norte del Pacífico Ecuatoriano, mientras que la zona sur es influenciada por un ramal de la corriente fría de Humboldt (CPPS, 2014).

Estas dos masas de agua determinan que la TSM sea más baja en el verano y más alta en el invierno (Figuras 3); similar tendencia confirmó Belén *et al.* (2013), que analizó el comportamiento de las condiciones climáticas durante la época húmeda en la costa ecuatoriana entre los períodos de 1975-2000 y de 1981-2010.

La masa de agua superficial de la estación Esmeraldas, localizada entre los 0 y 10 metros de profundidad, podrían ser similar al Agua Tropical Superficial de Colombia; debido que ambas masas tienen como promedio una TSM de 25.7 °C; también observada en la isla Malpelo (Málikov *et al.*, 2010; Rodríguez-Rubio y Giraldo, 2011).

Se podría considerar a la zona marina de la estación de Esmeraldas, en base a la TSM y la salinidad (Moreno *et al.*, 2008), como una punto donde se mezclan las aguas costeras con aguas oceánicas; y por recibir un constante flujo, en forma de cuña, de agua dulce proveniente del río Esmeraldas (Cucalón, 2002). A diferencia de las estaciones de Puerto López y Salinas, cuyos promedios de TSM son menores, pero de salinidad mayor como zonas marinas, mayormente, influenciadas por aguas oceánicas, según Moreno *et al.* (2008).

De acuerdo al análisis de correlación, la variabilidad de la TSM influyó en la

distribución espacial y temporal del plancton, similar percepción fue observada por Inda-Díaz *et al.*, (2013). Galeano y Arteaga (2010), detectaron valores bajos de correlación entre diatomeas y temperatura, El mismo comportamiento detecto Pulina *et al.*, (2016) en *Cyclotella* sp., y en *Thalassiosira* sp., mientras Delgado & Chang (2015) con la biomasa de fitoplancton. En tanto el comportamiento de zooplancton, coinciden con Giraldo *et al.* (2014); con Álvarez Silva y Torres-Alvarado (2013) y con Zaafa *et al.*, (2012). Quienes detectaron asociación positiva entre zooplancton con la TSM más elevadas.

Así mismo, se detectó abundancias importante de *T. nichoides* y *S. costatum*, *C. fususvarfus*, *C. furca*, *C. triposy* *S. trichodea* en TSM que fluctuó entre 21 y 28 °C. Similar a lo observado por Sun *et al.*, 2013 y Vargas *et al.*, 2014, pero en TSM que osciló entre 17.9 y 27.8 °C. Lo que indicaría la capacidad del fitoplancton a sobrevivir a variaciones amplias de temperaturas.

Por otro lado, algunas especies fueron halladas tanto en zonas neríticas como oceánicas, entre estas *S. costatum* y *G. flaccida*, las mismas que han sido calificada como eurytopica (Sun *et al.*, 2013). Lo que sugiere que el plancton del mar ecuatoriano tendría la capacidad de adaptarse a las diferentes masas de aguas (corriente de Humboldt y del Niño) que se presentan, en su debida época.

Además, en la zona de estudio, se dan dos períodos estacionales (invierno y verano), donde los cambios de temperaturas no son bruscos, como en zonas que tienen cuatro períodos estacionales, observándose sucesiones de especies y una termoclina que desaparece en el invierno (Flores *et al.*, 2013). Sin embargo, a pesar de la capacidad de adaptación, pueden ser afectados

negativamente por el calentamiento de los océanos (Thomas *et al.*, 2012).

Tapia y Naranjo (2012), reportan la presencia de: *Thalassiosira subtilis*, *Chaetoceros curvisetus* Ch. *eibenii*, *Rhizosolenia imbricata*, *Proboscia alata* y *Planktoniella sol* como indicadoras del Frente Ecuatorial, de las cuales solo: *C. curvisetus*, *P. alata* y *R. imbricata* fueron reportadas en este estudio. Sin embargo, no se las detectó en la época en la que coincidió con el estudio (septiembre 2011) de Tapia y Naranjo (2012). No obstante, fueron reportadas en otros años y meses. Por otro lado, si el frente se localiza entre 0 a 3° S y las especies propuestas como indicadoras también fueron encontradas en la estación Esmeraldas, lo que manifiesta que las especies de fitoplancton no son indicadoras puntuales de un evento, sino que cumplen varias funciones ecológicas, según su ubicación en el océano y su abundancia, pues los mismos investigadores mencionan que estas especies son indicadoras de masas de aguas oceánicas y de afloramientos.

A igual que la TSM, los nutrientes, mostraron una variabilidad temporal y espacial. Con respecto al silicato, los resultados indicaron mayor concentración en la zona costera de Esmeraldas, evidentemente, ocasionado por un mayor aporte de las aguas del río Esmeraldas, cuyo recorrido puede llegar hasta 15 millas mar afuera (Cucalón, 2002), siendo la época húmeda la de mayor descarga. Hay que considerar que el punto de muestreo se encontraba a 10 millas náuticas de la desembocadura del río, razón por la cual sería mayor la concentración. Situación diferente la de Puerto López y Salinas donde las concentraciones fueron menores (Figura 4).

Por otro lado, comparando las concentraciones de los rangos de silicatos de

este estudio con los reportados por la SETEMAR (2015), en cruceros realizados en Galápagos. En este estudio, la concentración es superior con respecto a los datos de la SETEMAR (2015). Pues tal que, el silicato osciló entre 5-20 mg/L, durante la estación lluviosa, seca, el Niño y la Niña, mientras que este estudio lo reportó entre 6.37- 28,0 mg/L. Tendencia similar, para los cruceros del pacífico peruano (1.70-34.57mg/L), (García *et al.*, 2015).

Si se compara los valores promedios máximos con los cruceros del pacífico peruano, se observó que fueron mayores (0,0-30,0 mg/L) frente a Perú (Graco *et al.*, 2007), con respecto a esta investigación (2.58-13.45 mg/L). Estas diferencias, en relación a los cruceros de Ecuador y Colombia, se deben a la ubicación de las estaciones, en este estudio fueron a 10 millas de la costa, mientras que las estaciones de los cruceros fueron en su mayoría oceánicas.

Al estar cerca de la costa reciben mayor carga de sedimento fluvial de los ríos aledaños con alto contenido de silicato, el mismo que se va diluyendo a medida que se adentra al mar. Con respecto a los cruceros peruanos, la mayor concentración de nutrientes están correlacionadas con las persistentes y fuertes afloramientos que se producen en el mar peruano (Castillo *et al.*, 2007).

Así mismo, relacionando los datos con el Domo de Costa Rica, se detecta un rango promedio de silicato mayor en la zona costera de Ecuador que la del Domo, como lo evidencia una investigación realizada por Selph *et al.* (2015). Pues, los investigadores reportaron concentración de silicato entre 2.8–4.2 mg/L en la zona costeras y en alta mar del Domo de Costa Rica.

En el mismo sentido de la variabilidad espacial y temporal, las concentraciones de

nitrito y nitrato que fueron más elevadas en Puerto López y Salinas, podrían estar relacionadas a la corriente de Humboldt y al aporte de las aguas del Golfo de Guayaquil. No obstante, al ser mayor la concentración en época húmeda, se sugiere que estos elementos vendrían del aporte de las aguas del río Guayas. Puesto que, durante el invierno se producen inundaciones en toda la cuenca baja del Guayas y por tanto el arrastre de fertilizantes de los cultivos.

En el informe de la SETEMAR (2015), señalan rangos de nitrato entre 2-6 mg/L, y fosfato de 0.2–2.0 mg/L, durante la estación lluviosa, seca, el Niño y la Niña, mientras en esta investigación se estimaron rangos en 2.01-16.06 mg/L y de 0.63-14.28 mg/L respectivamente. Observándose que los niveles obtenidos este estudio es superior. Incluso son superiora los datos registrados en la zona tropical del Pacífico Oriental Sur durante El Niño y La Niña (nitrato=0.13-0.39 mg/L; fosfato=; 0.35-0.44/L) (Dekaezemacker *et al.*, 2013). Y superior a los reportados por Selph *et al.*, (2015) en el Domo de Costa Rica (nitrato =1.5–2.3 mg/L; fosfato=0.28 mg/L). Al igual que el silicato los promedios de este estudio son inferiores (nitrato=0.45-2.97; fosfato=0.28-1.54 mg/L) a Perú (nitrato=0,0–35,0; fosfato=0,2–4,0 mg/L) (Graco *et al.*, 2007). Diferencias que tiene una explicación similar en la del silicato.

Comparando los valores promedios de nitrato y fosfato obtenidos frente a la costas del Ecuador, resultaron ser inferiores a los reportados frente a Perú (Graco *et al.*, 2007), pero superiores a los registrado por Selph *et al.* (2015) para el Domo de Costa Rica.

Así mismo en comparación a un estudio realizado en el sureste de Brasil por Fernández *et al.* (2015), se pudo ver que el nitrito resultó superior para este estudio, pero nitrato, fosfato y oxígeno resultaron ser

menores. Se plantea entonces que las diferencias se deben a la zona de investigación. La concentración de nutrientes es menor en océano abierto pero mayor en zonas próximas a la costa (Paparazzo *et al.*, 2013).

Los nutrientes antes mencionados y reportados para el Golfo de Guayaquil (Prado *et al.*, 2015), sus promedios resultaron mayores a este estudio. Esta diferencia es debido a la alta concentración de los elementos al interior del golfo, puesto que recibe directamente las descargas del río Guayas.

Las correlaciones positivas entre nutrientes y fitoplancton, es indicio de que existe una continua disponibilidad de nutrientes para el fitoplancton y a la vez alimento continuo para el zooplancton herbívoro, es así, que los nutrientes no son limitantes para el desarrollo del plancton.

En el caso del silicato, investigaciones anteriores indican que para reproducirse el fitoplancton, la concentración de silicato tiene que ser superior a 0.05 mg/L (Balnova, 2015), en este estudio el valor mínimo fue 0.8 mg/L. Así mismo, con el oxígeno disuelto, estudio muestran que las especies de zooplancton se desarrollan mejor en zona de alta concentración de oxígeno disuelto (Trejo-Albarrán *et al.*, 2015; Rodríguez-Sáenz *et al.*, 2012). Las concentraciones del oxígeno disuelto, en este estudio coinciden con los rangos tolerados por el zooplancton (Figura 4).

La abundancia del fitoplancton durante el estudio, mostraría la constante disponibilidad de alimento para el nivel trófico secundario (consumidores primarios). Observándose que existiría una eficiente cascada trófica de abajo hacia arriba en las zonas de estudio, y que esta podría ser pequeña, ya que las cascadas tróficas

estudiadas en el mar han demostrado ser débiles (Borr *et al.*, 2005; Terborgh and Estes. 2013).

Sin embargo, la alta productividad y diversidad fitoplanctónica causada por la alta disponibilidad de nutrientes, estaría generando cascadas tróficas de mayor magnitud que las indicadas por los autores antes mencionados.

Del análisis de correspondencia canónica de las variables físicas con nutrientes y el plancton, no presentaron una determinada especie que se relacione de manera fuerte con una determinada variable ambiental, de modo que sea considerada como una indicadora de algún tipo de parámetro en particular para las tres localidades (Tabla 2). Como se puede observar, esto se esperaba, ya que las condiciones ambientales en cada estación son diferentes, a pesar de que los parámetros climáticos medidos son los mismos. Esto se debe a la variabilidad de los factores oceanográficos, ejerciendo una fuerte influencia en la distribución, abundancia y diversidad de las especies (Dabrio & Polo. 2015; Juárez *et al.*, 2014). Además, las especies se adaptan mejor cuando los factores oceanográficos son favorables, debido a la capacidad que tiene cada especie de sobrevivir y proliferar en las diferentes condiciones oceanográficas.

CONCLUSIÓN

Las condiciones oceanográficas a diez millas de la costa de Ecuador, evidenciaron valores más elevados de la temperatura superficial del mar y de silicato en la estación del norte y de nitrato en las estaciones del sur y, siendo más abundantes en el periodo húmedo. Nitrito, fósforo y oxígeno disuelto no mostraron diferencias significativas.

El constante flujo de nutrientes, favoreció la productividad planctónica existiendo una

buena relación entre los dos primeros niveles tróficos. De modo, que, existiría una cascada trófica dominada por el fitoplancton ejerciendo el control sobre los niveles tróficos superiores. Evidenciado por el incremento de las larvas de crustáceos y copépodos que implicaría un descenso de Bacillariophyceae, Coscinodiscophyceae y Dinophyceae.

En base al Análisis de Correspondencia Canónica, las altas abundancias de *H. hauckii* y *U. Vulgaris* coincidieron con temperaturas altas; *O. media* y *E. pileatus*, incrementaron cuando la termoclina estuvo más profunda; *G. striata*, aumentó en concentraciones elevadas de nitrito; *R. styliformis* y *N. longissima*, abundaron en el momento que el nitrato aumentó; *C. closterium*, *C. decipiens*, *R. styliformis* fueron afines al fosfato; *C. decipiens* y *C. closterium*, se relacionaron con el silicato y *P. avirrostris* y *O. cleveis* tendieron a incrementar en mayores densidades de oxígeno disuelto. Se podría considerar a estas especies como posibles indicadores biológicos de los parámetros mencionados.

AGRADECIMIENTO

Al Instituto Nacional de Pesca, especialmente al departamento de plancton, oceanografía y química de agua por las bases de datos proporcionados y al Dr. Luis Troccoli por la orientación, el seguimiento y la supervisión continua de esta investigación.

REFERENCIAS

Álvarez-Silva, C., y Torres-Alvarado, M. (2013). Composición y abundancia del zooplancton de la laguna de Coyuca, Guerrero, México. *Hidrobiológica* 23(2): 241-249.

Angulo, N., de Szarvas, S. B., Guevara, H., Mathison, Y., González, D., Hadad, E., & Hernández, A. (2013). Inflammatory markers in obese school children. *Vitae*, 52.

Ayala, A., Bonilla, H. R., Calderón-Aguilera, L. E., Perezrul, M. D. H., & Espinosa, P. C. G. (2016). Proyección de cambios en la temperatura superficial del mar del Golfo de California y efectos sobre la abundancia y distribución de especies arrecifales. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 8(1), 29-40.

Balnova. (05 de agosto del 2015). El silicio, un mineral importante para el afloramiento de las diatomeas en piscinas. *Recuperado de* <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p3-silica.pdf>

Belén del Salto, M., Gálvez, H., y Regalado, J. (2013). Análisis del comportamiento climático de los últimos 30 años, en las costas de Esmeraldas, Manta y Puerto Bolívar durante la época húmeda. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 18 (1).

Björnberg, T. A. (1981). Copépoda. En: Boltovskoy, D. (Ed.), *Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino* INIDEP. Mar del Plata, Argentina. 587 – 679 pp.

Boltovskoy, D. (1999). *South Atlantic zooplankton*. Leiden, Netherlands: Backhuys.

Boltovskoy, E. (1981). *Atlas del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino*. INIDEP. Mar del Plata, Argentina.

Borer, T., Seabloom, E., Shurin, J., Anderson, K., Blanchette, C., Broitman, B., Cooper, S., y Halpern, B. (2005). What

determines the strength of a trophic cascade? *Ecology*, 86(2), 528–537.

Calderón, G., y Lindao, j. (2009). Abundancia del ictioplancton frente a las costas de Esmeraldas, Punta Galera y Puerto López durante el 2008. *Boletín Científico y Técnico*, 20 (5), 43-60.

Carles, C. M. (2014). Nuevos métodos de análisis multivariante. *CMC Editions*, Barcelona España.

Carpenter, J. (1965). The Accuracy of the Winkler Method for Dissolved Oxygen Analysis. *Limnol Oceanog*, 10, pp. 135-140.
Castillo, R., Antezana, T., y Ayon, P. (2007). The influence of El Niño 1997–98 on pelagic ostracods in the Humboldt Current Ecosystem off Perú. *Hydrobiologia*, 585, 29–41.

CPPS. (2014). Estado del Medio Ambiente Marino y Costero del Pacífico Sudeste. Comisión Permanente del Pacífico Sur - CPPS. Guayaquil, Ecuador. *Serie Estudios Regionales*, 4, 244 p.

Cognetti G, Sara M, Magazzú G (2001) Biología marina. *Primera edición*. Ed. Ariel. Barcelona España. 619 pp.

Cruz, M. (2012). Preferencia y rangos de tolerancia a la temperatura y salinidad de los Pterópodos y Heterópodos frente a la costa ecuatorial. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 17(1).

Cruz, M., Tapia, M., y Naranjo, C. (2010-2011). Especies planctónicas marinas como bioindicadoras de masas de agua frente a la costa ecuatorial durante el evento el Niño 2009–2010. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 16(1).

Cucalón E. (2002). Estudio de los Aspectos físicos del estuario de Esmeraldas. *Informe final de Petroecuador*: 5-14.

Dabrio, C. J., & Polo, M. D. (2015). Cambios del nivel del mar. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23(2), 171.

Dekaezemacker, J., Bonnet, S., Grosso, O., Moutin, T., Bressac, M., & Capone, D. G. (2013). Evidence of active dinitrogen fixation in surface waters of the eastern tropical South Pacific during El Niño and La Niña events and evaluation of its potential nutrient controls. *Global Biogeochemical Cycles*, 27(3), 768-779.

Delgado, E., & Chang, F. (2015). La comunidad de fitoplancton en la costa peruana, primavera 2005. *InfInst Mar Perú*, 42(3).

De la Cuadra, T. (2009). Variabilidad estacional e interanual en estaciones a 10 millas de la costa en el periodo 2004-2008. *Boletín Científico y Técnico*, 20 (5), 1-16.

Dioses, T. (2013). Patrones de distribución y abundancia del jurel *Trachurus murphyi* en el Perú. *Revista Peruana de Biología*, 20(1), 067-074.

EQUIPAMENTOS PARA ANÁLISE MICROSCÓPICA. (11 de agosto de 2018). CUBA DE DOLFUS. Recuperado de http://www.flemingbrasil.com.br/layout_hpage/p_analise_microscopica.htm.

Flores, R., Espino, M., Luque, G., & Quispe, J. (2013). Patrones de variabilidad ambiental en el mar peruano. *Revista Peruana de Biología*, 20(1), 21-28.

Ferrario, M. E., Sar, E. A., & Sala, S. E. (1995). Metodología básica para el estudio del fitoplancton con especial referencia a las diatomeas. *Manual de métodos ficológicos*, 1-23.

Frontier, S. (1981). Tratamiento de los datos. En: Boltovskoy, D. (Ed). *Atlas de*

Zooplankton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplankton marino INIDEP. Mar del Plata, Argentina. 169-188 pp.

Gadea Pérez, M. I. (2012). Variación espacial del fitoplancton en la zona costera de Gandía y su relación con la entrada de nutrientes. Disponible en <http://hdl.handle.net/10251/14442>.

Galeano, A., y Arteaga, E. (2010). Distribución y abundancia de diatomeas del género pseudo-nitzschia en condición de el niño 2007 sobre la cuenca pacífica colombiana. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 39(1).

García-Dulcimar, J. (2013). Distribución vertical y temporal del zooplankton con sistema de filtración por bomba en la ensenada de turpialito, Estado Sucre, Venezuela. *Universidad de Oriente. Venezuela*.

García, V., Rubio, J., Sánchez, G., Sánchez, S., Orozco, R., Huerto, M., & Cervantes, C. (2015). Calidad del ambiente marino y costero en la Región Áncash, 2012. *InfInst Mar Perú*, 42(4).

Giraldo, A., Valencia, B., Acevedo, J., & Rivera, M. (2014). Fitoplancton y zooplankton en el área marina protegida de Isla Gorgona, Colombia, y su relación con variables oceanográficas en estaciones lluviosa y seca. *Rev. Biol. Trop*, 62, 117-132.

Guillen, A., Badii, M. H., Abreu, J. L., & Rodríguez, H. (2013). Modelos Estadísticos Paramétricos y No Paramétricos para dos Muestras. *Revista Daena (International Journal of Good Conscience)*, 8(3).

Graco, M., Ledesma, J., Flores, G., y Girón, M. (2007). Nutrientes, oxígeno y procesos biogeoquímicos en el sistema de surgencias

de la corriente de Humboldt frente a Perú. *Rev. peru, biol*, 14(1), 117- 128.

Gualancañay, E., Tapia, M., Naranjo, C., Cruz, M., Villamar, F. (2010-2011). Caracterización biológica de la bahía de Jaramijó en la costa ecuatoriana, 2008. *Acta oceanográfica del pacífico*, Vol. 16, (1).

Inda-Díaz, E. A., Domínguez-Ojeda, D., Romero-Bañuelos, C. A., Navarro, J. T. N., & Morales, J. C. (2013). El zooplancton marino de la costa de Nayarit, México. *Revista Fuente nueva época Año*, 4(14).

Juárez, M., Sánchez, A., & González-Yajimovich, O. (2014). Variabilidad de la productividad biológica marina en el Pacífico nororiental durante el último milenio. *Ciencias marinas*, 40(4), 211-220.

Luzuriaga, M. (2015). Foraminíferos Planctónicos vivos en condiciones normales del mar ecuatoriano y durante el evento “el niño” 1997- 1998. *Acta Oceanográfica del Pacífico* Vol. 20 N°1.

Málikov, I., Villegas, N., y J. Moreno. (2010). Identificación de masas de agua horizontales y verticales como base para la localización de estaciones de monitoreo océano-atmosférico en la cuenca del pacífico colombiano. *Investigación, Biodiversidad y Desarrollo*, 29 (1), 68-78.

Martella, M. B., Trumper, E. V., Bellis, L. M., Renison, D., Giordano, P. F., Bazzano, G., & Gleiser, R. M. (2012). Manual de Ecología. Evaluación de la biodiversidad. *Reduca (Biología)*, 5(1).

Mesas, A., & Tarifeño, E. (2015). Temperaturas letales superiores para el mejillón, *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819), en la costa de Chile central. *Latinamerican journal of aquatic research*, 43(3), 473-483.

Mora, M., Ascón, D., & Hung, A. (2016). Evaluación y validación de la prueba de PCR para el control y monitoreo de diatomeas del género *Pseudo-nitzschia* en las bahías de Guaynuna y Salinas. *Salud y Tecnología Veterinaria*, 3(1), 13.

Moreno, L., Villegas, N., y Málikov, I. (2008). Análisis de la relación entre masas de aire y masas de agua superficiales sobre la Cuenca del Pacífico Colombiano para el establecimiento de estaciones hidrometeorológicas de monitoreo. *Bol Cient CIOH*, 26, 188-204.

Parsons, T., Y. Maita and C. Lally. 1984. A manual of chemical and biological methods of sea water analysis. *Pergamon, Oxford*. 189 p.

Paparazzo, F. E., Farias, L., Santinelli, N., Alder, V. A., & Esteves, J. L. (2013). Incorporación de nitrato por fitoplancton en dos ambientes marinos diferentes de la provincia de Chubut (42-46 S, Argentina). *Revista de biología marina y oceanografía*, 48(3), 591-600.

Prado, M., Troccoli, L., & Moncayo, E. (2015). Cambios estructurales del microfitoplancton en la zona costera de la provincia el oro-ecuador en temporada seca. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 54(2).

Pulina, A., Brutemark, A., Suikkanen, S., Padedda, B., Grubisic, L., Satta, C., Caddeo, T., Farina, P., Sechi, N., and Lugliè, L. (2016). Effects of warming on a Mediterranean phytoplankton community. *Web Ecol.*, 16, 89–92.

Rodríguez-Rubio., E., y Giraldo., A. (2011). Características Oceanográficas en la isla Malpelo y su relación con la cuenca oceánica del Pacífico Colombiano. *Boletín*

de Investigaciones Marinas y Costeras, 40 (Supl. Esp).

Rodríguez-Sáenz, K., & Morales-Ramírez, A. (2012). Composición y distribución del mesozooplankton en una zona de afloramiento costero (Bahía Culebra, Costa Rica) durante La Niña 1999 y el 2000. *Revista de Biología Tropical*, 60, 143-157.

Selph, K. E., Landry, M. R., Taylor, A. G., Gutiérrez-Rodríguez, A., Stukel, M. R., Wokuluk, J., & Pasulka, A. (2015). Phytoplankton production and taxon-specific growth rates in the Costa Rica Dome. *Journal of plankton research*, 38(2), 199-215.

SETEMAR (2015). Borrador del Estudio de Impacto Ambiental Proyecto para la Recolección y Procesamiento de datos con Sísmica de Reflexión Multicanal en 2D (dentro del área de la reserva marina de Galápagos). *Ecoeficiencia, Gestion Ambiental*.

Soto, P. L. (2013). Contraste de hipótesis. Comparación de más de dos medias independientes mediante pruebas no paramétricas: Prueba de Kruskal-Wallis. *Revista Enfermería del Trabajo*, 3(4), 166-171.

Strickland, J., y Parsons, T. (1972). A Practical Handbook of Sea Water Analysis. *Bull. Fish. Res. Board of Canada*, 67.

Sun, C., Wang, Y., Wu, M., Dong, J., Wang, Y., Sun, F., and Zhang, Y. (2013). Seasonal Variation of Water Quality and Phytoplankton Response Patterns in Daya Bay, China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 8, 2951-2966.

Tapia, E. (2013). Composición y distribución del fitoplancton durante la prospección sísmica en la costa ecuatoriana, diciembre de 2008. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 18 (1).

Tapia, M., y Naranjo, C. (2012). Aspectos Oceanográficos del Plancton y su relación con el Frente Ecuatorial, durante septiembre de 2011. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 17, (1).

Terborgh, J., & Estes, J. A. (Eds.). (2013). Trophic cascades: predators, prey, and the changing dynamics of nature. *Island Press*.

Thomas, M., Kremer, C., Klausmeier, C., y Litchman, E. (2012). A Global Pattern of Thermal Adaptation in Marine Phytoplankton. *SCIENCE*, 338, Issue 6110, 1085-1088 pp.

Trejo-Albarrán, R., Granados-Ramírez, J. G., & Gómez-Márquez, J. L. (2014). Variación del cladócero *Daphnia laevis* Birge, 1879 en el lago Zempoala, Morelos, México. *Editor asociado*, 25.

Vargas, E. C., Abarca, J. B., & Artavia, K. B. (2014). Efectos de El Niño y La Niña sobre el comportamiento del microfitoplancton marino y las variables fisicoquímicas durante el 2008 a 2010 en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 6, 115-133.

Zaafa, A., Ettahiri, O., Elkhiaiti, N., Blahen, M., Berraho, A., Somoue, L., and Elghrib, H. (2012). Variability of spatial and temporal distribution of marine zooplankton communities in relation with environmental parameters in Tangier and M'Diq (Gibraltar strait) regions. *J. Mater. Environ. Sci.* 3(2) 262-269.

NUEVA EVIDENCIA DE CONECTIVIDAD DE BALLENAS JOROBADAS ENTRE LA PENINSULA ANTARTICA Y LA COSTA DE ECUADOR

NEW EVIDENCE OF CONNECTIVITY OF HUMPBACK WHALES BETWEEN ANTARCTIC PENINSULA AND THE COAST OF ECUADOR

Fernando Félix^{1,2}, Alfredo Carrasco Valdivieso³ y Ben Haase²

1 Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Av. 12 de Octubre 1076. Quito, Ecuador. E-mail: fefelix90@hotmail.com

2 Museo de ballenas de Salinas. General Enríques Gallo S/N, entre calles 47 y 50. Salinas, Ecuador. E-mail: bhaase2012@gmail.com.

3 SamiriProGea. Inglaterra N32 189 y Mariana de Jesús. Quito, Ecuador. E-mail: alf.carrasco.v@gmail.com.

RESUMEN

Presentamos tres casos de ballenas jorobadas (Megaptera novaeangliae) fotografiadas en aguas de la península Antártica durante el verano austral de 2015, que fueron previamente registradas frente a la costa de Salinas, Santa Elena, Ecuador. Se confirma, una vez más, la conectividad entre las ballenas jorobadas que se reproducen en la costa de Ecuador con las que se alimentan en el lado occidental de la península Antártica. La distancia mínima entre ambos sitios es de 7,200 km.

El período máximo transcurrido entre los re-avistamientos en uno de los casos fue de 12 años y cinco meses. Nuestro hallazgo demuestra la importancia de realizar estudios de largo plazo para especies de larga vida como las ballenas jorobadas y de utilizar cada plataforma de investigación disponible para mejorar nuestro conocimiento de estas especies y su ambiente. Recomendamos al Instituto Antártico Ecuatoriano incluir una línea de investigación sobre mamíferos marinos, lo que contribuirá a mejorar nuestra comprensión del rol de estas especies en el ecosistema antártico y promover su investigación y conservación, en seguimiento a acuerdos internacionales adoptados por Ecuador. Así mismo, recomendamos a empresas turísticas que operan en Antártica contribuir con fotografías a programas de investigación como el del Museo de Ballenas de Salinas.

Palabras claves: ballena jorobada, migración, península Antártica, Ecuador, fotoidentificación

ABSTRACT

*We report three cases of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) photographed off the Antarctic Peninsula during the austral summer 2015, that were previously observed off the coast of Salinas, Santa Elena, Ecuador. Once again, we confirm the connectivity between humpback whales breeding on the coast of Ecuador with those feeding on the western side of the Antarctic Peninsula. The minimum distance between both sites is 7,200 km.*

The timespan in one case was 12 years and five months. Our findings demonstrate the importance of long-term studies for long-lived species such as humpback whales, and the use of every available research platform to improve our knowledge of these species and their environment. We recommend the Ecuadorian Antarctic Institute includes marine mammals as a research topic. This will help to improve our understanding of the role of these species in the Antarctic ecosystem and promote their study and conservation, in compliance with international agreements adopted by Ecuador. We also recommend that tourist companies operating in the Antarctic contribute photographs to research programs such as those run by the Whale Museum of Salinas.

Keywords: *humpback whale, migration, Antarctic Peninsula, Ecuador, photo-identification*

INTRODUCCION

La ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*), al igual que la mayoría de las grandes ballenas, es una especie altamente migratoria que tiene sus sitios de alimentación y reproducción separados por miles de kilómetros (Kellogg, 1929; Mackintosh, 1942). En el hemisferio sur existen seis poblaciones o stocks reconocidos por la Comisión Ballenera Internacional y referidos con las letras de la A a la G (International Whaling Commission, 1998). La población que llega a la costa de Ecuador y Galápagos se lo conoce como el Stock Reproductivo G, también llamado del Pacífico Sudeste o de la costa occidental de Sudamérica. Esta población tiene su área de reproducción en la zona tropical que comienza en el límite entre Ecuador y norte de Perú (aproximadamente 4°S) y se extiende hasta el sur de Costa Rica (12°N) (Flórez, et al., 1998; Rasmussen et al., 2007, Guidino et al., 2014), y las áreas de alimentación localizadas en el archipiélago Fuego al sur de Chile y principalmente en el lado occidental de la península Antártica (Dalla-Rosa et al., 2008; Acevedo et al., 2007, 2017; Huckle-Gaete et al., 2013).

La presencia estacional de ballenas jorobadas en la costa de Ecuador y su importancia como zona de reproducción es conocida por mucho tiempo. Entre 1852 y 1853 el famoso ballenero Charles Scammon observó que en el golfo de Guayaquil había una abundante cantidad de ballenas jorobadas (Scammon, 1874). Sin embargo, la especie fue “redescubierta” en las costas de Ecuador recién durante la década de los 90’s del siglo XX gracias a la iniciativa de investigadores independientes que vienen realizando estudios de largo plazo por más de dos décadas (e.g. Scheidat et al. 2000; Félix y Haase, 2001). La razón por la cual las ballenas jorobadas fueron “olvidadas” por la ciencia durante más de un siglo, se debió a que la población fue diezmada por la caza de ballenas, actividad que se inició

en esta región del mundo en el siglo XVIII y continuó a lo largo del Pacífico Sudeste en el siglo XX desde estaciones balleneras en Perú y Chile (Chiriboga, 1972; Clarke, 1980; Ramírez, 1988).

La conectividad entre las zonas de alimentación en Antártica con la costa de Ecuador y Galápagos para las ballenas jorobadas del Pacífico Sudeste ha sido establecida en la última década gracias a estudios de foto-identificación (Stevick et al. 2004, Acevedo et al., 2007, 2017), genética (Félix et al., 2012) y recientemente el seguimiento de animales con marcas satelitales (Félix y Guzmán, 2014). La mayoría de la evidencia de Antártica que muestra dicha conectividad proviene de diferentes equipos de investigación extranjeros que realizan estudios de ballenas jorobadas alrededor de la península Antártica durante el verano austral, como por ejemplo, el Instituto Antártico Chileno, el Programa Antártico Brasileño, entre otros (Acevedo et al., 2006; Dalla-Rosa et al., 2012). En este artículo informamos sobre nueva evidencia de conectividad para la especie entre Ecuador y la península Antártica, lo que resalta la importancia de promover estudios de ballenas durante las expediciones ecuatorianas a la Antártica.

FUENTE DE LA INFORMACIÓN

Las ballenas jorobadas pueden ser identificadas individualmente gracias al patrón de coloración de la cara ventral de la cola que es único en cada individuo (Katona, et al., 1979). Aunque la diferencia se basa solo en dos colores, blanco y negro, existe una posibilidad casi infinita de combinaciones de rayas, círculos, grosor y forma del borde, que vuelven único a cada individuo. Usando esta técnica, investigadores del Museo de Ballenas de Salinas (MBS) registraron y catalogaron 2,133 individuos en la costa de Ecuador entre 1991 y 2013, principalmente en Salinas (2°10’S, 81°02’W) y en la zona del Parque Nacional Machalilla y sus

alrededores ($1^{\circ}21'S$, $80^{\circ}54'W$) (Félix y Haase, 2001; Félix et al., 2011).

El catálogo del MBS digitalizado está disponible para investigadores que deseen comparar fotografías de ballenas tomadas en Ecuador o en cualquier otra parte del Pacífico Sudeste, incluso más allá de esta región. Es un esfuerzo colaborativo a través del cual se han realizado importantes avances sobre los movimientos de esta población de ballenas a escala regional e incluso interoceánica (e.g. Stevick et al., 2004; 2013; Acevedo et al., 2007, 2017; Dalla Rosa, et al., 2012).

Durante el verano austral 2015 (enero-

marzo) el segundo autor (ACV), en una visita a la península Antártica a bordo de la embarcación de turismo Ocean Diamond – Quark Expeditions, tuvo la oportunidad de fotografiar ballenas jorobadas en la parte central del estrecho de Gerlache ($64^{\circ},40'S$, $62^{\circ}52'W$) (Figura 1).

Un total de 11 individuos diferentes fueron fotografiados entre el 13 y 15 de enero de 2015 y fueron comparados con el catálogo del MBS en búsqueda de coincidencias. Las ballenas en pareja o en grupos de hasta tres individuos, estaban dedicadas al forrajeo. La observación de las ballenas formaba parte de las actividades que ofrecía la empresa turística.

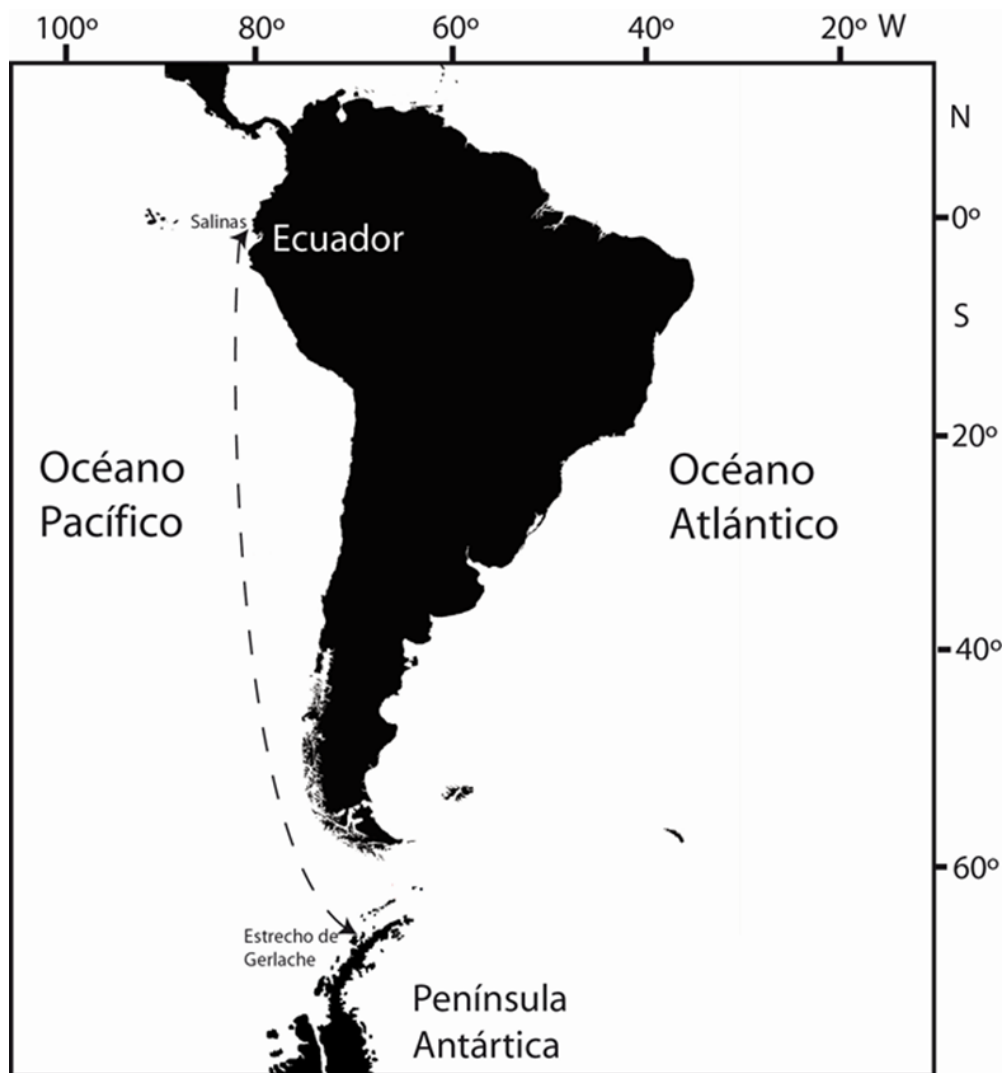


Figura 1. Sitios de donde fueron registradas los individuos Nos 276, 1090 y 2152 en Ecuador y península Antártica.

Figure 1. Sites where individuals N° 276, 1090 and 2152 were recorded in Ecuador and the Antarctic Peninsula.

RESULTADOS

De la comparación entre los once individuos fotografiados en la Antártica se obtuvieron tres coincidencias con individuos del catálogo del MBS asignados con los números 276, 1090 y 2152 (Figura 2). Los tres individuos fueron previamente registrados frente a Salinas, Santa Elena: el individuo N° 276 fue registrado dos veces, la primera el 10 de agosto de 2002 y la segunda el 25 de agosto de 2008; el

individuo N° 1090, una sola vez el 1 de agosto de 2007; y el N° 2152, una vez el 31 de agosto de 2013. La distancia más corta entre Salinas y el sitio de registro de los animales en el estrecho de Gerlache es de 7,200 km. El tiempo transcurrido entre la primera y última vez que se observó al individuo N° 276 es de 12 años y 5 meses; del N° 1090 siete años y 5 meses; y del N° 2152 1 año y cinco meses. Se desconoce el sexo de los individuos aquí mencionados.

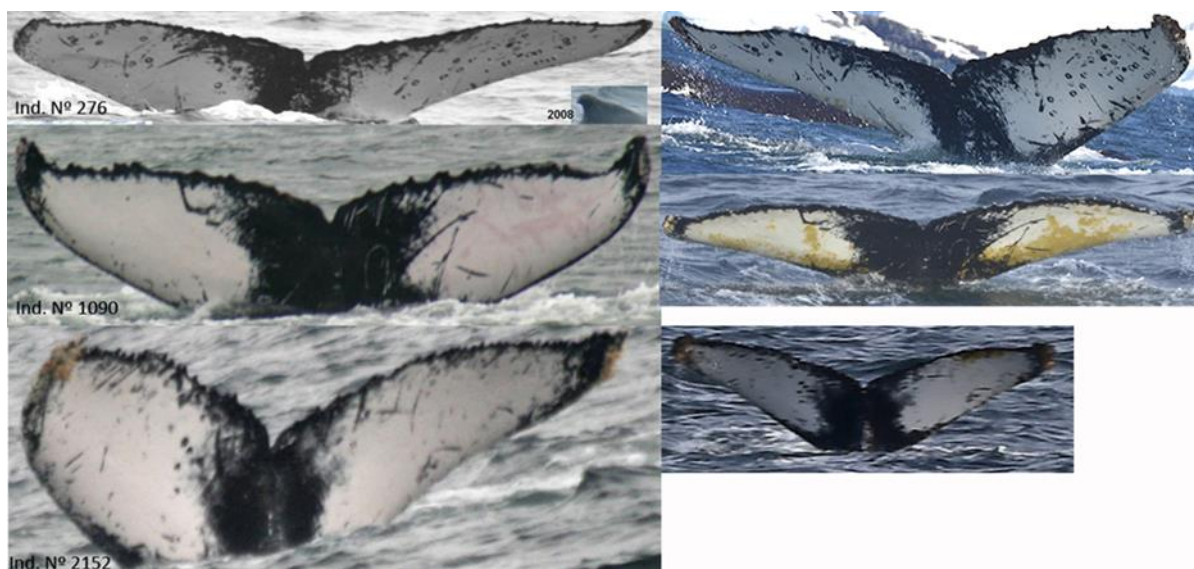


Figura 2. Fotografías de los tres individuos registrados en el estrecho de Gerlache (d) y de los registrados en Salinas (i) que constan en el catálogo MBS como Inds N° 276 (arriba), 1090 (en medio) y 2152 (abajo).

Figure 2. Photographs of the three individuals recorded in the Gerlache Strait (r) and in Salinas (l) included in the MBS catalog as Inds N° 276 (top), 1090 (center) and 2152 (bottom).

DISCUSION

La información aquí presentada demuestra la importancia de realizar estudios con una visión de largo plazo sobre animales de larga vida y ciclos biológicos complejos como la ballena jorobada. Así mismo, se destaca la importancia de realizar estudios colaborativos e interdisciplinarios que permitan integrar información sobre especies migratorias y su ambiente obtenida en los diferentes sitios de distribución de estas especies, mejorando así nuestro conocimiento sobre las variables ecológicas que regulan su presencia y movimientos estacionales (e.g. Flórez-González et al.,

2007; CPPS, 2014).

Debido a la cantidad de alimento que consumen durante la temporada de alimentación, las ballenas y otros mamíferos marinos tienen un papel ecológico importante en el ecosistema antártico. Se considera que las fluctuaciones poblacionales de ballenas causadas por la caza comercial han provocado cambios a gran escala y un efecto de cascada trófica al verse afectados no solo especies de vertebrados superiores como pingüinos y focas, sino incluso las comunidades planctónicas y nectónicas (Ainley et al., 2009). Por ello recomendamos incluir estudios de mamíferos marinos dentro de

las actividades regulares del Instituto Antártico Ecuatoriano, lo que permitirá entrenar a personas y contribuir al conocimiento integral del ecosistema antártico. En años pasados, los cruceros de investigación oceanográfica que realiza el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR) en aguas ecuatorianas han demostrado ser valiosas plataformas para la investigación de cetáceos (e.g. Clarke et al., 2002; Jiménez et al., 2011; O'Hearn, 2012). Las Expediciones ecuatorianas a Antártica representan una oportunidad adicional y única para investigadores de mamíferos marinos que aún no ha sido del todo aprovechada. Durante la XIV Expedición Científica a Antártica, Tirira (2010) registró 517 individuos de 11 especies de mamíferos marinos entre pinnípedos y cetáceos, pero este trabajo no continuó.

Las aguas del estrecho de Gerlache, donde fueron fotografiadas las ballenas que aquí reportamos, junto a las del estrecho de Bransfield, son los principales sitios de alimentación de las ballenas jorobadas del Pacífico Sudeste (Dalla-Rosa, 2010). Las investigaciones ecuatorianas en Antártica se concentran en los alrededores de la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado, localizada en punta Fort Williams, isla Greenwich, al suroeste del estrecho de Bransfield.

Por lo tanto, incluir a las ballenas jorobadas como objeto de investigación en las expediciones ecuatorianas a la Antártica permitirá realizar estudios complementarios a los que se realizan con esta especie en la zona de reproducción en la costa continental de Ecuador. Técnicas no invasivas, como la foto-identificación e inclusive la acústica, entre otras, sirven para demostrar la conectividad entre poblaciones de jorobadas, lo cual permitirá ajustar parámetros para modelación poblacional. Por lo tanto, recomendamos también extender investigaciones regionales incluyendo estudios genéticos y patrones acústicos para mejorar nuestro

entendimiento de la estructura poblacional (e.g. Félix et al., 2012, Garland et al., 2015), comportamiento alimenticio, isótopos estables para trazar procesos fisicoquímicos, y marcación satelital para mejorar nuestra comprensión de los movimientos locales (e.g. Dalla-Rosa et al., 2008), entre otros.

Entendemos las limitaciones en términos de recursos económicos y logísticos que representa incluir una nueva área de investigación en futuras expediciones ecuatorianas a la Antártica. Sin embargo, Ecuador al ser signatario de la Convención Internacional para la Regulación de la Caza de Ballenas (1946) y su Protocolo (1959), se ha comprometido a promover la investigación científica y la conservación de las especies de ballenas que son de interés para la convención. Por lo tanto, las presentes recomendaciones no solo son pertinentes, sino que su adopción ayudará a visibilizar el trabajo de investigación del Instituto Antártico Ecuatoriano en este y otros foros internacionales relacionados con biodiversidad marina y especies migratorias.

Destacamos también el importante aporte que expediciones no científicas pueden tener en la generación de información biológica y contribuir al esfuerzo que realizan grupos de investigación de mamíferos marinos antárticos, de manera similar a lo que ocurre con programas de observación de ballenas en la costa de Ecuador –incluido el golfo de Guayaquil y las islas Galápagos– que han permitido obtener valiosa información biológica y ecológica durante la época reproductiva de las ballenas jorobadas (e.g. Félix y Haase 2001; Félix et al., 2011, 2012). Alentamos a los operadores turísticos antárticos a capacitar guías naturalistas, adoptar protocolos para la toma de información y proporcionar acceso a investigadores abordo, junto a la aplicación de nuevas técnicas de investigación complementarias para mejorar el entendimiento de la

estructura poblacional de ballenas jorobadas en el Pacífico Sudeste.

AGRADECIMIENTOS

A lo largo de los años muchas personas han contribuido con el catálogo del Museo de Ballenas en Salinas, incluyendo investigadores, guías naturalistas y turistas; agradecemos a todos ellos por su colaboración. A. Carrasco agradece a Sylvia Harcourt-Carrasco, Sandy Harcourt y Kelly Stewart por su apoyo para este viaje, así como a la empresa SamiriProGea. Un revisor anónimo asignado de este artículo hizo valiosos comentarios que mejoraron su contenido.

REFERENCIAS

Acevedo, J., Aguayo-Lobo, A., & Pastene L. 2006. Filopatría de la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae* Borowski, 1781), al área de alimentación del estrecho de Magallanes. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 41(1), 11-19.

Acevedo, J., Rasmussen, K., Félix, F., Castro, C., Llano, M., Secchi, E., Saborío, M. T. Aguayo-Lobo, A., Haase, B., Scheidat, M., Dalla-Rosa, L., Olavarria, C., Forestell, P., Acuña, P., Kaufman, G., & Pastene, L. 2007. Migratory destinations of the humpback whales from Magellan Strait feeding ground, Chile. *Marine Mammal Science*, 23(2), 453-463.

Acevedo, J., Aguayo-Lobo, A., Allen, J., Botero-Acosta, N., Castro, C., Dalla Rosa, L., Denking, J., Félix, F., Flórez-González, L., Frank Garita, F., Guzmán, H. M., Haase, B., Kaufman, G., Llano, M., Olavarria, C., Pacheco, A. S., Plana, J., Rasmussen, K., Scheidat, M., Secchi, E. R., Silva, S., & Stevick, P.T. 2017. Migratory preferences of humpback whales between feeding and breeding grounds in the eastern South Pacific. *Marine Mammal Science*. <https://doi.org/10.1111/mms.12423>.

Ainley, D., Ballard, G., Blight, L. K., Ackley, S., Emslie, S. D., Lescroel, A., Olmastroni, S., Tynan, C. T., Wilson, P., & Woehler, E. 2009. Impacts of cetaceans on the structure of Southern Ocean food webs. *Marine Mammal Science*, 26(2), 482-498.

Clarke, R. 1980. Catches of sperm whales and whalebone whales in the southeast Pacific between 1908-1975. *Reports of the International Whaling Commission*, 30, 285-8.

Clarke, R, Félix, F., Paliza, O., & Brtnik, P. 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 de 2001. *Acta Oceanográfica del Pacífico, INOCAR, Ecuador*, 11(1), 173-180.

Chiriboga, H. A. 1972. Las Ballenas en el Pacífico Sur Oriental. Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador, Salinas, Ecuador. 54 p.

Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS). 2014. Atlas sobre distribución, rutas migratorias, hábitats críticos y amenazas para grandes cetáceos en el Pacífico oriental. Comisión Permanente del Pacífico Sur - CPPS. Guayaquil, Ecuador. Serie Estudios Regionales, No. 1. 88p

Dalla-Rosa, L. 2010. Modeling the foraging habitat of humpback whales. PhD Thesis. The University of British Columbia, Vancouver, Canada. 185p.

Dalla-Rosa, L, Secchi, E. R., Maia, Y. G., Zerbini, A. N., & Heide-Jørgensen M. P. 2008. Movements of satellite-monitored humpback whales on their feeding ground along the Antarctic Peninsula. *Polar Biology*, 31(7):771-781. <https://doi.org/10.1007/s00300-008-0415-2>.

Dalla-Rosa, D.L., Félix, F., Stevick, P. T., Secchi, E. R., Allen, J. M., Chater, K.,

Martin, A. R., & Bassoi, M. 2012. Feeding grounds of the eastern South Pacific humpback whale population include the South Orkney Islands. *Polar Research* 31, 17324, <https://doi.org/10.3402/polar.v31i0.17324>.

Félix, F., & Haase, B. 2001. The humpback whale off the coast of Ecuador, population parameters and behavior. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 36(1), 61-74.

Félix, F., & Guzmán, H. 2014. Satellite Tracking and Sighting Data Analyses of Southeast Pacific Humpback Whales (*Megaptera novaeangliae*): Is the Migratory Route Coastal or Oceanic? *Aquatic Mammals*, 40 (4), 329-340, <https://doi.org/10.1578/AM.40.4.2014.329>.

Félix, F., Caballero, S., & Olavarria, C. 2012. Genetic diversity and population structure of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) from Ecuador based on mitochondrial DNA analyses. *Journal of Cetacean Research and Management*, 12(1), 71-77.

Félix, F., Castro, C., Laake, J., Haase, B., & Scheidat, M. 2011. 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 3, 301-307.

Flórez, L., Capella, J., Haase, B., Bravo, G. A., Félix, F., & Gerrodette, T. 1998. Changes in winter destinations and thenorthernmost record of southeastern Pacific humpback whales. *Marine Mammal Science*, 14(1), 189-196.

Flórez-González, L., Ávila, I. C., Capella, J. C., Falk, P., Félix, F., Gibbons, J., Guzmán, H. M., Haase, B., Herrera, J. C., Peña, V., Santillán, L., Tobón, I. C., & Van Waerebeek, K. 2007. Estrategia para la conservación de la ballena jorobada del

Pacífico Sudeste. Lineamientos para un plan de acción regional e iniciativas nacionales. Fundación Yubarta. Cali, Colombia. 106 p.

Garland, E., Noad, J.M. Goldizen, A. W., Lilley, M. S., Rekdahl, M., Garrigue, C., Rochelle, C, Hauser, N. D., Poole, M. M., & Jooke, R. 2013. Quantifying humpback whale song sequences to understand the dynamics of song exchange at the ocean basin scale. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 133. 560-9. <https://doi.org/10.1121/1.4770232>.

Guidino, Ch., Llapapasca, M. A., Silva, S., Alcorta, B., & Pacheco, A. S. 2014. Patterns of spatial and temporal distribution of Humpback Whales at the Southern Limit of the Southeast Pacific Breeding Area. *PloS ONE* 9 (11): e112627.

Hucke-Gaete, R., Haro, D., Torres-Flórez, J. P., Montecinos, Y., Viddi, F., Bedriñana-Romano, L., Nery, M. F., & Ruiz, J. 2013. A historical feeding ground for humpback whales in the eastern South Pacific revisited: the case of northern Patagonia, Chile. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. <https://doi.org/DOI:10.1002/aqc.2343>.

Jiménez, P., Torres, S., Álava, J. J., & Samanniego, J. 2011. Inventario, abundancia y distribución especial de mamíferos marinos y aves en las islas Galápagos durante el crucero oceanográfico (BAE Orión) en abril 2009: implicaciones para conservación. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 16(1), 75-94.

Katona S., Baxter, B., Brazier, O., Kraus, S., Perkins, J., & Whitehead, H. 1979. Identification of humpback whales by fluke photographs. Pp. 33-34. In: H.E. Winn and B.L. Olla (Eds.). *Behavior of Marine Animals Vol. 4*. Plenum Press.

Kellogg, R. 1929. What is known of the migration of some of the whalebone whales.

Smithsonian Institution Annual Report 1928, 467-494.

International Whaling Commission (IWC). 1998. Report of the Scientific Committee. Reports of the International Whaling Commission, 48, 53-118.

Mackintosh, N. A. 1942. The southern stocks of whalebone whales. Discovery Reports XXII: 197-300.

O'Hearn, J. 2012. Cetacean distribution in Ecuador: spatial and temporal relationships between ocean fronts and the apex predator population. Tesis PhD. Texas A&M University. 125 p.

Ramírez, P. 1988. La ballena jorobada *Megaptera novaeangliae* en la costa norte del Perú: períodos 1961-1965 y 1975-1985. Boletín de Lima, 56, 91-96.

Rasmussen, K., Palacios, D., Calambokidis, J., Saborio, M. T., Dalla Rosa, L., Secchi, E. R., Steiger, G. H., Allen, J. M., & Stone, G. 2007. Southern Hemisphere humpback whales wintering off Central America: insights from water temperature into the longest mammalian migration. Biology Letters, 3(3), 302-05.

Scammon, C. 1874. Marine mammals of the North-western coast of North America.

John H. Carmany and Company. New York.

Scheidat, M., Castro, C., Denking, J., González, J., & Adelung, D. 2000. A breeding area for humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) off Ecuador. Journal of Cetacean Research and Management, 2(3), 165-171.

Stevick, P., Aguayo, A., Allen, J., Avila, I. C., Capella, J., Castro, C., Chater, K., Engel, M. H., Félix, F., Flórez-González, L., Freitas, A., Haase, B., Llano, M., Lodi, L., Muñoz, E., Olavarria, C., Secchi, E., Scheidat, M., & Siciliano, S. 2004. A note on the migrations of individually identified humpback whales between the Antarctic Peninsula and South America. Journal of Cetacean Research and Management, 6(2), 109-113.

Stevick, P. T., Allen, J. M., Engel, M. H., Félix, F., Haase, B., & Neves, M. C. 2013. Inter-oceanic movement of an adult female humpback whale between Pacific and Atlantic breeding grounds off South America. Journal of Cetacean Research and Management. 13(2), 159-162.

Tirira, D. 2010. Observación de mamíferos marinos durante la XIV Expedición Científica Antártica Ecuatoriana. Boletín Técnico 9, Serie Zoológica 6, 134-146.

UN ELEFANTE MARINO DEL SUR (*Mirounga leonina*) EN EL ESTUARIO INTERIOR DEL GOLFO DE GUAYAQUIL; LECCIONES DE UN EVENTO INUSUAL

A SOUTHERN ELEPHANT SEAL (*Mirounga leonina*) IN THE INNER ESTUARY OF THE GULF OF GUAYAQUIL; LESSONS OF AN UNUSUAL EVENT

Fernando Félix^{1,2}

¹Pontificia Universidad Católica del Ecuador PUCE, Av. 12 de Octubre y Roca, Quito, Ecuador

²Museo de Ballenas, Av. General Enríquez Gallo s/n entre calles 47 y 50 Salinas, Ecuador

RESUMEN

*Un elefante marino fue registrado el 23 de octubre de 2017 en el río Milagro, Ecuador (2°7'34''S, 79°40'16''W). El tamaño del ejemplar se estimó en aproximadamente 4 m de longitud y su peso entre 1 y 2 toneladas. Una probóscide bien formada y cicatrices atrás de la cabeza indicaban que se trató de un macho adulto. Su presencia coincide con la época en que los elefantes marinos del sur (*Mirounga leonina*) van a tierra para reproducirse, lo cual sería la razón de este inusual registro. Anomalías térmicas a causa del reciente evento ENSO estarían relacionadas con el movimiento del animal fuera de su área normal de distribución. Registros previos de elefantes marinos en Ecuador muestran incertidumbre en la identificación de la especie, por lo que este sería el primer registro confirmado de un elefante marino del sur en aguas ecuatorianas. El animal fue forzado a dejar el río Milagro por personal de instituciones públicas y personas del sitio en respuesta a la presión mediática. Se proporcionan algunas recomendaciones a las autoridades para tratar futuros eventos de este tipo de una manera más apropiada.*

Palabras claves: elefante marino del sur, Ecuador, ENSO, golfo de Guayaquil.

ABSTRACT

*An elephant seal was recorded on 23 October 2017 in the Milagro River, Ecuador (2°7'34''S, 79°40'16''W). Its size was estimated at approximately 4 m in length and between 1 and 2 tons in weight. A well-developed proboscis and scars behind the head indicated that it was an adult male. His presence coincides with the time when the southern elephant seal *Mirounga leonina* come to shore for breeding, which would be the reason for this unusual record. Thermal anomalies due to the recent ENSO event would explain the extensive movement of this specimen outside of its normal distribution range. Previous records of elephant seals in Ecuador show uncertainty in the identification of the species, so this would be the first confirmed record of southern elephant seal in Ecuadorian waters. The animal was forced to leave the Milagro River by personnel of governmental agencies and local people in response to the media pressure generated by its presence. Some recommendations to authorities are made to deal more appropriately in future events of this type.*

Keywords: Southern elephant seal, Ecuador, ENSO, Gulf of Guayaquil

INTRODUCCIÓN

La presencia de elefantes marinos en Ecuador es un evento inusual. Existen dos registros previos en Ecuador continental realizados en 1998 y 2002, el primero en el río Babahoyo y el segundo en el Estero Salado (Álava y Carvajal, 2005).

Adicionalmente hay otros dos casos de elefantes marinos jóvenes fotografiados en Playa Tortuga Negra, isla Isabela, Galápagos, en 2004 (Vargas *et al.*, 2004). Sin embargo, en los cuatro casos no se pudo establecer con certeza la especie pues hay dos especies de elefante marino, el del norte *Mirounga angustirostris* y el del sur *Mirounga leonina*. El elefante marino del norte es un poco más pequeño que el del sur y tiene una distribución circunscrita al Pacífico nororiental desde Baja California en México hasta Alaska y las islas Aleutianas por el norte, y por el oeste hasta los 180° W (Reeves, *et al.*, 1992; Hückstädt, 2015).

Se han registrado especímenes en el Pacífico occidental tan lejos como Japón (*Ídem*), indicando que la especie ocasionalmente puede realizar movimientos extraordinarios. El elefante marino del sur tiene una distribución circumpolar con sitios de reproducción localizados en áreas antárticas y subantárticas, aunque también hay colonias reproductivas grandes en península Valdés al sur de Argentina y las islas Malvinas (Reeves, *et al.*, 1992; Lewis *et al.*, 2006; Hofmeyr, 2015) y pequeñas colonias en el extremo sur de Chile (Acevedo *et al.*, 2016). Del elefante marino del sur se han reportado animales errantes en diferentes continentes e incluso hay un registro en la península de Omán a 18° N de latitud (Johnson, *et al.*, 1990). La especie también ha sido reportada con cierta frecuencia en ambas costas de Sudamérica (Lewis *et al.*, 2006). En Brasil se han reportado docenas de casos a lo largo de todos los meses del año hasta casi 4°N de latitud

(Lodi & Siciliano, 1989; De Moura *et al.*, 2010) y en la costa occidental de Sudamérica la especie ha sido registrada desde el sur de Chile (Torres, 1981; Pacheco *et al.*, 2011; Acevedo *et al.*, 2016) hasta el archipiélago las Perlas en Panamá a los 8°47'N (Redwood & Félix, 2018), esto es, alrededor de 1,500 km al norte de Ecuador. Este último registro apoya la creencia de que el espécimen del río Milagro y de al menos los dos anteriores casos ocurridos en la costa de Ecuador también podrían ser de elefantes marinos del sur.

El 23 de octubre de 2017, un elefante marino fue observado en el río Milagro, en el estuario interior del golfo de Guayaquil, Ecuador (Figura 1). La noticia fue cubierta ampliamente por medios de prensa locales así como por redes sociales. El autor estuvo en el sitio y encontró al animal en el recinto el Cóndor (2°07'34''S, 79°40'16''W), a unos 5 kilómetros al sureste de Yaguachi (Guayas). El hocico corto, aletas posteriores rectas y dirigidas hacia atrás y una probóscide con grandes orificios nasales confirmaban que era un elefante marino macho (Reeves, *et al.*, 1992; Jefferson *et al.*, 2008).

Este caso ofreció una nueva posibilidad de observar un elefante marino en Ecuador continental después de 15 años. Sin embargo, la alta visibilidad mediática del evento obligó a las autoridades ambientales a intervenir forzando al animal hacia el río Babahoyo con la esperanza de que regrese al mar. En este artículo, se describen las circunstancias particulares que rodearon este inusual evento, se revisan aspectos biológicos que permitieron identificar la especie y proponer una explicación para su presencia lejos de su área de ocurrencia. Finalmente, se hacen recomendaciones a las autoridades ambientales para que futuros eventos de este tipo sean manejados de una manera más apropiada.

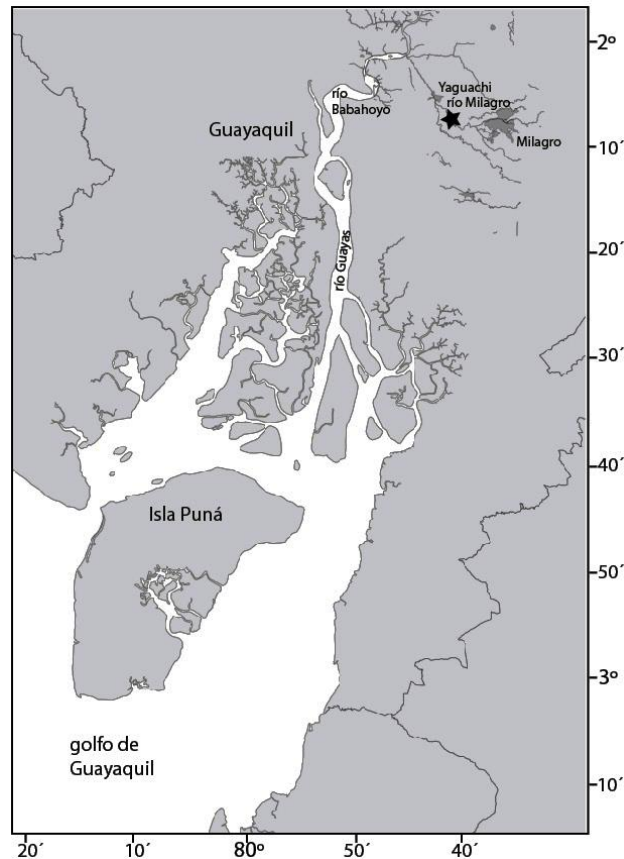


Figura 1. Sitio donde se registró el elefante marino (estrella) en el estuario interior del golfo de Guayaquil.
Figure 1. Site where the elephant seal was recorded (star) in the inner estuary of the Gulf of Guayaquil.

Observaciones en el sitio del evento

Al momento de llegar al sitio del evento había mucha gente en la orilla del río atraída por la noticia y un grupo de 6 personas en el agua trataba de dirigir al animal hacia Yaguachi, donde el río es más profundo, con la intención de que el animal encuentre su propio camino de regreso (Figura 2). La marea estaba baja en ese momento y había zonas del río que tenían 30 o 40 cm de profundidad, por lo que al animal le costaba trabajo avanzar. Un agricultor que vive junto al río informó al autor que lo vio llegar esa madrugada y que a esa hora la marea también estuvo en bajamar. El tamaño del animal fue estimado en 4 m de longitud total (incluyendo las aletas posteriores) usando como referencia la

estatura de las personas que estaban en el agua y su peso estimado entre 1 y 2 toneladas. Era un ejemplar robusto y parecía en buenas condiciones físicas. Su coloración era marrón claro uniforme. Por detrás de la cabeza tenía una cicatriz recta de unos 15 cm y otras pequeñas redondas deprimidas, probablemente causadas por dientes de enfrentamientos previos con otro macho, lo que demuestra que el animal era un adulto joven en edad reproductora, quedando las cicatrices como evidencia de encuentros agonísticos (Figura 3). Un poco más atrás y del lado izquierdo del cuerpo se observaba una herida circular, que parecía reciente, de unos 5 cm de diámetro; aparte de esto, no se observaron heridas en otras partes del cuerpo que pudieran sugerir un daño externo mayor.



Figura 2. El animal rodeado por personas que lo forzaban a moverse río abajo.
Figure 2. The animal surrounded by people being forced to move downstream.



Figura 3. Forma de la probóscide típica de un macho adulto de elefante marino del sur. Nótese las cicatrices en el dorso atrás de la cabeza.

Figure 3. Form of the proboscis typical of an adult male southern elephant seal. Note the scars in the dorsum behind the head.

El animal fue forzado a avanzar por el lecho seco del río, las personas hacían ruido, lo tocaban con un palo en diferentes partes del cuerpo, lo agarraban de las aletas posteriores y le echaban agua con las manos sobre la cabeza. El animal reaccionaba enérgicamente persiguiendo a las personas por el agua; con energía, elevaba al aire sus aletas posteriores, para luego levantarse sobre su parte posterior, giraba el torso, emitía vocalizaciones y abría la boca de manera amenazante, entonces descendía lentamente por el cauce. El animal

lucía estresado, a ratos parecía estar cansado y le costaba trabajo retomar el camino en busca de la parte más profunda del lecho del río, donde se notaba podía moverse con menos dificultad. En varias ocasiones se observó al animal mojándose el lomo con las aletas pectorales, por lo que se presume se estaba sobrecalentando. El autor acompañó el recorrido por 3 horas y media hasta el final de la tarde a lo largo de 4.1 km. Durante el recorrido se lo fotografió, se realizaron tomas de video y se tomó una muestra de pelo, que

fue preservada en alcohol, con la intención de hacer un estudio de ADN.

El elefante marino fue visto al día siguiente descansando sobre la orilla de un afluente del río Babahoyo en el sector de Baba, 40 km río arriba, por personal del Ministerio de Ambiente que lo custodió durante ese día. Después de esto ya no hubo nuevos avistamientos por lo que se presume que el animal regresó al mar.

DISCUSIÓN

Los elefantes marinos son los pinnípedos más grandes del mundo y tienen un marcado dimorfismo sexual en edad adulta, lo que facilita su identificación. Sin embargo, los jóvenes machos y las hembras son físicamente similares hasta alcanzar la pubertad (3 a 6 años), a partir de lo cual los machos se vuelven más grandes, voluminosos y desarrollan una probóscide (Ling & Bryden, 1981; Reeves *et al.*, 1992).

En el caso del ejemplar del río Milagro, la presencia de una bien formada probóscide, así como de cicatrices de peleas previas con otros machos, indicaba que se trataba de un macho adulto. Esto contrasta con reportes previos de animales errantes en ambas costas de Sudamérica de Chile y Brasil que en su gran mayoría se trata de machos jóvenes (Lewis, *et al.*, 2006; De Moura *et al.*, 2010; Acevedo *et al.*, 2016), como lo fueron también los cuatro registros previos en Ecuador continental y Galápagos (Álava & Carvajal, 2005; Lewis *et al.*, 2006) y en Panamá (Redwood & Félix, 2018).

Este es un hecho relevante pues al ser adulto y tener una probóscide bien formada, aunque relativamente pequeña con respecto a su contraparte del hemisferio norte, se puede afirmar con certeza que se trataba de un elefante marino del sur *M. leonina*, cuya

probóscide es notablemente más pequeña que en el elefante marino del norte (Reeves, *et al.*, 1992). Así, este sería el primer caso confirmado de un elefante marino del sur en aguas ecuatorianas.

La presencia de elefantes marinos en la costa norte de Sudamérica y recientemente en Panamá, ha sido relacionada con anomalías térmicas causadas por el fenómeno el Niño – Oscilación del Sur (ENSO), particularmente con su fase fría (La Niña) (Álava & Carvajal, 2005; Redwood & Félix, 2018).

Durante la segunda mitad de 2017, la temperatura superficial del mar en la costa oeste de Sudamérica estuvo entre -1° y -2°C por bajo del promedio (CIIFEN, 2017). Cambios ambientales bruscos provocados por el ENSO tienen un impacto sobre la ecología reproductiva y alimentaria de los elefantes marinos en ambos hemisferios (Crocker *et al.*, 2006; Vergani *et al.*, 2008) lo que provocaría en algunos casos desplazamientos extensos fuera de sus zonas normales de distribución.

Los animales errantes del sur llegarían al norte de Sudamérica siguiendo el borde de la plataforma continental a lo largo de la corriente de Humboldt; en su mayoría se trata de machos, los cuales tienen un diferente patrón de dispersión que las hembras y se alimentan más cerca de la costa (Acevedo *et al.*, 2016).

Se desconoce de qué colonia reproductiva provino el espécimen del río Milagro, pero lo más probable es que venga de alguna colonia localizada en el sur de Chile o de Argentina. Los elefantes marinos observados en las costas de Chile provienen principalmente de las islas Malvinas y de Península Valdés en Argentina, aunque algunos podrían ser originarios de individuos sobrevivientes de la población del Pacífico Sudeste, que se cree fue exterminada en el siglo XIX (Acevedo *et*

al., 2016). El análisis de ADN de la muestra de pelo de este ejemplar será clave para determinar su origen.

Es importante destacar que los registros de los tres elefantes marinos en aguas continentales de Ecuador ocurrieron dentro del estuario interior del golfo de Guayaquil, donde la salinidad del agua es en promedio 12% más baja que en el estuario exterior en la época seca y hasta 41% más baja que en la época de lluvias (Stevenson, 1981). Dos de ellos incluso llegaron por el mismo río (Babahoyo).

Los elefantes marinos del sur van a tierra por períodos cortos solo por dos razones, para reproducirse y para mudar el pelaje (Reeves *et al.*, 1992, Hofmeyr, 2015). En el caso del ejemplar del río Milagro, su presencia coincidió con la época de reproducción del elefante marino del sur que ocurre entre septiembre y noviembre, siendo el pico reproductivo a principios de octubre (Hofmeyr, 2015; Campagna *et al.*, 1993).

Por tratarse de un animal adulto, es probable que llegara a la costa buscando un sitio para reproducirse y al no encontrarlo regresó al mar a los pocos días. Los casos previos en Ecuador continental ocurrieron en diciembre y febrero (Álava & Carvajal, 2005) y el de Panamá en diciembre (Redwood & Félix, 2018), meses que coinciden con la época de muda de los elefantes marinos del sur (diciembre a marzo) (Hofmeyr, 2015). Esto es evidente en las fotografías del animal de Panamá, en las que se observa claramente que estaba mudando el pelaje. En contraste, los ejemplares reportados de Galápagos ocurrieron en mayo, época de muda de los elefantes marinos del norte (Worthy, *et al.*, 1992). Uno de los ejemplares reportados en Galápagos estaba mudando el pelaje (Vargas *et al.*, 2004), por lo que lo más probable es que ambas especies de elefante marino

ocasionalmente frecuentan aguas ecuatorianas.

Del evento de 2017 se pueden sacar algunas lecciones para tratar futuros casos de una manera más apropiada. Es obvio que las personas a cargo del animal desconocían aspectos biológicos y fisiológicos de la especie y por tratar de ayudar al animal pudieron causarle daño. Los elefantes marinos son altamente susceptibles al estrés térmico cuando están en tierra, pues tienen dificultades para eliminar el exceso de calor debido a su gruesa capa de grasa subcutánea. Los pinnípedos regulan la temperatura corporal a través de la piel y de la respiración, pero en casos de temperatura extrema este mecanismo no es suficiente (Lewis & Campagna, 1998). El estrés térmico puede llevar a la deshidratación por elevación de la temperatura corporal y por pérdida de agua a través de la respiración (Huntley *et al.*, 1984; Norris *et al.*, 2010), con mayor razón en un clima tropical como el de Ecuador al que no está acostumbrado.

Las personas que estaban en el río durante el día de la observación intentando forzar a salir al animal, tampoco parecían percatarse del peligro que representa enfrentar a un animal tan grande en estado silvestre. Las decisiones de qué hacer con el animal fueron tomadas improvisadamente, más con buena voluntad que con conocimiento de lo que se hacía. Para evitar arriesgar la vida de personas o de animales como el elefante marino de Milagro, es necesario que la autoridad ambiental incorpore a su gestión protocolos o planes de contingencia para una intervención eficiente.

No se debe permitir que personas sin experiencia se arriesguen a manipular animales silvestres y tan grandes, sin equipo apropiado y sin conocimiento de lo que es mejor para el animal. Por lo indicado, se recomienda a las autoridades ambientales tomar en cuenta lo siguiente:

1. Mejorar la coordinación interinstitucional para atender futuros casos de este tipo, creando un mecanismo de respuesta con roles específicos según la competencia y experiencia de las personas asignadas al evento. Se reconoce los esfuerzos que realiza actualmente el Ministerio de Ambiente para desarrollar un protocolo de atención a varamientos y rescate de megafauna marina.
2. Formar un equipo especializado en rescate de vida silvestre marina, debidamente entrenado y que cuente con equipo básico para rescate de animales pequeños y grandes, incluyendo ballenas, lobos marinos, tiburones, mantas y tortugas. Solo personas con experiencia en la manipulación de animales grandes deben estar cerca de ejemplares vivos.
3. Evaluar la necesidad de intervenir según las condiciones del momento bajo la premisa de actuar si la vida del animal o de la población local corre peligro.
4. Proporcionar información precisa y en tiempo real a los medios y al público en general para bajar la presión mediática y tomar las decisiones con serenidad.

Nota al final. Otro elefante marino fue registrado el 10 de diciembre de 2017 en Yaguachi, provincia del Guayas, a unos 5 kilómetros de distancia del caso anterior. Se trató de un animal juvenil, sin probóscide. En la fotografía, circulada con la nota de prensa de diario El Universo, se observa que el animal está mudando la piel, lo que indica que también se trató de un elefante marino del sur.

AGRADECIMIENTO

El autor agradece a funcionarios del Ministerio de Ambiente por la información proporcionada sobre la ubicación precisa del ejemplar en Yaguachi y Baba, en particular a Leonardo Álava. Así también a Mónica Machuca quien elaboró el mapa. Dos revisores anónimos seleccionados por la revista hicieron valiosos comentarios que mejoraron la versión inicial.

REFERENCIAS

- Acevedo, J., Aguayo-Lobo, A., Brito, J.L., Torres, D., Cáceres, B., Vila, A., Cardeña, M., & Acuña, P. 2016. Review of the current distribution of southern elephant seals in the Eastern South Pacific. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 50(2), 240-258.
<http://dx.doi.org/10.1080/00288330.2015.1132746>.
- Álava, J. J., & Carvajal, R. 2005. First records of elephant seals on the Guayaquil Gulf, Ecuador: On the occurrence of either a *Mirounga leonina* or *M. angustirostris*. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, 4(2), 195-198.
<http://dx.doi.org/10.5597/lajam00086>.
- Campagna, C., Lewis, M. & Baldi R. 1993. Breeding biology of southern elephant seals in Patagonia. *Marine Mammal Science*, 9(1), 34-47.
- Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno del Niño (CIIFEN), 2017. Boletín del Océano. Análisis del Pacífico Oriental - Octubre 2017. Disponible desde http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=article&id=1860:boletin-de-analisis-del-pacifico-oriental-octubre-2017&catid=64&Itemid=71&lang=es.

- Crocker, D. E. Costa, D. P., Le Boeuf, B. J., Webb, P. M., & Houser, D. S. 2006. Impact of El Niño on the foraging behavior of female northern elephant seals. *Marine Ecology Progress Series*, 309, 1-10
- De Moura, J. F., Pagliani, B., Moreira, L. & Siciliano, S. 2010. Southern elephant seals (*Mirounga leonina*) along the Brazilian coast: review and additional records. *Marine Biodiversity Records*, 3, e18. <http://dx.doi.org/10.1017/S1755267209991138>.
- Hofmeyr, G. J. G. 2015. *Mirounga leonina*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T13583A45227247. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T13583A45227247.en>.
- Hückstädt, L. 2015. *Mirounga angustirostris*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T13581A45227116. Retrieved from: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-2.RLTS.T13581A45227116.en>.
- Huntley, A. C., Costa, D. P. & Rubin, R. D. 1984. The contribution of nasal countercurrent heat exchange to water balance in the northern elephant seal, *Mirounga angustirostris*. *J. Exp. Biol.* 113: 447-454
- Jefferson, T. A., Webber, M. A., & Pitman, R. L. 2008. *Marine Mammals of the world. A comprehensive guide to their identification*. London and San Diego: Academic Press, 592 p.
- Johnson, D. W. 1990. A southern elephant seal (*Mirounga leonina* Linn.) in the Northern Hemisphere (Sultanate of Oman). *Marine Mammal Science*, 6(3), 242-243. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1748-7692.1990.tb00248.x>.
- Lewis, M., & Campagna, C. 1998. Flipping sand in elephant seals. *Aquatic Mammals*. 24(3), 85-90.
- Lewis, M., Campagna, C., Marin, M.R., & Fernández, T. 2006. Southern elephant seals north of the Antarctic Polar Front. *Antarctic Science*, 18(2), 213-221. <http://dx.doi.org/10.1017/S0954102006000253>.
- Ling, J. K., & Bryden, M. M. 1981. Southern elephant seal – *Mirounga leonina*. p. 297-327. In S. H. Ridgway & R. J. Harrison (Eds.), *Handbook of Marine Mammals*, Vol. 2: Seals. London & New York: Academic Press.
- Lodi, L., & Siciliano, S. 1989. A southern elephant seal in Brazil. *Marine Mammal Science*, 5, 313.
- Norris, A. L., Houser, D. S. & Crocker, D. E. 2010. Environment and activity affect skin temperature in breeding adult male elephant seals (*Mirounga angustirostris*). *The Journal of Experimental Biology* 213, 4205-4212. doi:10.1242/jeb.042135.
- Pacheco, A. S., Silva, A., & Riascos, J. M. 2011. The recurring visit of a southern elephant seal (*Mirounga leonina* L. 1758) to the coast of Antofagasta, northern Chile. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, 9(2), 168-170. <http://dx.doi.org/10.5597/lajam00184>.
- Reeves, R. R., Steward, B. S., & Leatherwood, S. 1992. *The Sierra Club Handbook of Seals and Sirenians*. San Francisco, California: Sierra Club Books.
- Redwood, S. D. & Félix, F. 2018. The most northerly record of a southern elephant seal (*Mirounga leonina*) in the Pacific Ocean at the Island of Taboga, Gulf of Panama,

Panama. *Aquatic Mammals*, 44(1), 13-18.
<http://dx.doi/10.1578/AM.44.1.2018.13>.

Stevenson, M. R. 1981. Variaciones estacionales en el golfo de Guayaquil, un estuario tropical. Instituto Nacional de Pesca. *Boletín Científico y Técnico*, 4(1), 1-133.

Torres, D. 1981. Notas sobre el elefante marino del sur, *Mirounga leonina* (Linn., 1758) y hallazgo de un ejemplar en Chañaral, III Región, Chile (Pinnipedia: Phocidae). [Notes on the southern elephant seal, *Mirounga leonina* [Linn., 1758] and the discovery of a specimen in Chañaral, 3rd Region, Chile (Pinnipedia: Phocidae). *Boletín Antártico Chileno*, 1, 10-14.

Vargas, H., Steinfurth, A., & Valarezo, J. C. 2004. Primer registro de elefantes marinos en Galápagos [First record of elephant seals in the Galapagos]. (Unpublished report). Galápagos National Park, Ecuador.

Vergani, D. F., Labraga, J. C., Stanganelli, Z. B. & Dunn, M., 2008. The effects of El Niño–La Niña on reproductive parameters of elephant seals feeding in the Bellingshausen Sea. *Journal of Biogeography*, 35, 248–256.

Worthy, G. A. J., Morris, P. A., Costa, D. P. & Le Boeuf, B. J. 1992. Moulting energetics of the northern elephant seal (*Mirounga angustirostris*). *Journal Zoology, London*, 227, 257-265.

HOMOGENIZACIÓN Y ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MENSUAL DURANTE LA ÉPOCA SECA DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR TERRITORIAL Y REGIÓN INSULAR DEL ECUADOR USANDO LA BASE DE DATOS UKMO

QUALITY CONTROL, HOMOGENIZATION AND TREND MAPS OF THE SURFACE TEMPERATURE OF THE TERRITORIAL SEA AND INSULAR REGION OF ECUADOR USING THE UKMO DATA BASE

María Belén Del Salto Díaz¹, Jaime Ernesto Fuentes Marín¹, Jesús Humberto Del Salto Díaz²

Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador¹, Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil².
mariabelen.delsalto@inocar.mil.ec, jaime.fuentes@inocar.mil.ec, jesusdsd@gmail.com

RESUMEN

En el presente artículo se muestra la metodología para tratar los datos satelitales de la variable Temperatura Superficial del Mar (TSM) UKMO, con la finalidad de permitir a los técnicos especializados generar correctamente tanto mapas de información geoespacial como cartas de tendencia de TSM Territorial y Región Insular del Ecuador, las que permitirán realizar un análisis minucioso del comportamiento de esta variable a lo largo del periodo comprendido entre los meses de junio a noviembre, información correspondiente a la época climática seca del periodo 2007-2016, en el dominio local delimitado (2N-5S, 76W-93W).

Los datos satelitales de alta resolución (6km), provistos por el Servicio Meteorológico del Reino Unido son publicados a través un repositorio abierto con el fin de usarlos en todo tipo de investigaciones a nivel global que puedan ser reproducidos a cualquier escala espacio-temporal. Está relacionado con diversas áreas de estudio a nivel nacional debido a la gran influencia que tiene la temperatura superficial del mar en los procesos de acoplamiento océano-atmosférico, así como su evolución temporal y espacial de acuerdo con la estacionalidad de la región.

El tratamiento de la información es fundamental por lo que la homogeneidad de los datos y los ajustes de series temporales son necesarios para visualizar las variaciones presentadas debido a errores en la estimación de los datos satelitales, extraída del repositorio de la red de acceso abierto. Luego de un control de calidad de los datos en el dominio local delimitado, la generación de productos derivados como mapas interpolados y cartas de tendencias muestran el comportamiento promedio decadal de la temperatura superficial del mar en la zona Ecuatorial, este procedimiento aporta a cualquier tipo de desarrollo para diferentes análisis.

Palabras Claves: Control de Calidad, Homogeneización, UKMO, Temperatura Superficial del Mar, Cartas de Tendencia.

ABSTRACT

The present article shows the methodology to treat the satellite data of the variable TSM (UKMO), with the purpose of allowing the specialized technicians to correctly generate both geospatial information maps and trend charts of Surface Temperature of the Territorial Sea and Insular Region. from Ecuador, which will allow a detailed analysis of the behavior of the SST variable throughout the period from June to November, information corresponding to the dry climate season of 2007-2016, in the delimited local domain (2N -5S, 76W-93W).

The high resolution satellite data (6km), provided by the United Kingdom Meteorological Service, is placed in an open repository in order to use it for studies of various types globally. It is related to various research areas in the country due to the great influence that the sea surface temperature has on the processes of ocean-atmospheric coupling, as well as its temporal and spatial evolution according to the seasonality of the region.

The treatment of the information is fundamental, so the homogeneity of the data and the adjustments of time series are necessary to visualize the presented variations due to errors in the satellite data estimation, extracted from the repository of the open access network. After a quality control of the data in the delimited local domain, the generation of derived products as interpolated maps and trend charts show the average decadal behavior of the sea surface temperature in the Equatorial zone, this procedure contributes to any type of development for different analyzes.

Keywords: Quality Control, Homogenization, UKMO, Sea Surface Temperature, Trend Maps.

INTRODUCCIÓN

La medición de la variable de TSM es de vital importancia, debido a que a partir de la misma se puede generar distintos productos como mapas, graficas de tendencias, pronósticos y sus análisis respectivos, etc., para conocer diversos cambios que han surgido a lo largo de los años, pero en especial para ver si las temperaturas se han incrementado o si han disminuido.

A mediados del 2006 la Oficina Meteorológica del Reino Unido empezó a recopilar datos satelitales de alta resolución (6km), principalmente las variables de TSM y hielo marítimo, los mismos que han sido usados de manera recurrente para la elaboración de estudios sobre variabilidad climática, relacionadas con los impactos ambientales a nivel mundial debido a la gran influencia que tiene la temperatura superficial del mar en los procesos de acoplamiento océano atmosféricos.

Este trabajo nace a partir de la imperativa necesidad de visualizar el comportamiento de la TSM (Temperatura Superficial del Mar) en el mar territorial y en la región insular delimitando con un corte el área de estudio ya que la información brindada por UKMO (United Kingdom Met Office) es publicada a través de repositorios a nivel global.

Una vez generado el dominio correspondiente al área de estudio, se puede dar inicio al proceso de homogeneización con la finalidad de garantizar y determinar que la información obtenida es una fiel representación del comportamiento de la TSM asociadas al sistema climático de un área

geográficamente delimitada, por este motivo es de vital importancia que haya un control de calidad sobre los datos debido que aquí se verifica “la calidad de lo producido” (Boland, Carro, Stancatti, Gismano, & Banchieri, 2007), con el fin de identificar y eliminar o reducir los errores producidos en las distintas etapas del tratamiento de la información.

En caso de notar inhomogeneidades es necesario tomar medidas correctivas, a través de la aplicación de alguno de los diferentes métodos que existen para detectar y ajustarlas en una serie de tiempo climática (Peterson et al, 1998).

Se define a una serie de tiempo como homogénea si las variaciones son causadas por el tiempo y el clima (Guenni, Degyze, Alavarado, 20018). Sin embargo, en la práctica es muy difícil encontrar estaciones que sean homogéneas, y en su lugar los investigadores se enfocan en la homogeneidad relativa.

La mayoría de los métodos empleados para homogeneizar una serie de tiempo climática se basan en la homogeneidad relativa, que es, comparando la estación de interés, llamada estación candidato con otras estaciones cercanas (denominadas estaciones patrón) a través de sus diferencias y además de sus razones entre la estación candidato y las estaciones patrón.

El problema de la homogeneidad relativa radica en la complejidad para determinar si la ruptura es causada por el candidato o la estación patrón. Se han ideado muchas pruebas que comparan estaciones candidatas con series de referencia homogéneas (por ejemplo, Alexandersson 1986, Karl y Williams 1987, Easterling y

Peterson 1995, Alexandersson y Moberg 1997). Sin embargo, encontrar o crear una serie de referencia homogénea para fines de comparación es difícil (Alexandersson 1986, Karl y Williams 1987, Peterson y Easterling 1994). Algunos métodos incluyen metadatos (es decir, información del historial de la estación) para facilitar la identificación de los puntos de ruptura, pero existen problemas con la calidad de los metadatos disponibles, ya que no todas las estaciones tienen registros completos de la historia de la estación. Las técnicas de homogeneidad relativa también son difíciles de aplicar cerca de los límites (en espacio o tiempo) de un conjunto de datos, ya que puede que no haya suficientes estaciones cercanas para comparar.

Al verificar la data de las temperaturas superficiales del mar del área Costera del Ecuador se puede realizar un análisis del comportamiento de dicha variable a lo largo del tiempo.

METODOLOGÍA

El fundamento metodológico de esta investigación está basado en el tratamiento de la información extraída de la base de datos satelitales de alta resolución United Kingdom Met Office (UKMO), para el desarrollo es necesario explicar que se descargó los datos bajo FTP (File Transfer Protocol) los mismos que se encuentra en un repositorio web de libre acceso, entre las variables contiene la Temperatura Superficial del Mar (TSM) a nivel mundial con sus longitudes y latitudes respectivas que se utilizó en este trabajo.

En el desarrollo de este trabajo investigativo fue necesario hacer una estandarización en los datos extraídos del repositorio UKMO, que consiste en separar la información en diferentes

campos, así como unificar ciertos criterios para manejar de forma óptima y adecuada los datos extraídos para el área de dominio local delimitada (2N-5S, 76W-93W) de la base de datos global UKMO

La extracción y delimitación de los datos fue de la base UKMO, la misma que contiene datos diarios que están en formato NetCDF, se transformó la información de forma exhaustiva extrayéndola en archivo tipo texto con extensión .txt, haciendo un control de calidad luego verificando si los cortes para el área de estudio fueron los adecuados o si tuvieron los errores para poder corregir (Figura 1), algunas inhomogeneidades son los errores que suelen suceder por fallas en las filtraciones, no trabajar de manera fija con la misma longitud o latitud en todos los archivos, en control de calidad de los datos está la lectura de los valores que no corresponden al océano se debió cambiar de -999.99 a N/A, otro es la conversión de los resultados de grados Kelvin a grados Celsius en lo referente a la variable de temperatura superficial del mar, además es importante denotar que se verificó que los archivos que se prepararon para este trabajo tuvieran la misma cantidad de registros luego de clasificarlos.

Teniendo un control de calidad exhaustivo y una estandarización en el tratamiento de los datos, los archivos generados únicamente con los campos y registros para el área de estudio, mantiene la credibilidad para el investigador al usarlos en sus análisis.

Cuando se hacen las conversiones de temperatura con la cual se ha trabajado en este artículo, es necesario tomar en cuenta que solo se le debe hacer al archivo final, el cual ya fue preparado estructurado, estandarizado, y calculado sus promedios de TSM en cada punto georeferenciado el marco de coordenadas geográficas.

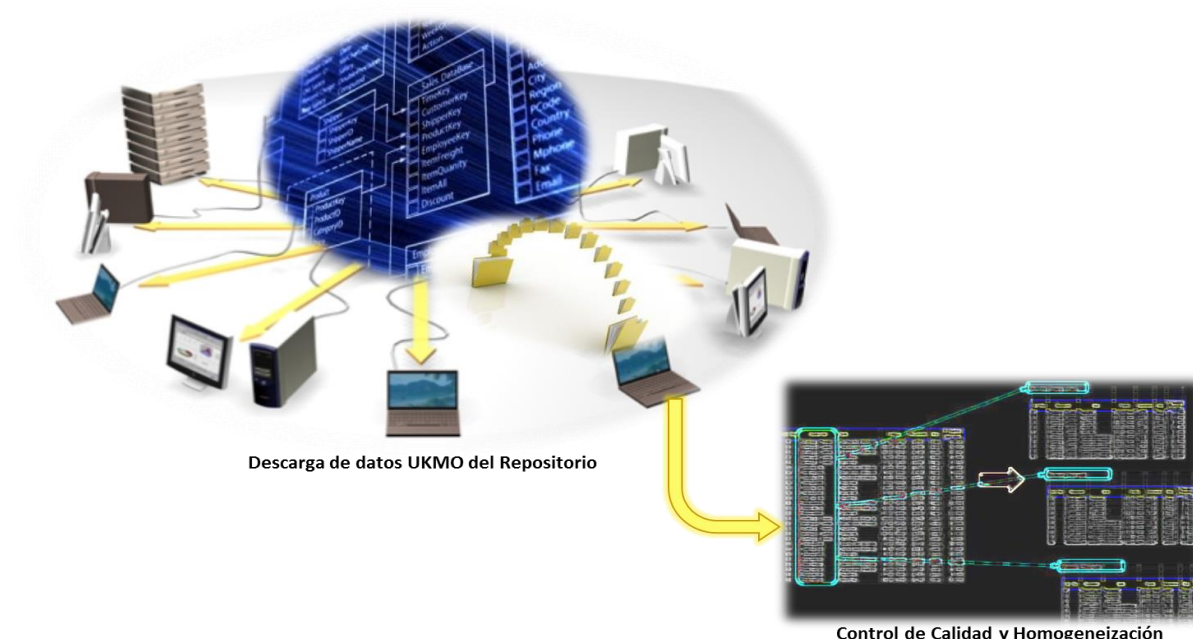


Figura 1.- Estructura Metodológica para descarga, control de Calidad y homogeneización de datos UKMO.
Figure 1. - Methodological structure for download, quality control and data homogenization UKMO.

En los análisis de homogeneización se realizó el promedio mensual de la variable de TSM, correspondiente a los meses de época seca (de junio a noviembre), se utilizaron las matrices de datos UKMO transformados a archivos tipo texto de forma diaria para realizar las medias mensuales, correspondientes al periodo 2007-2016, la misma que fue preparada para este estudio en el área local delimitada (2N-5S, 76W-93W).

El formato de datos vectoriales más común a la hora de trabajar con un sistema de información geográfica (SIG) es el shapefile, formato usado para almacenar la localización geográfica y los atributos (Синеглазов and Лиман, 2010), al momento de ser creado este archivo, genera algunos archivos con diferentes extensiones en donde se almacenan las entidades geométricas de los objetos(.shp), los que almacena el índice de elementos geométricos (.shx), la tabla de la base de datos donde se almacenaron los atributos

de los elementos geométricos (.dbf), los que almacenan la información correspondiente al sistema de coordenadas (.prj), los archivos con extensiones .sbn y .sbx almacenan el índice espacial de las entidades y por último los que almacenan los metadatos de las capas (.shp.xml) (Song, Tang and Li, 2014). Se usó un shapefile para almacenar la localización geográfica y los atributos asociados a la variable TSM, para lo cual se utilizó una geometría de tipo punto (Arana et al, 2017).

A partir de esta se generaron capas rasterizadas, también conocidas como superficie estadística, lo cual consiste en transformar la información contenida en las geometrías de puntos a celdas denominadas píxeles, para lograr la rasterización se utilizó el método determinístico denominado interpolación espacial, este método consiste en determinar valores faltantes a partir de valores. Para la generación de la superficie

estadística o capa raster se usó la metodología de interpolación espacial conocida como Distancia Inversa Ponderada o IDW por sus siglas en inglés (Madhloom et al, 2018), es importante recalcar que este método está basado en la inversa de una distancia elevada a una potencia matemática, la cual le permite controlar la significancia de puntos conocidos en los valores interpolados con base en la distancia del punto de salida, siendo la potencia un número entero real positivo.

Al asignarle una potencia más alta se realzan los puntos más cercanos, es decir, los datos más cercanos tendrán una mayor influencia, motivo por el cual la superficie tendrá mayor detalle. De igual manera, al

incrementar el valor de la potencia los valores interpolados comienzan a acercarse al valor del punto de muestra más cercano.

Se determinó los valores de cada celda usando una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra, de esta manera podemos decir que usamos una función de la distancia inversa a través de una potencia matemática de segundo orden, para lo cual debe cumplir con el requerimiento de que la superficie a interpolar debe ser una variable dependiente de la localización geográfica, debido a que este método asume que la representación cartográfica de la TSM disminuye su influencia a mayor distancia desde la ubicación de su muestra, figura 2.

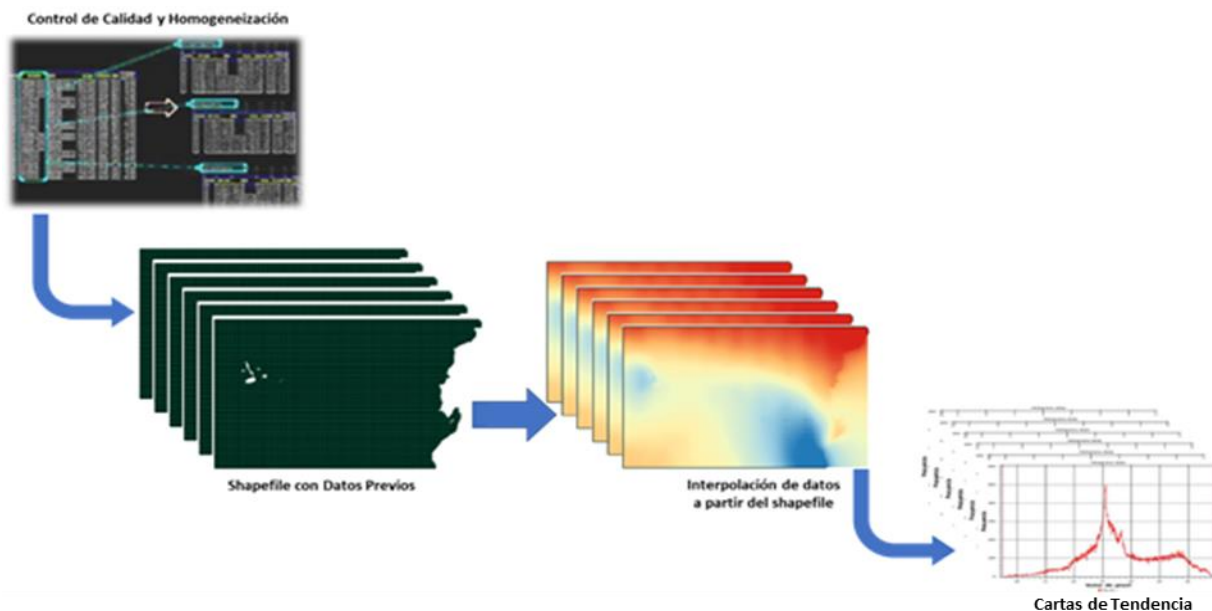


Figura 2.- Estructura Metodológica para creación de shapefile, interpolación de datos y cartas de tendencias de datos UKMO.

Figure 2. - Methodological structure for shapefile creation, data interpolation and data trend charts UKMO.

Es importante recalcar que este método está basado en la inversa de una distancia elevada a una potencia matemática u orden, el cual le permite controlar la significancia de puntos conocidos en los

valores interpolados con base en la distancia del punto de salida, siendo la potencia un número entero real positivo. Al asignarle una potencia más alta se realzan los puntos más cercanos, es decir,

los datos más cercanos tendrán una mayor influencia, motivo por el cuál la superficie tendrá mayor detalle y los valores interpolados se acercan más al valor del punto de muestra más cercano.

Como producto de este proceso de interpolación podemos obtener cartas de tendencia y cartas de temperatura, las mismas que sirven para visualizar el comportamiento de la región o área de estudio a lo largo del tiempo hasta la actualidad y así los técnicos entendidos en la materia pueden dar un criterio sobre el

comportamiento promedio de la temperatura superficial del mar en la década 2007-2016.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observó los efectos del cálculo de interpolación a la generación de las cartas de temperatura, el cual aumenta la precisión de los datos visualizados si está a menor escala el área local de estudio, a través de distancia inversa ponderada, obteniendo las siguientes imágenes raster:

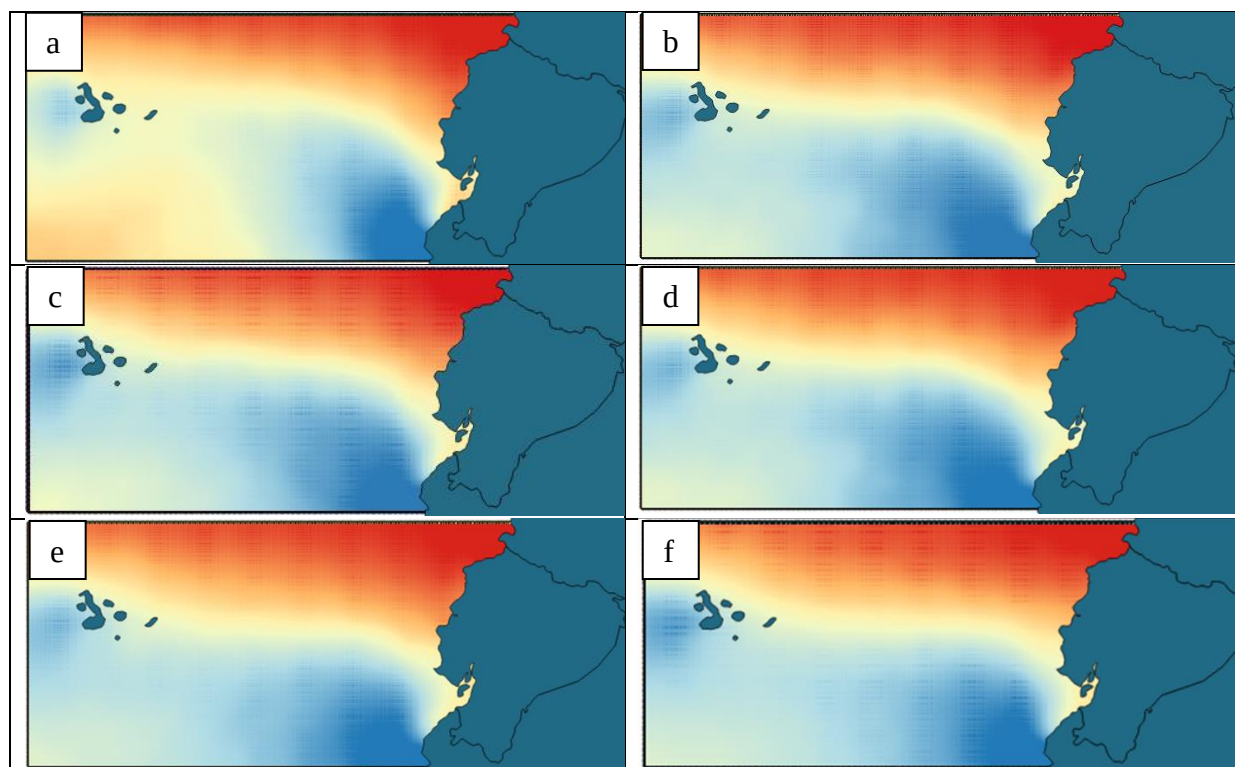


Figura 3.- Imágenes Rasterizadas para la Época Seca, a través del método IDW, del comportamiento de la TSM desde el 2007 hasta el 2016, siendo: (a) Mapa Promedio Interpolado del mes de junio, (b) Mapa Promedio Interpolado del mes de julio, (c) Mapa Promedio Interpolado del mes de agosto, (d) Mapa Promedio Interpolado del mes de septiembre, (e) Mapa Promedio Interpolado del mes de octubre, (f) Mapa Promedio Interpolado del mes de noviembre.

Figure 3.- Rasterized Images for the Dry Period, through the IDW method, of the behavior of the SST from 2007 to 2016, being: (a) Interpolated Average Map of the month of June, (b) Average Interpolated Map of the month July, (c) Interpolated Average Map for the month of August, (d) Interpolated Average Map for the month of September, (e) Interpolated Average Map for the month of October, (f) Average Interpolated Map for the month of November.

En este trabajo se decidió usar el método de interpolación de la distancia inversa ponderada debido a la naturaleza de los datos, los mismos que al ser datos georreferenciados presentan una distribución espacial uniforme, tomando en consideración esto se procedió a realizar pruebas para calcular el valor de los píxeles, forzando las limitantes de esta metodología a través de la potencia matemática u orden, usando el orden máximo, el orden medio, y el orden mínimo. Cuando usamos la potencia máxima obtuvimos mapas con píxeles que ofrecían demasiados detalles lo cual hacia casi imposible poder apreciar la información, esto se debe a que mientras mayor es el orden del polinomio usado para generar la interpolación, la capa resultante es muy sensible a los valores extremos lo cual podría generar deformaciones en la capa resultante, a pesar de que sus valores centrales se ajustarían mejor a los valores reales.

Al usar la potencia media, el detalle de los píxeles disminuyó considerablemente, sin embargo, aún se tenían dificultades para poder apreciar la información rasterizada, debido a que con un polinomio de este orden los datos interpolados aún son sensibles, en menor medida, a los valores extremos produciendo ligeras deformaciones en las capas resultantes, sin embargo, al usar el orden mínimo se obtuvo una suavización máxima de los píxeles, mejorando la calidad de la

imágenes raster, eliminando por completo las deformaciones generadas en los cálculos anteriores, finalmente se procedió a la categorización de la información contenida en estas imágenes utilizando una banda de pseudo color, filtrando la información satelital en los rangos necesarios para generar 10 intervalos iguales, de esta manera se pudo apreciar la información contenida en esta imagen raster de una forma más amigable, figura 3.

Tomando en cuenta que el Ecuador cuenta con dos tipos de estaciones, se ha creído conveniente realizar la generación de Mapas Promedios Interpolados y Cartas de Tendencias Mensuales correspondiente a los meses de Junio, Julio, Agosto, Septiembre, Octubre y Noviembre, también se consideró desarrollar dichos productos entre la brecha de los años de 2007 al 2016, esto nos dará mayor grado de confiabilidad.

En el proceso de interpolación podemos obtener cartas de tendencia, las mismas que sirven para visualizar el comportamiento de la región o área de estudio durante la estación seca y así los técnicos entendidos en la materia pueden dar un criterio si ha habido un aumento o disminución del promedio mensual de temperatura superficial del mar decadal en el periodo comprendido del 2007 hasta el 2016, figura 4.

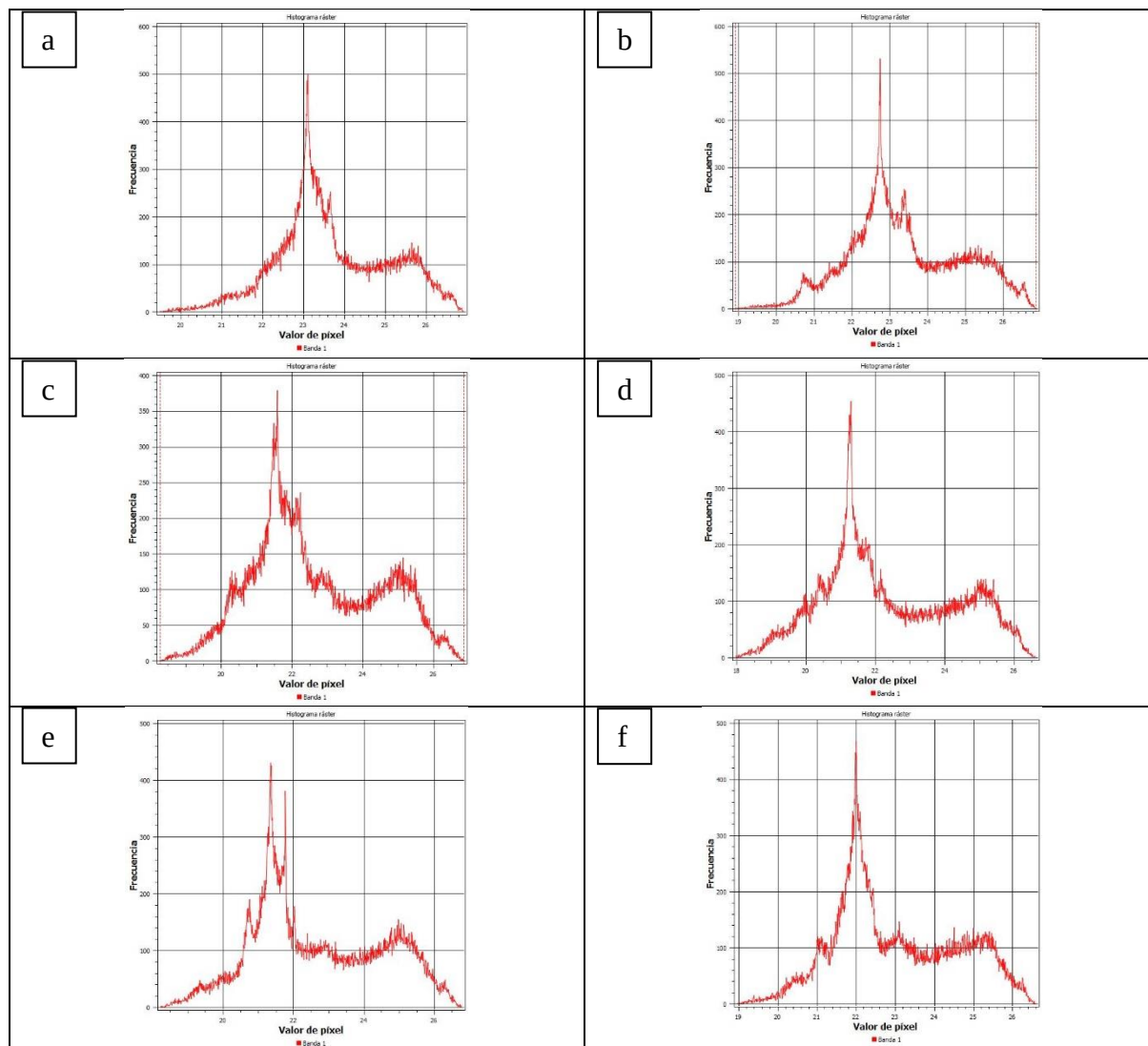


Figura 4.- Cartas de Tendencia de la TSM desde el 2007 hasta el 2016 para la Época Seca, (a) Carta de Tendencia mes de Junio, (b) Carta de Tendencia mes Julio, (c) Carta de Tendencia mes de Agosto, (d) Cartas de Tendencia mes de Septiembre, (e) Carta de Tendencia del mes de Octubre, (f) Carta de Tendencia del mes de Noviembre.

Figure 4. - TSM Trend Letters from 2007 to 2016 for the Dry Season, (a) June Trend Letter, (b) July Trend Letter, (c) August Trend Letter, (d) Trend Letters month of September, (e) Trend Letter for the month of October, (f) Trend Letter for the month of November.

Las cartas de Tendencias denotan la información para cada mes, teniendo en cuenta que sus valores decadales promedios de TSM máximos, mínimos y su temperatura más frecuente para el mes de junio son de 26.92°C, 19.42°C, 24.2°C, para el mes de julio son de 26.9°C, 18.8°C, 22.6°C, para el mes de agosto son de

26.7°C, 19.2°C, 21.5°C, para el mes de septiembre son de 27.0°C, 17.9°C, 21.3°C, para el mes de octubre son de 27.2°C, 18.0°C, 21.4°C y para el mes de noviembre son de 26.8°C, 19.0°C, 22.0°C, demostrando la gran variabilidad mensual que tiene la TSM en su comportamiento mensual. Basándonos en el

comportamiento de los umbrales máximos de la TSM podemos evidenciar que a inicios de la época seca (mes de junio) tiene una ligera tendencia a disminuir hacia el mes de julio, mientras conforme avanzamos hacia los meses de agosto, septiembre y octubre muestra una ligera tendencia a aumentar, alcanzando sus máximos para toda la época en el mes de octubre, y finalmente vuelve a descender en el mes de noviembre, de la misma forma podemos apreciar que los umbrales mínimos tienen un comportamiento similar, sin embargo en los umbrales mínimos la variación de la temperatura es ligeramente mayor a la variación encontrada en los umbrales máximos.

CONCLUSIONES

En la preparación de los datos es importante el orden en el momento del filtrado de la información, al no coincidir las coordenadas geográficas al hacer la interpolación, se obtienen resultados con errores, lo que haría mapas no representativos en el comportamiento de la TSM durante la época seca, volviendo hacer que el técnico especialista deba generar todo el proceso nuevamente de control de calidad y homogeneización de los datos extraídos del repositorio web de acceso abierto.

Para trabajar datos de TSM con la metodología de interpolación IDW, se obtiene mejores resultados al utilizar la mínima potencia que permite el método, por lo cual para este trabajo se utilizó de segundo orden, teniendo en cuenta que al usar potencias mayores las imágenes rasterizadas tienen demasiados detalles, lo cual dificultaría al técnico científico el análisis de la información

En la década del 2007 al 2016, específicamente en la estación de la época seca se obtiene que el mes con mayor temperatura superficial del mar es octubre con 27.2°C, y con menor TSM es septiembre con 17.9°C, pero en el inicio de la época seca correspondiente al mes de junio, la TSM más frecuente es de 23.2°C.

REFERENCIAS

- Alexandersson, H., & Moberg, A. (1997). Homogenization of Swedish Temperature Data. Part I: Homogeneity Test for Linear Trends. *International Journal of Climatology*, 17(1), 25-34. Doi: 10.1002/(Sici)1097-0088(199701)17:1<25::Aid-Joc103>3.3.Co;2-A
- Arana, M., Martínez, G., Oggero, A., Natale, E., & Morrone, J. (2017). Map and Shapefile of the Biogeographic Provinces of Argentina. *Zootaxa*, 4341(3), 420. Doi: 10.11646/Zootaxa.4341.3.6
- Bâkilz, H. (2018). Is The Global Sea Surface Temperature Rise Accelerating? *Geodesy and Geodynamics*. Doi: 10.1016/J.Geog.2018.04.002
- Boland, L., Carro, F., Stancatti, M. J., Gismano, Y., & Banchieri, L. (2007). *Funciones De La Administración-Teoría Y Práctica*. Bahía Blanca, Argentina: Ediuns.
- Chen, T., Cobb, K., Roff, G., Zhao, J., Yang, H., Hu, M., & Zhao, K. (2018). Coral-Derived Western Pacific Tropical Sea Surface Temperatures during the Last Millennium. *Geophysical Research Letters*, 45(8), 3542-3549. Doi: 10.1002/2018gl077619

- Conrad, V., And L. W. Pollak, 1962: Methods in Climatology. Harvard University Press, 459 Pp.
- Costa, A., & Soares, A. (2008). Homogenization of Climate Data: Review and New Perspectives Using Geostatistics. Mathematical Geosciences, 41(3), 291-305. Doi: 10.1007/S11004-008-9203-3
- Синеглазов, В. And Лиман, К. (2010). Construction of GIS based on shapefile. Electronics and Control Systems [en línea], 3(25):102-107. Doi: 10.18372 / 1990-5548.25.836
- Durá, E., Mendiguren, G., Martín, M., Acevedo-Dudley, M., Bosch-Bolmar, M., Fuentes, V., & Bordehore, C. (2014). Validación Local De La Temperatura Superficial Del Mar Del Sensor MODIS En Aguas Someras Del Mediterráneo Occidental. Revista De Teledetección, 0(41), 59. Doi: 10.4995/Raet.2014.2314
- Easterling, D. R., and T. C. Peterson, 1995: A New Method for Detecting Undocumented Discontinuities in Climatological Time Series. Int. J. Climatol., 15, 369–377.
- Filipponi, F., Valentini, E., & Taramelli, A. (2017). Sea Surface Temperature Changes Analysis, an Essential Climate Variable for Ecosystem Services Provisioning. 2017 9Th International Workshop on the Analysis of Multitemporal Remote Sensing Images (Multitemp). Doi: 10.1109/Multi-Temp.2017.8035255
- García , F., Alexandre , O., & Nunes , E. (2013). Las Oscilaciones Climáticas En La Atmosfera Urbana De La Ciudad De Natal, Brasil Através De Las Series Largas De Temperaturas Del Aire. 5 (29), 10-16.
- Guenni, L., Degryze, E. Alvarado, K. (2008). Análisis De La Tendencia Y La Estacionalidad De La Precipitación Mensual En Venezuela. Revista Colombiana De Estadística, 31(1), Pp 41-65.
- Haddam, N., Siani, G., Michel, E., Kaiser, J., Lamy, F., & Duchamp-Alphonse, S. Et Al. (2018). Changes in Latitudinal Sea Surface Temperature Gradients along the Southern Chilean Margin since the Last Glacial. Quaternary Science Reviews, 194, 62-76. Doi: 10.1016/J.Quascirev.2018.06.023
- Karl, T., & Williams, C. (1987). An Approach to Adjusting Climatological Time Series for Discontinuous Inhomogeneities. Journal of Climate and Applied Meteorology, 26(12), 1744-1763.
- Kelleher, J., Mac, B., & D'Arcy, A. (2015). Fundamentals Of Machine Learning For Predictive Data Analytics. MIT PRESS.
- Kucera, M. (2018). Determination of Past Sea Surface Temperatures. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Doi: 10.1016/B978-0-12-409548-9.11384-3
- Madhloom, H., Al-Ansari, N., Laue, J., & Chabuk, A. (2017). Modeling Spatial Distribution of Some Contamination within the Lower Reaches of Diyala River Using IDW Interpolation. Sustainability, 10(2), 22. Doi: 10.3390/Su10010022
- Méndez , F., & Zapata, F. (2010). Variabilidad Espacial De La Salinidad En

Suelos Regados Con Aguas Residuales Del Sistema De Riego Taiguaiguay, Venezuela . *Interciencia*, 35 (5), 358-361.

Surfaces. The APPEA Journal, 22(1), 205. Doi: 10.1071/Aj81016

Pacheco, C., Aguado, I., & Mollicone, D. (2011). Dinámica De La Deforestación En Venezuela: Análisis De Los Cambios APartir De Mapas Históricos. *Interciencia*, 36 (8), 579-580.

Sanz, J., Pérez, E., & Llorca, J. (2009). Estudio Climático De La Temperatura De Las Estaciones Existentes En La Tierra Con Datos Desde El Siglo XVIII. *Anales De Geografía*, 29 (1).

Song, L., Tang, M., & Li, N. (2014). A Global Path Planning Algorithm For AGV Based On The Shapefile Vectorgraph. *Advanced Materials Research*, 889-890, 1117-1120.

Philip, G., & Watson, D. (1982). A Precise Method for Determining Contoured

Unnikrishnan , K., Lodh , A., & Kumar, D. (2016). Validation Of Two Gridded Soil Moisture Products Over India With In-Situ Observations. *Earth System Science*, 125 (5), 1-9.

Yáñez R, E., Catasti V, V., Barbieri B, M., & Böhm S, G. (1996). Relaciones Entre La Distribución De Recursos Pelágicos Pequeños Y La Temperatura Superficial Del Mar Registrada Con Satélites NOAA En La Zona Central De Chile. *Investigaciones Marinas*, 24. Doi: 10.4067/S0717-71781996002400009

Watson, D.F. And Philip, G.M. (1985) A Refinement Of Inverse Distance Weighted Interpolation. *Geoprocessing*, 2, 315-327.

CLASIFICACIÓN DE LA LINEA COSTERA DE LA ISLA SANTA CRUZ, GALÁPAGOS A PARTIR IMÁGENES SATELITALES

CLASSIFICATION OF THE COASTAL LINE OF SANTA CRUZ ISLAND, GALÁPAGOS TO START SATELLITE IMAGES

Sophia Nativí Merchán ¹ Mónica López Moncada ¹ Carlos Martillo Bustamante¹

¹Grupo de investigación en Geociencias Marinas y Costeras (GEMAC). Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Campus “Gustavo Galindo”. Km 30.5 vía perimetral. Casilla:09-01-5863

RESUMEN

El archipiélago de Galápagos es un laboratorio natural en cuya zona costera se desarrollan ambientes ecológicos muy particulares, donde a la par se realizan actividades antropogénicas de importancia económica para el país. El manejo de estas costas requiere de una adecuada clasificación de su relieve, tal que permita identificar zonas naturales donde puedan desarrollarse ciertas especies, al tiempo de identificar posible uso de actividades humanas. No obstante, la carencia de información de las islas, debido a la extensión e inaccesibilidad de algunos sitios hace necesario el uso de los sensores remotos y de los sistemas de información geográfica (SIG) para obtener una clasificación de la morfología costera. Para establecer una clasificación morfológica del perfil costero de la Isla Santa Cruz se usó imágenes multiespectrales del satélite SENTINEL 2^a con la composición de bandas RGB12,4,2, la misma que analizada con imágenes de alta resolución espacial de Google Earth, así como con información vectorial proporcionada por la fundación Charles Darwin, permitió determinar la morfología costera de esta isla. Se determinó en Isla Santa Cruz cuatro tipos de geoformas costeras, dos con zonas bajas compuestas por manglar y playa y dos de zonas altas constituidos por acantilado y zona rocosa. A partir de este análisis se estableció que la isla Santa Cruz tiene un relieve costero compuesto de un 47% de zonas rocosas y acantilados, y un 53% de zonas bajas de playa y manglares. Esta identificación del relieve costero de Santa Cruz ha sido integrada en un SIG, generando un aporte importante para el manejo costero de la isla. Finalmente se realiza un análisis sobre las variables que estarían influenciado en el modelado del relieve costero de la isla Santa Cruz.

Palabra claves: Galápagos, morfología costera, sensores remotos.

ABSTRACT

The Galapagos Archipelago is a natural laboratory in which coastal zone are developing special ecological environments, and where are carrying out important human activities for the Ecuadorian economy. In order to manage these coasts, it is required an adequate classification of its reliefs which permit us to identify natural areas where certain biological species could develop, as well as to identify its possible use for human activities. However, the lack of information on the islands, due to the extension and to the difficulties to access to some areas, it is required to apply the use of remote sensors and geographic information systems (GIS) to obtain this coastal classification. For getting this goal in the Santa Cruz island we used a remote sensing image from the Sentinel 2A, with a combination of bands RGB 12, 4, 2. This data, in addition to the satellite image with high spatial resolution shown in the Google Earth, as well as with a vectorial data provided by Charles Darwin Foundation, allowed us to realize a coastal morphological classification of the island. From this work we identified high coastal zones, formed by cliff and rocky areas, as well as low-flat coasts formed by mangroves and beaches. From this work we determined that the Santa Cruz Island is composed by 47% of rocky and cliffs areas, and with 53% of beaches and mangroves. This morphological coast classification of the Santa Cruz Island have been integrated in a GIS, giving an important resources for the coastal management of the island. Finally, we propose an analysis about the influences of different variables that could model the coastal relieve of the Santa Cruz island.

Keyword: Galapagos, coastal morphology, remote sensing.

INTRODUCCIÓN

Pocos lugares en el mundo son tan dinámicos e involucran numerosos procesos naturales y actividades antropogénicas, como la costa. Para lograr un adecuado manejo y entendimiento de esta, se requiere un sólido conocimiento de los sistemas geomorfológicos (Beatley et al., 2002), a partir del establecimiento de límites y clasificaciones.

La instauración de los límites dependerá de cómo definamos la zona costera, la cual presenta un gran número de definiciones (Lavalle et al., 2011). Cicin-Sain & Knecht, (1998) la define como el área de interfaz entre la tierra y el mar, donde el mar influye en la tierra, y viceversa; llegando inclusive a definirse islas enteras como zona costera.

De igual forma como encontramos una gran cantidad de definiciones, surgen un amplio número de clasificaciones, que adicionalmente con la aparición de los sistemas de información geográfica (SIG) han aumentado en cantidad y variabilidad (Cooper & McLaughlin, 1997).

En la actualidad en Ecuador continental se han realizado varios esfuerzos para clasificar la línea costera en un sistema (formal y/o unificado) que se adapte a las necesidades estratégicas del país (Ayón & Zapata, 1988; Dumont et al., 2010; MAE-SPINCAM, 2017). Sin embargo, en la región insular, dada la baja resolución de datos topográficos el número de clasificaciones se ha visto reducido a menores escalas (CLIRSEN, 2006; DNPG, 2014).

No obstante, la importancia socio económica, de la costa del archipiélago, requiere de una adecuada clasificación de su relieve, a mayores escalas, tal que permita identificar zonas naturales, donde puedan desarrollarse ciertas especies, al tiempo de identificar posible uso de actividades humanas. Mas, debido a la gran extensión de tierras inaccesibles se hace inevitable el uso de los sensores remotos (d'Ozouville et al., 2008).

El presente estudio, realiza una propuesta de clasificación del perfil costero del Archipiélago de Galápagos en base a su morfología, adaptándose a una clasificación oportuna para estudios científicos posteriores como la geología y biología, así como para el manejo costero de las islas. Para tales fines y debido a su factibilidad se ha hecho uso de imágenes satelitales y de herramientas SIG, puesto que permiten optimización de tiempo y recursos. En primera instancia se pretende utilizar la isla Santa Cruz como isla piloto para la posterior clasificación del archipiélago. La elección de esta isla se debe a la importancia socioeconómica que representa para el archipiélago y por ser una de las más conocidas y de mejor accesibilidad, en caso de requerirse validación en campo.

Área de estudio La isla Santa Cruz se localiza en la parte central del Archipiélago de Galápagos (Figura 1), y es la segunda isla más grande del archipiélago (seguida de Isabela) con un área de 985,22 km², un perímetro de 183,92 km y una altitud máxima de 684msnm (DNPG, 2014). Se caracteriza por su paisaje geológico y la variedad de su vegetación. Allí se sitúa el cantón más poblado del archipiélago con 15.701 habitantes para el 2015 (INEC, 2016).

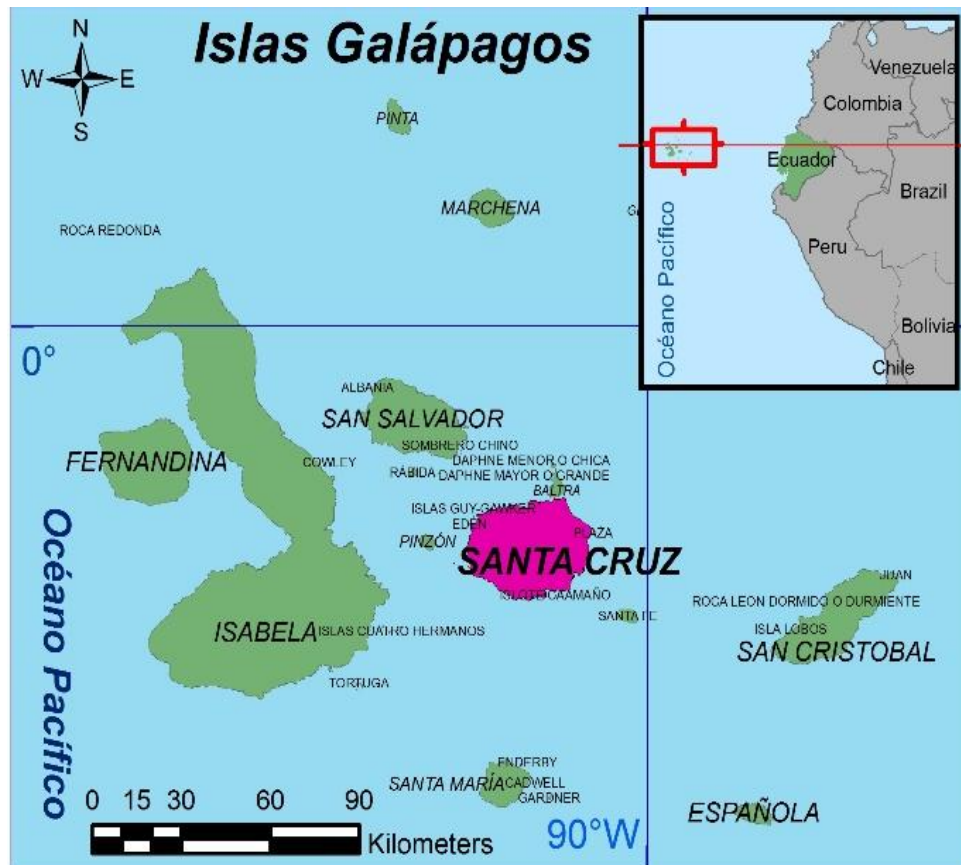


Figura 1. Ubicación del área de trabajo, Isla Santa Cruz-Galápagos-Ecuador.
Figure 1. Study area location, Santa Cruz-Galapagos-Ecuador Island.

Según su vegetación la isla presenta 7 zonas (Dvorack et al., 2011; Wiggins et al., 1971), presentando mayor endemismo en la franja costera y las zonas áridas (Municipio de Santa Cruz, 2015), cubiertas principalmente por manglares, árboles deciduos y varias especies de matorrales (scrubs).

Geológicamente Santa Cruz puede ser dividida en dos partes: 1) viejos flujos de lava submarinos levantados y materias intercaladas con calizas fosilíferas y 2) un amplio escudo joven de lavas basálticas coronado por un conjunto de conos de escoria juveniles. La parte más vieja está presente como una estrecha franja a lo largo del noroeste y posiblemente esquina noreste de la isla; la parte más joven, es por mucho la más grande, cubriendo las tierras altas y el resto de la isla (Glynn & Wellington, 1983; White et al., 1993).

Unidades Geomorfológicas Costeras

Para la elección de una adecuada clasificación costera en la Isla Santa Cruz, se analizaron varios sistemas, mundialmente reconocidos (Cotton, 1952; Finkl, 2004; Johnson, 1919; Owens, 1994; Shepard, 1937; Valentin, 1952) y algunos sistemas establecidos en Ecuador continental (Ayón & Zapata, 1988; Castro et al., 2013; DNPG, 2014; NAZCA, 2005; MAE-SPINCAM, 2017), descritas en la Tabla 1, con el objetivo de mantener características en común que permitan la aplicación de gestiones integrales.

De entre estos sistemas se evaluaron las unidades que más se ajustan tanto a la geomorfología del archipiélago como a la información manejada. De los sistemas internacionales, se tomó como referencia (Owens, 1994), por ser quien presenta un alto grado de fortaleza en el criterio de materiales y morfología de la costa (Finkl, 2004), además

de ser adaptable a pequeñas escalas, y conteniendo a su vez unidades en común con los sistemas nacionales. Finalmente se propusieron 4 unidades para caracterizar la línea de costa, dos de zonas de morfología baja, i.e playa y manglar, así como dos de morfología alta como son acantilado y zona rocosa. Adicionalmente se identificó la zona de uso antrópico (perfil urbano). Estas se describen a continuación:

Playa. Zona de pendiente suave, con morfología modificada principalmente por acción del oleaje y formada por superficie arenosa.

Manglar. Zona de pendiente baja, donde las plantas de mangle se han arraigado en las aguas poco profundas, protegiendo la costa contra el oleaje (Burger, 2005). Son criaderos de gran número de especies. En Santa Cruz se

han distinguido 4 especies: mangle rojo, mangle blanco, mangle negro y mangle botón (Municipio de Santa Cruz, 2015).

Zona rocosa. Zona rocosa con poca o ninguna pendiente (0-45°). Nomenclatura basada en la definición de 'slopingcoast' (Biolchi et al., 2016) y shore platform (Trenhaile, 1987) producida por la acción de procesos marinos y el retroceso de un acantilado en la zona intermareal (Biolchi et al., 2016).

Acantilado. Porción con una abrupta elevación, casi vertical y formada por rocas erosionadas por la acción del oleaje.

Perfil Urbano. Zona del relieve que se ha visto modificada, en mayor porcentaje, por la construcción de estructuras antropogénicas (rompeolas, muelles, capitanías, hoteles, casas, etc.).

Tabla 1. Clasificaciones costeras de Ecuador consideradas

Table 1. Ecuadorian coastal classifications.

(Castro et al., 2013)	(DNPG, 2014)	(Ayón & Zapata, 1988)
• Llanuras de marea • Colinas bajas • Rampas • Acantilado • Lagoon • Cuesta • Playa	• Ecosistemas litorales • Playas rocosas, arenosas, y barrancos • Ecosistemas de humedales • Manglares y lagunas	• Cordones litorales • Acantilados bajos • Acantilados altos inestables • Acantilados altos • Manglares
(NAZCA, 2005)		
• Manglar, UEM tropical • Perfil Urbano • Playa de Arena, UEM mixta • Playa de Arena, UEM mixta, influencia de agua dulce • Playa de Arena, UEM tropical • Playa de Arena, UEM tropical, influencia de agua dulce		• Manglar, UEM mixta • Playa de limo, UEM mixta • Playa de limo, UEM mixta, influencia de agua dulce • Playa de roca, UEM mixta • Playa de roca, UEM tropical • Playa de roca, UEM tropical, influencia de agua dulce. • Manglar, UEM tropical • Manglar, UEM mixta

DATOS Y MÉTODOS

La fase preliminar consistió en la búsqueda de información bibliográfica, y obtención de datos necesarios para la ejecución del proyecto, descritos a continuación:

Imágenes Satelitales: Se seleccionaron las imágenes multiespectrales (13 bandas) del satélite Sentinel 2A del 21/02/2017, que cuenta con la menor separación temporal posible y mejor resolución espacial, dicha selección se basó considerando la imagen más reciente del área de estudio, así como con la menor cobertura de nubes posible, no se hizo una discriminación entre temporada seca y húmeda por el interés de determinar las zonas de playas. Las mismas fueron descargas de la página copernicus:

<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>, y sus características se pueden observar en la Tabla 2.

Tabla 2 Características de la imagen Sentinel 2A
Table 2 Basic metadata of Sentinel 2A satellite image

Sistema	
Sentinel 2A	
Tipo	MS1_L1C
Fecha captura	21/01/2017
Orbita	Descendente
No. Bandas	13
Resolución Espacial	10- 60 m
Rango de longitudes de ondas	0.443 -2.190 nm
B2 Azul	490 nm
B4 Rojo	665 nm
B12 Onda corta Infrarroja	842 nm
Fuente	ESA
Zona geográfica	Wgs84_UTM_Zona 15S

La Figura 2 muestra la escena completa utilizada para el presente trabajo.

Adicionalmente se hizo uso de imágenes publicadas en el Google Earth, cuya ventaja es la alta resolución espacial, así como la disponibilidad de varios años (2015, 2016 y 2017).

Información vectorial: Archivos en formato shape proporcionado por la Fundación Charles Darwin (FCD) y descritos en la Tabla 3.

Para la ejecución del estudio se usaron las siguientes herramientas de análisis y procesamiento.

Geomática 2017: Software avanzado para el procesamiento e interpretación digital de imágenes Satelitales de todo tipo de sensor aeroespacial. Se hizo uso de la licencia temporal proporcionada a ESPOL por PCI, la misma que ofrece funciones analíticas de geoprocésamiento.

Quantum GIS: Software Open Source, que permite la generación de una base de datos geográfica, así como el procesamiento y análisis de capas vectoriales y raster.

Tabla 3. Descripción de los Archivos enviados por la FCD

	Tipo	Fuente
Nombre		
Galapagos island	Shp	PNG
Manglares	Shp	FCD
Acantilados	Shp	FCD
Playas	Shp	FCD
Digitalización de playas	Kmz	FCD

Table 3. Description of the files sent by the FCD

En la ilustración 1 se muestra de manera general y resumida la metodología realizada.

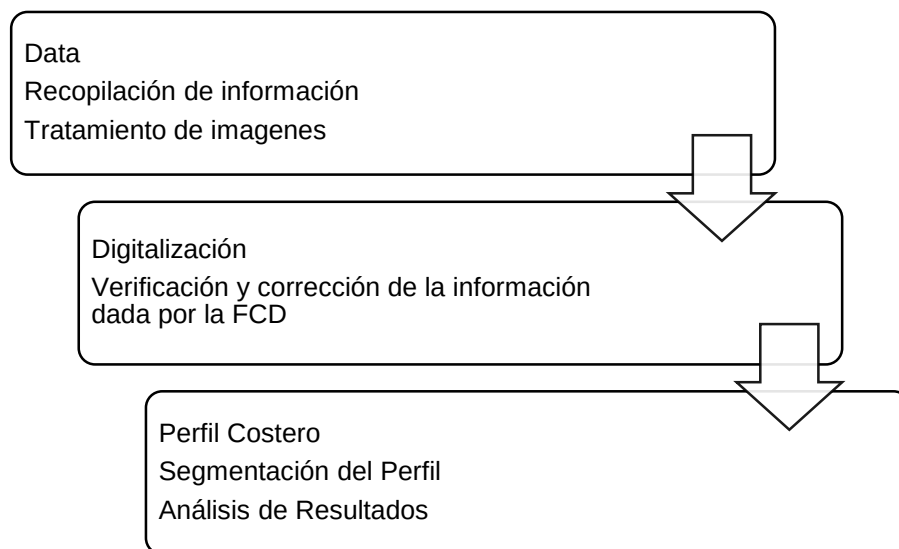


Ilustración 1. Síntesis de la metodología realizada

Illustration 1. Synthesis of methods

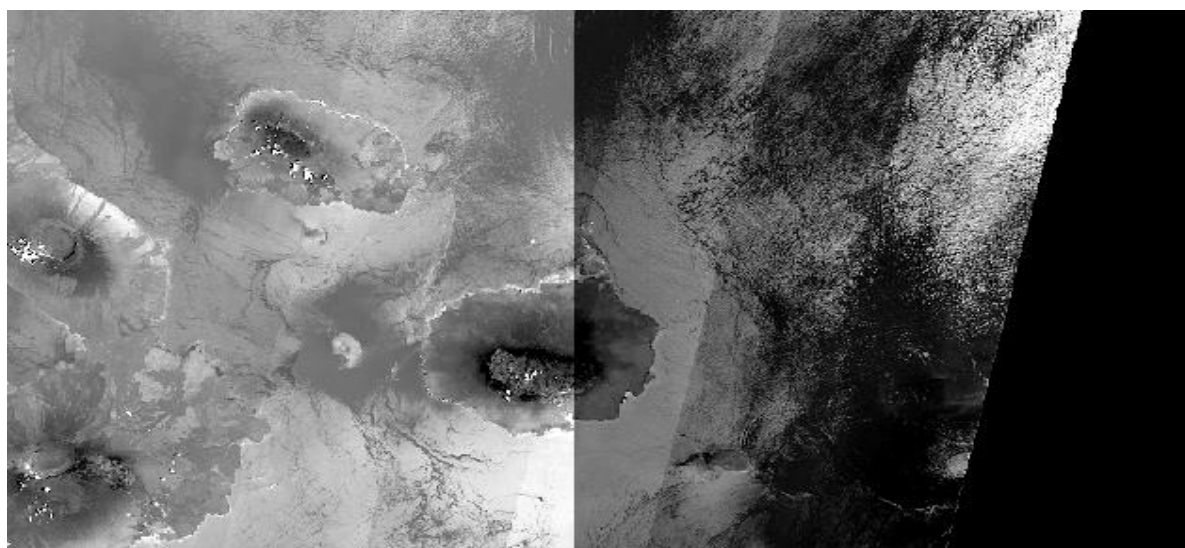


Figura 2. Imágenes Sentinel 2A de 21 de febrero de 2017.

Figure 2. Sentinel 2A images of February 21, 2017.

Elaboración propia a partir de información obtenida de (ESA, 2017).

Tratamiento de imágenes Sentinel 2A

Como primera etapa se ejecutó el tratamiento de las imágenes satelitales a través del software Geomática donde se realizó la corrección atmosférica de todas las bandas de manera automática.

Posteriormente, se procedió a realizar la unión de las bandas y una composición en falso color RGB de las bandas 12, 4, 2 del sensor. Dicha selección se basó en la comparabilidad de los espectros de cada una de ellas que permitió resaltar la geología de la zona. Consecutivamente se realizó un mosaico de las imágenes satelitales mediante la herramienta Orthoengine (Figura 3).

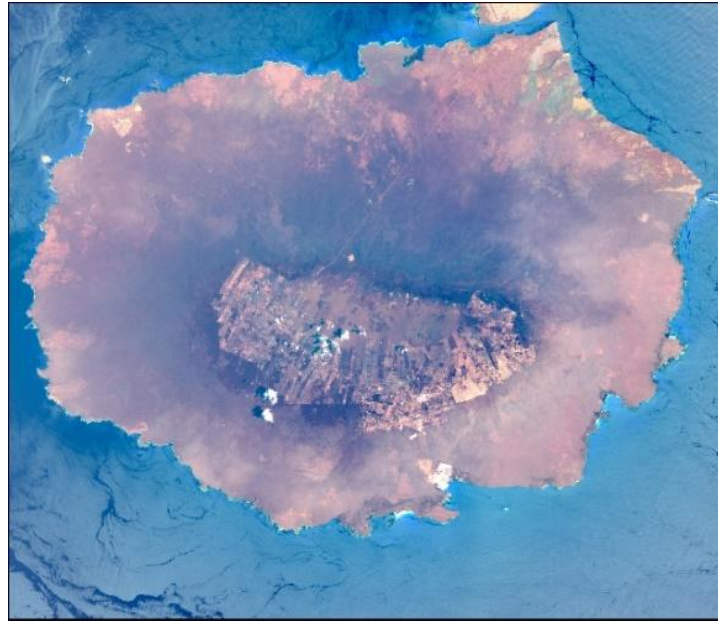


Figura 3. Imagen de falso color de la Isla Sentinel 2A utilizada en el reconocimiento de las zonas de playa.

Figure 3. False color image of Sentinel 2A used in the recognition of beach areas.

Digitalización de la información vectorial

La primera fase de la digitalización, comprendió la rectificación del perfil costero dado por la FCD, puesto que, mostraba algunas diferencias con los límites actuales de las islas. El perfil fue modificado con el mosaico falso color de Sentinel 2A (Figura 3) y las imágenes disponibles de Google Earth.

Como segunda etapa se efectuó la revisión y modificación de la capa temática de zonas de playas proporcionada por la FCD, mediante herramientas de topología y validadas a través del mosaico en falso color (RGB 12, 4,2) de Sentinel 2A e imágenes de Google Earth.

En base a la visualización en tres dimensiones (3D) que permite realizar Google Earth, se discriminaron las zonas bajas de las altas, así

como las zonas de acantilado de las zonas rocosas (Figura 4).

La información espectral proporcionada por la imagen del satélite Sentinel 2A, permitió identificar las zonas de playa de las zonas de manglares. Las zonas de playas presentaban una tonalidad celeste clara, las zonas de manglares mostraban una apariencia verde oscura, mientras que las zonas rocosas presentaban color marrón (Figura 5)

Finalmente, usando los criterios arriba indicados, se realizó la última etapa, que consistió en la segmentación del perfil, asignando las respectivas nomenclaturas: (1) playa, (2) manglar, (3) acantilado, (4) perfil urbano y (5) zona rocosa. En la Figura 5, se observa un zoom del mosaico de falso color, en la zona de Tortuga Bay, donde se identifican zonas rocosas, manglar y playa.

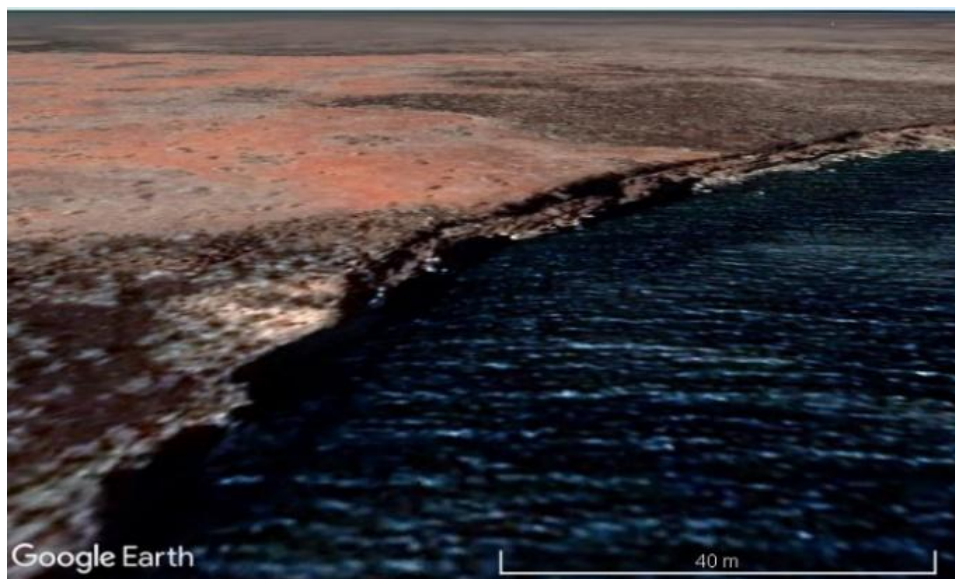


Figura 4. Vista de acantilados en Google Earth.
Figure 4. View of cliffs in Google Earth

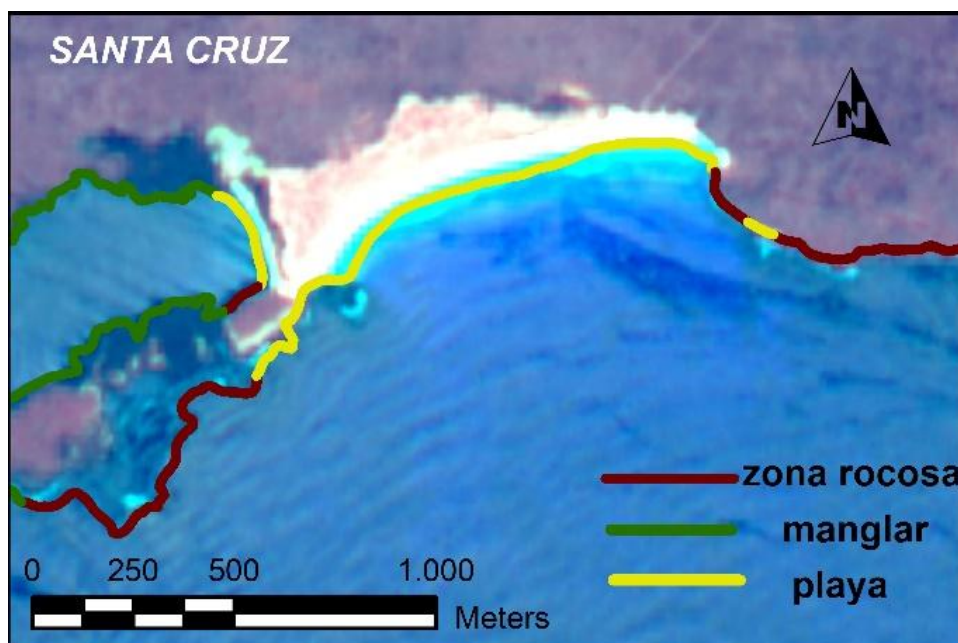


Figura 5. Mosaico falso color donde se identifican las zonas rocosas, playa y manglares.
Figure 5. Mosaic in false color where have been located the rocky areas, beaches and mangroves.

RESULTADOS

De la clasificación del perfil costero de la isla Santa Cruz, de la longitud total del perfil, definido en 214591 m (según la vectorización realizada), se obtuvo la longitud parcial de cada tipo de morfología con su

correspondiente porcentaje. Así, se obtuvo un 46,57% de zonas rocosas y acantilados, 52,68% de zonas bajas de playa y manglares y tan sólo un 0,75% de perfil urbano, tal como se muestra en la ver Tabla 4 y en la Figura 6.

Tabla 4. Longitudes y porcentajes de las zonas costeras
Table 4. Lengths and percentages of the coastal zones.

Unidad	Longitud (m)	Porcentaje del Perfil
Zona rocosa	72131,12	33,61
Acantilado	27813,68	12,96
Playa	55061,63	25,66
Manglar	57975,69	27,02
Perfil Urbano	1608,98	0,75
Total	214591,09	100

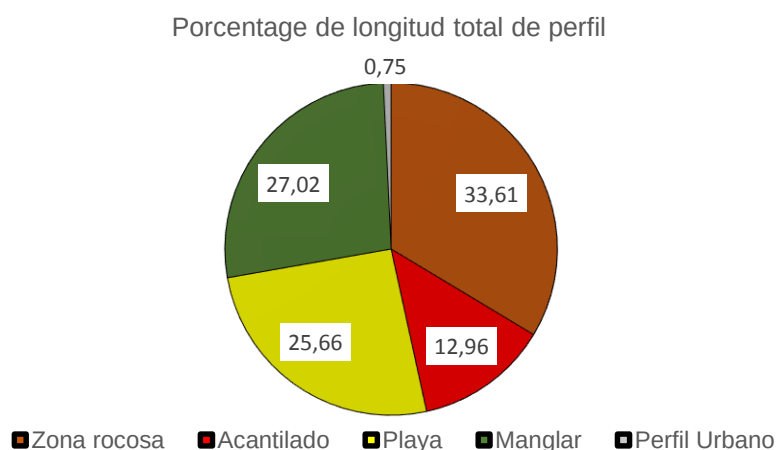


Figura 6. Porcentaje del perfil costero con la identificación de las diferentes zonas.

Figure 6. Percentage of the coastal classification

En la Figura 7 A se muestra la distribución espacial de las unidades, donde se observa: a) una predominancia de acantilados en el noreste; b) presencia de playas y manglares en noroeste; c) zonas rocosas con alternancia

de playas y manglares en el suroeste y oeste, d) estructuras de origen antropogénico (perfil urbano), en la parte sur. En la Figura 7B se muestra un zoom del perfil en la zona de Pto. Ayora, en el mosaico de falso color.

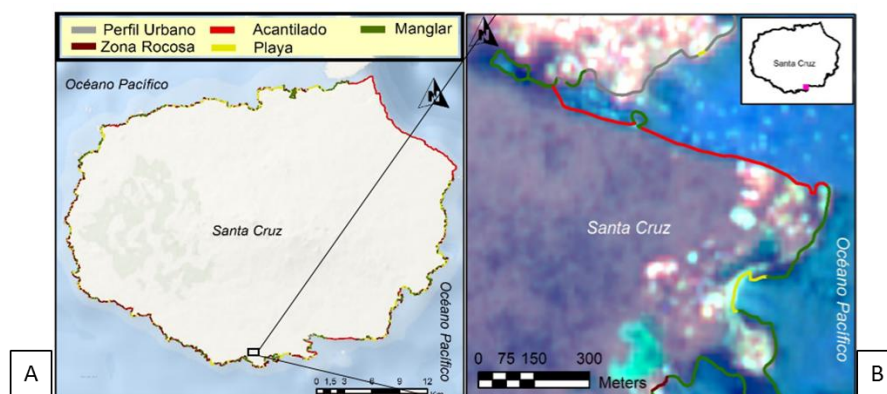


Figura 7. Perfil Costero de la Isla Santa Cruz-Galápagos. 7A Clasificación total de la costa .7B Ampliación de zona costera alrededor de puerto Ayora en el Mosaico de falso color.

Figure 7. Coastal Profile of the Santa Cruz Island -Galapagos. 7A General coastal classification .7B Zoom of a coastal zone around the Puerto Ayora, in the false color mosaic.

DISCUSIÓN

Las zonas rocosas alcanzan el 33.61% con alternancia de zonas de playas de 25.66% y manglares de 27.02% manifestando una distribución casi equivalente en toda la isla, siendo importante examinar las variables que influyen en el modelado de su morfología, así como en la erosión de las playas, las zonas rocosas y acantilados presentes en la isla.

La isla Santa Cruz, presenta alrededor de toda la costa una intercalación de morfologías altas y bajas, sin embargo, la zona noreste de la isla presenta principalmente acantilados.

El oleaje predominante durante el año proviene del suroeste, con presencia de oleaje noroeste durante la época húmeda (Sosa, 2014). Por lo cual el oleaje podría estar influenciando tanto en las costas de la zona Sur y Norte de la Isla. Sin embargo, dada la posición espacial de la isla Santa Cruz, tienen una gran protección al Norte brindada por las islas Isabela y San Salvador, y poca protección al Sur, proporcionada por la isla Santa María, por lo que la línea costera de Santa Cruz estaría influenciada principalmente por el oleaje proveniente del Suroeste, que del oleaje del noreste.

La presencia exclusiva de acantilados en la zona noreste de la Isla sugiere poca acción de oleaje o rocas de gran soporte a la abrasión, lo cual es coherente con la propuesta de que la morfología costera de la Isla Santa Cruz está modelada principalmente por el oleaje proveniente del Suroeste.

Sin embargo es importante también considerar otras variables como son los aspectos geológicos, biológicos y climatológicos que generan meteorización y erosión de las formas costeras.

En los aspectos geológicos, la isla presenta inactividad volcánica, lo cual sugiere que su morfología costera no se encuentra

influenciada por volcanismo o tectonismo. Sin embargo, el material rocoso de la isla presenta viejos flujos de lavas ubicados al Noreste, mientras que al sureste la lava es más joven formada por lavas basálticas con conos de escoria (Glynn & Wellington, 1983; White et al., 1993), lo cual sugiere que el material al noreste es de mayor dureza que del resto de la isla presentando mayor dificultad al proceso de erosión.

La presencia de playas con componentes similares, tal y como se han identificado (arenas olivinas, rojas y negras), pueden ser producto de la sedimentación por oleaje que se encuentra distribuida en las parte sur de la isla.

En cuanto a la influencia biológica, es importante considerar que de acuerdo Ramalho et al., (2013) que en lugares donde las condiciones oceanográficas y la actividad biológica son favorables para la producción de arrecifes, estos procesos biológicos contribuye sustancialmente a la acumulación de sedimentos y en algunos casos más que el proceso de oleaje. Estos sectores podrían ser las zonas noroeste y sureste donde se encuentran la presencia de arrecifes coralinos (Glynn et al., 2018)

Por otra parte, también es importante considerar el aporte biológico, dada la elevada productividad primaria de la isla (Fiedler et al., 1991), el alto porcentaje de manglar encontrado, y los aportes sedimentarios importantes de arena blanca de coral, presentes en algunas playas.

CONCLUSIÓN

El uso de los sistemas de información geográfica y de sensores remotos permitió instaurar una clasificación para la zona costera de la isla Santa Cruz, tomando como base tipologías mundialmente reconocidas, de los cuales algunos son aplicados en Ecuador.

Este trabajo ha permitido determinar una zonificación espacial de la morfología costera que puede tener muchas aplicaciones para el manejo y estudios de los diferentes ambientes y recursos naturales de la Isla Santa Cruz, así como realizar un primer acercamiento sobre el análisis de los factores o variables que están influenciando en el modelado de su costa.

De acuerdo al análisis realizado, existiría una influencia importante en el modelado de la costa Sur de la isla el oleaje proveniente del Suroeste, mientras que en la zona norte, podría ser principalmente la influencia de actividad biológica, sin descartar totalmente influencia del oleaje del suroeste que por refracción podría llegar a la zona norte. Sin embargo, la zona noreste de Santa Cruz, al presentar una zona de acantilado importante, sugiere que la erosión por aspectos físicos como oleaje, y biológicos, influirían de manera mínima en su erosión.

Sin embargo, para un entendimiento más profundo de la zona costera se debe considerar un análisis más exhaustivo, mediante la identificación en campo de las morfologías identificadas en el presente trabajo, así como de los procesos ambientales involucrados.

AGRADECIMIENTOS

Se agrade a la Fundación Charles Darwin por invitar a la ESPOL a realizar el presente trabajo de investigación y por proporcionar la información cartográfica referida en el presente documento.

A la empresa Agroprecisión por realizar las gestiones necesarias para contar con el uso de licencia de Investigación de PCI Geomática.

A los revisores de este trabajo quienes dieron acertadas opiniones para mejorar el documento finalmente publicado.

REFERENCIAS

Ayón, J., & Zapata, B. (1988). *Grandes rasgos geomorfológicos de la costa ecuatoriana*. Quito, Ecuador: Ministerio de Energía y Minas, Dirección General del Medio Ambiente.

Beatley, T., Brower, D. J., & Schwab, A. (2002). *An Introduction to Coastal Zone Management* (second). Washington: Island Press, 1718 Connecticut Avenue, N.W., Suite 300, Washington, DC 20009.

Biolchi, S., Furlani, S., Devoto, S., Gauci, R., Castaldini, D., & Soldati, M. (2016). Geomorphological identification, classification and spatial distribution of coastal landforms of Malta (Mediterranean Sea). *Journal of Maps*, 12(1), 87–99. <https://doi.org/10.1080/17445647.2014.984001>

Burger, B. (2005). *Wave Attenuation in Mangrove Forests*. Delft University of Technology. Retrieved from repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:0e4c6450-fe5d-4693-9ca9-58da343448b7?collection=research

Castro, R., Romero, M., Loarte, G., & Galeas, R. (2013). Modelo de unidades geomorfológicas Para la Representación Cartográfica de Ecosistemas del Ecuador Continental. *Ministerio Del Ambiente*.

Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN). (2006). Cartografía Galápagos 2006 Conservación en otra dimensión. In *X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. Guayaquil, Ecuador. Retrieved from <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/4.-CartografiaGalapagos.pdf>

Cicin-Sain, B., & Knecht, R. (1998). *Integrated Coastal and Ocean Management .Concepts and Practices*. Washington: Island Press, 1718 Connecticut Avenue, N.W., Suite 300, Washington, DC 20009.

- Cooper, J. A. G., & McLaughlin, S. (1997). Coastal Contemporary Multidisciplinary Approaches to Coastal Classification and Environmental Risk Analysis. *Journal of Coastal Research*, 14(2), 512–524. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/4298806>
- Cotton, C. (1952). Criteria for the classification of coasts. In *17th International Geographical Congress* (Vol. 2, pp. 315–319). Washington, DC: Reprinted 1974 in Bold Coasts, A.H. and A.W. Reed, Wellington, New Zealand, pp. 118–125.
- d'Ozouville, N., Deffontaines, B., Benveniste, J., Wegmüller, U., Violette, S., & de Marsily, G. (2008). DEM generation using ASAR (ENVISAT) for addressing the lack of freshwater ecosystems management, Santa Cruz Island, Galapagos. *Remote Sensing of Environment*, 112(11), 4131–4147. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.02.017>
- Dirección del Parque Nacional Galápagos (DNPG). (2014). *Plan de Manejo de las Áreas Protegidas de Galápagos para el Buen Vivir*. Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador. Retrieved from http://www.galapagos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/07/DPNG_Plan_de_Manejo_2014.pdf
- Dumont, J., Navarrete, E., & Martillo, C. (2010). Informe Científico del Proyecto Observatorio del Litoral Ecuatoriano, 152.
- Dvorack, M., Fessl, B., Nemeth, E., Kleindorfer, S., & Tebbich, S. (2011). Distribution and abundance of Darwin's finches and 'pagos: other land birds on Santa Cruz Island, Gala evidence for declining populations, 46(1), 78–86. <https://doi.org/10.1017/S0030605311000597>
- Fiedler, P. C., Philbrick, V., Chavez, F. P., Starr, D., & John, J. (1991). Oceanic upwelling and productivity in the eastern tropical Pacific-FIEDLER ET AL-1991.pdf, 36(8), 1834–1850.
- Finkl, C. W. (2004). Coastal Classification: Systematic Approaches to Consider in the Development of a Coastal Classification: Systematic Approaches to Consider in the Development of a Comprehensive Scheme. Source: *Journal of Coastal Research* *Journal of Coastal Research*, 20(20), 166–213. [https://doi.org/10.2112/1551-5036\(2004\)20\[166:CCSATC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2112/1551-5036(2004)20[166:CCSATC]2.0.CO;2)
- Glynn, P. W., Feingold, J. S., Baker, A., Banks, S., Baums, I. B., Cole, J., ... Vera-Zambrano, M. (2018). State of corals and coral reefs of the Galápagos Islands (Ecuador): Past, present and future. *Marine Pollution Bulletin*, 133(May), 717–733. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.002>
- Glynn, P. W., & Wellington, G. M. (1983). *Corals and coral reefs of the Galápagos Islands*. University of California Press.
- Instituto de Investigaciones Marinas NAZCA.(2005)Clasificación de Sistemas Submareales e Intermareales .
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2016). Galápagos tiene 25.244 habitantes según censo 2015. Retrieved from www.ecuadorencifras.gob.ec/galapagos-tiene-25-244-habitantes-segun-censo-2015/
- Johnson, D. (1919). *Shore Processes and Shoreline Development*. New York: Wiley. (London:Chapman & Hall, Ed.), *Journal of Experimental Psychology: General* (1st ed., Vol. 1). New York.
- Lavalle, C., Rocha, C., Baranzelli, C., & Batista, F. (2011). *JRC Technical Notes. Coastal Zones. Policy alternatives impacts on European Coastal Zones 2000-2050*. Italy. Retrieved from http://ec.europa.eu/environment/enveco/impact_studies/pdf/land_use_modelling_adaptation_activities_coastal.pdf
- Ministerio del Ambiente del Ecuador

(MAE). (2017). *Clasificación y tipología de ecosistemas marinos y costeros en Ecuador*. Ecosistemas marinos y costeros en Ecuador. Guayaquil, Ecuador.

Municipio de Santa Cruz. (2015). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE SANTA CRUZ 2015-2027*. Santa Cruz, Galápagos, Ecuador.

Owens, E. (1994). *Canadian Coastal Environments, Shoreline Processes, and Oil Spill Cleanup Environment*. Ottawa, Ontario: Environment Canada, Environmental Emergency Branch.

Ramalho, R. S., Quartau, R., Trenhaile, A. S., Mitchell, N. C., Woodroffe, C. D., & Ávila, S. P. (2013). Coastal evolution on volcanic oceanic islands: A complex interplay between volcanism, erosion, sedimentation, sea-level change and biogenic production. *Earth-Science Reviews*, 127, 140–170. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.10.007>

Shepard, F. (1937). Revised classification of marine shorelines. *Journal of Geology*, 45:602–624.

Sosa, J. (2014). *Wave modelling in the Ecuadorian Pacific using WAVEWATCH III and SWAN*. Universidad San Francisco de Quito.

Trenhaile, A. S. (1987). *The geomorphology of rock coasts*. Clarendon Press. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=WGyRjV5LdAoC&q=Trenhaile+1987+The+geomorphology+of+rocky+coasts&dq=Trenhaile+1987+The+geomorphology+of+rocky+coasts&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwivo7Hm1vDfAhXvqFkKHS0oCqMQ6AEIKzAA>

Valentin, H. (1952). Die Küsten der Erde(The coasts of the Earth). *Petermanns Geographisches Mitteilungen Ergänzungsheft*, 246. 118.

White, W., McBirney, A., & Duncan, R. (1993). Petrology and Geochemistry of the Galápagos Islands:Portrait of a Pathological Mantle Plume. *Journal of Geophysical Research*, 98, 533–563. <https://doi.org/10.1029/93JB02018>

Wiggins, I. L. (Ira L., Porter, D. M., & Anderson, E. F. (1971). *Flora of the Galápagos Islands*. Stanford, USA: Stanford University Press.

EXPERIENCIA EN RELLENO HIDRÁULICO EN EL ECUADOR Y PROPUESTA PARA DISMINUIR EL IMPACTO EN LA EXCAVACIÓN DE LOS CAUCES.

PRACTICAL EXPERIENCES ABOUT HYDRAULIC LAND FILL IN ECUADOR AND PROPOSAL TO REDUCE THE IMPACT ON THE EXCAVATION OF THE CAUCES.

Manuel Gómez De La Torre ¹, Patricia Villa-R ¹ David Stay¹

Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas
Email: manuel.gomezdelatorre@ug.edu.ec angela.villar@ug.edu.ec david stay@ug.edu.ec

RESUMEN

El Relleno Hidráulico en el Ecuador tiene una gran importancia social porque eleva el nivel de vida de los sectores más vulnerables ubicados en zonas bajas densamente pobladas y de escasos recursos, en los cuales, se presentan muchas enfermedades y dificultades para el desempeño de las actividades cotidianas como educación, trabajo, deterioro o destrucción de las viviendas y pérdidas materiales.

Esta investigación responde a la necesidad de difundir y evaluar las experiencias de Relleno Hidráulico en zonas bajas inundables para beneficio social realizadas en el Ecuador por el Servicio de Dragas de la Armada, y cuyos proyectos más importantes se han ubicado en la Cuenca Baja del Río Guayas.

Sin embargo del impacto social positivo, por ser una obra de Ingeniería, se requiere una buena planificación para la viabilidad de las mismas, en esta investigación se ha planteado la necesidad de determinar los tipos de afectación que por el dragado se podrían presentar en los cauces fluviales que sirven como cantera del material a ser utilizado para relleno hidráulico. En la última parte, se ha evaluado una propuesta de los estudios mínimos requeridos para la ejecución de rellenos hidráulicos para no afectar el cauce fluvial por el material excavado mediante el dragado.

Palabras claves: dragado, relleno hidráulico.

ABSTRACT

The Hydraulic Landfill in Ecuador has a great social importance because it raises the standard of living of the most vulnerable sectors located in low densely populated areas and of scarce resources, in which, there are many diseases and difficulties for the performance of daily activities as education, work, deterioration or destruction of housing and material losses.

This research responds to the need to disseminate and evaluate the experiences of Hydraulic Landfill in low-flood areas for social benefit made in Ecuador by the Navy Dredging Service, and whose most important projects have been located in the Lower Guayas River Basin.

However, the positive social impact; Land Fill is a type of engineering work so requires good planning for the viability, in this research has raised the need to determine the types of damage that due to dredging work could be caused in the river channels that serve as a quarry for the material to be used for hydraulic fill. In last part, have been evaluated a proposal of minimum studies required for the execution of hydraulic fillings so as do not to affect the fluvial channel by the excavated material by dredging.

Keywords: dredging, hydraulic land fill.

INTRODUCCIÓN

Dentro de las políticas que plantea la administración pública, está la política de generar obras de infraestructura para mejorar la condición de vida de los ciudadanos especialmente la de los sectores de los grupos vulnerables, Plan Nacional de Desarrollo Toda una vida 2017-2021, Eje 1, Objetivo 1, Política 1.8. (Constitución de la República, 2008). La falta de recursos para las construcciones en zonas rurales y el crecimiento acelerado de las ciudades principales del país obliga a la población a asentarse en la periferia de las ciudades generando grandes cinturones de pobreza. Dicha población se asienta generalmente en terrenos, en los cuales no han existido previamente estudios de riesgos, a pesar de las desventajas que representa este tipo de asentamientos.

Estos asentamientos suelen darse por ejemplo en zonas de manglar, en terrenos inestables, en terrenos bajos sujetos a inundaciones, en áreas de drenaje impidiendo el drenaje eficiente de aguas lluvias y servidas.

Los sectores de Guasmo, Bastión Popular, el Suburbio e Isla Trinitaria son ejemplos de este tipo de asentamientos en la ciudad de Guayaquil. Según el informe “Estrategias de Adaptación al Cambio Climático en la Cuenca Baja del Río Guayas y Golfo Interior de Guayaquil” realizado por el Ministerio de Medio Ambiente indica que no es viable un reasentamiento poblacional y se propone como una posible medida de solución realizar un relleno hidráulico con material de dragado. (Armijos & Montolío, 2008)

Algunos organismos Internacionales como el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos o el Instituto HR Wallingford de Inglaterra han normado la utilización del relleno

hidráulico y se ha considerado como una alternativa en la construcción para rellenar zonas bajas amplias. (Guidelines for the beneficial use of dredged material & T N Burt, 1996), (United States ARMY, 1983b). Según la experiencia local, el relleno hidráulico para rellenar zonas bajas amplias y pobladas se considera como el medio más económico en relación al costo de reubicar las viviendas, considerando la gran demanda que existe para realizar obras de interés social en las ubicaciones donde la población ya se encuentra asentada.

Una obra de dragado se define como el conjunto de operaciones necesarias para la extracción, el transporte y el vertido de materiales situados bajo el agua, ya sea en el medio marino, fluvial o lacustre. (US ARMY, 1983b)

En diversos tipos de obra se requieren rellenos con tierra, como puede ser en proyectos urbanísticos de interés social, bases de carreteras, aeropuertos, o bien la sustitución de terrenos de mala calidad, para mejorar las condiciones geotécnicas en cimentaciones de muelles o de cualquier otro tipo de estructura. (US ARMY, 1983b).

En los últimos años han tomado también gran importancia los dragados asociados a la regeneración y conservación de las playas mediante aportaciones artificiales de arena y en obras en las que se pretende generar grandes superficies útiles en el mar, a menudo asociadas al transporte de mercancías y pasajeros, como por ejemplo la isla artificial construida en Hong-Kong para albergar un aeropuerto (Figura 1). (US ARMY, 1983b).



Figura 1. Construcción de la isla artificial ChekLapKok en Hong-Kong. (www.bnd.nl)
Figure 1. Construction of artificial island ChekLapKok in Hong Kong. (www.bnd.nl)

En el Ecuador las obras de aprovechamiento de material dragado se han asociado a obras de relleno hidráulico de sectores poblados marginales que se han asentado en zonas bajas inundables. El relleno hidráulico se puede definir como el tipo de relleno en el cual el material dragado es depositado en el sitio a rellenar por un sistema de bombeo, donde el material mezclado con agua es transportado por tuberías. Posteriormente el agua es desalojada haciendo uso de un sistema de drenaje. El equipo idóneo para bombear el material desde el lecho de un río o desde el mar cercano a la playa es una draga.

En el Ecuador 7 instituciones públicas como: Instituto Nacional de Pesca, Instituto Oceanográfico de la Armada, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Programa de Manejo de Recursos Costeros y Ministerios de Agricultura y Ganadería han considerado al relleno hidráulico de zonas bajas pobladas como una de las medidas de adaptación al cambio climático ante un posible incremento en el nivel medio del mar. (Hinojosa, 2014)

El relleno hidráulico ha servido en el Ecuador para elevar el nivel del terreno de barrios densamente poblados con el fin de prevenir que estas áreas durante la estación lluviosa se llenen de agua y que por consiguiente las instalaciones sanitarias y de drenaje colapsen. Como consecuencia se presentan diferentes enfermedades,

dificultades para el desempeño de las actividades cotidianas como: educación, trabajo, deterioro y/o destrucción de las viviendas y pérdidas materiales.

En el Ecuador se ha llevado a cabo proyectos de relleno hidráulico en barrios marginales densamente poblados de escasos recursos.

El Servicio de Dragas es un reparto de auto gestión de la Armada del Ecuador que depende de la Dirección General de Intereses Marítimos y que es el encargado de efectuar las labores de dragado y relleno hidráulico a nivel nacional.

Las obras de dragado y relleno hidráulico realizadas en nuestro país han sido desarrolladas con interés social. A nivel internacional se han revisado experiencias de obras de relleno hidráulico de gran envergadura y de interés económico. En la tabla 1 se listan los lugares que se han considerado como referencia a nivel internacional y nacional en los cuales se han realizado obras importantes de relleno hidráulico; en la tabla se puede observar que los trabajos a nivel internacional son de mayor volumen y espesor en relación a los datos de las dos obras principales a nivel nacional en los últimos años.

Para las obras a nivel internacional se han realizado estudios e investigaciones científicas y técnicas, sin escatimar el valor económico que ellas demandan, sin

embargo, en Ecuador por ser obras de interés social, no han tenido gran difusión técnica ni científica y no se han desarrollado

estudios integrales considerando toda la complejidad para este tipo de obras.

Tabla 1: Obras importantes de relleno hidráulico consideradas como referencia a nivel internacional y nacional.

Table N. 1: Important hydraulic filling works considered as reference at international and national level

Sitios	Volumen Millones (m3)	Espesor (m)
Aeropuerto de Hong Kong	350	10-20
Isla de la Palma Dubai	90	13
Isla del Mundo Dubai	326	
Relleno hidráulico Guayaquil (Trinitaria-Guasmo)	10	1-3
Relleno hidráulico Babahoyo (Relleno Multianual)	8.5	1-3

El área de estudio está determinada por la cuenca del río Guayas y principalmente la ciudad de Guayaquil. En el presente trabajo se considerará el análisis de la experiencia en los proyectos de rellenos hidráulicos ejecutados en el área de estudio, detallando los más importantes como son el relleno hidráulico de la Trinitaria y el Guasmo en el año 1990, el relleno hidráulico de Babahoyo en el año 1990, 2010-2016 y el futuro relleno hidráulico en la ciudad de Durán.

El objetivo principal de esta publicación es difundir y dar a conocer las obras de relleno hidráulico, que por ser muy especializadas, son poco conocidas por los técnicos a nivel local; esta investigación permitirá identificar procesos de planificación, control y ejecución de este tipo de obras a nivel nacional los mismos que deben ser observados por los organismos responsables como: Autoridades Seccionales, Secretaría de Riesgos, Secretaría Nacional del Agua, Ministerio de Transporte y Obras Públicas, Colegios Profesionales y demás instituciones involucrados en este tipo de actividades a nivel nacional.

Mediante esta investigación se pretende evaluar los casos reales de obras de relleno hidráulico en el área de influencia que corresponde a la cuenca del río Guayas, para poder determinar los tipos de afectación que

por el dragado se podrían presentar en los cauces fluviales.

Finalmente se plantea una propuesta con los procesos de estudios mínimos requeridos para la ejecución de rellenos hidráulicos con la finalidad de no afectar el cauce fluvial por el material excavado (dragado) que se extraería para ser colocado en el relleno hidráulico en obras de interés social.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con la finalidad de realizar un análisis de los documentos e informes técnicos existentes de los trabajos de dragado y relleno hidráulico en las inmediaciones del río Guayas y Babahoyo, se ha determinado el siguiente diagrama de flujo mediante el cual nos permitirá identificar las diferentes fases a seguir, para realizar el análisis de los trabajos de relleno hidráulicos, en Ecuador; hasta obtener una propuesta de procesos de estudios mínimos para no afectar el cauce fluvial en obras de relleno hidráulico, que pueden ser implementados para los futuros trabajos de dragado y relleno hidráulico en el país.

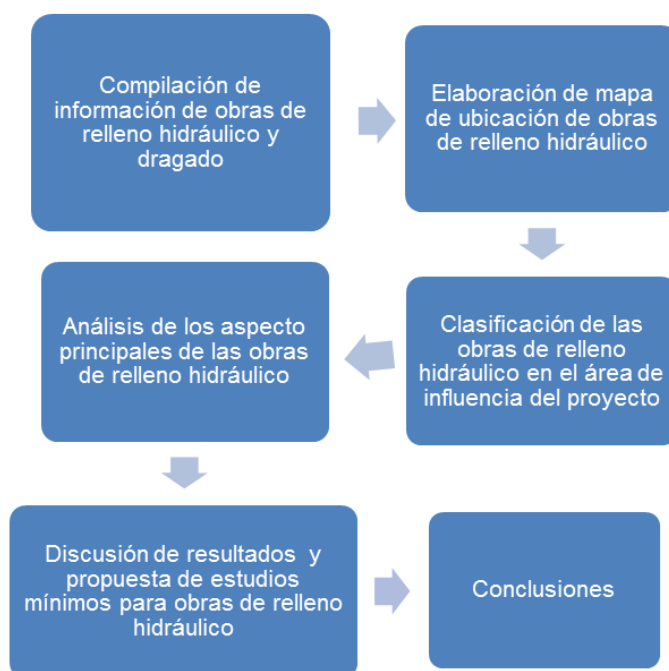


Diagrama 1: Metodología para el análisis de los trabajos de relleno hidráulico en el Ecuador y generación de una propuesta para disminuir el impacto en la excavación de los cauces.

Diagram 1: Methodology for the analysis of hydraulic filling works in Ecuador and generation of a proposal to reduce the impact on the excavation of the channels.

I. Compilación de información de obras de relleno hidráulico y dragado

Para esta investigación inicialmente se ha procedido a buscar y recopilar información existente de las experiencias de relleno hidráulico y obras de dragado a nivel nacional, se seleccionó los proyectos más importantes.

En el país existe poca información documentada de los proyectos de relleno hidráulico, el Servicio de Dragas de la Armada del Ecuador ha sido el ente ejecutor de estos trabajos. Las experiencias de los trabajos de dragado y relleno hidráulico se encuentran en informes, memorias técnicas donde se detallan la siguiente información:

- Documentación administrativa que permiten el inicio de los trabajos.
- Términos de referencia técnicos para el trabajo de dragado y relleno hidráulico

- Informes técnicos de planificación de los trabajos a realizar previa la determinación área del trabajo
- Informes técnicos resultantes de los trabajos de campo
- Memorias técnicas donde se encuentran los resultantes de los trabajos efectuados y el cierre del proyecto
- Información estadística se encuentra en la base de datos de SEDRA

II. Elaboración de mapa de ubicación de obras de relleno hidráulico

Desde su inicio el Servicio de Dragas, ha orientado el relleno hidráulico al ámbito netamente social para zonas sujetas a inundaciones, de los cuales podemos citar a las obras más grandes del relleno hidráulico; El relleno hidráulico de Babahoyo y Barreiro en la provincia de Los Ríos las que cubrieron las dos terceras partes de los barrios suburbanos de la ciudad de Babahoyo y de Barreiro, el relleno de los barrios suburbanos de la ciudad de Machala

en la provincia del Oro; merece especial atención el relleno hidráulico realizado en los suburbios de la ciudad de Guayaquil, en la Isla Trinitaria, Barrios de las Malvinas y Fertisa. Estos proyectos fueron trabajados con un volumen superior a 10 millones de metros cúbicos y finalmente se podría citar el proyecto más reciente que está en etapa de ejecución que corresponde al relleno hidráulico en zonas de desarrollo urbano social del cantón Durán con material proveniente del Río Guayas en el sector Adyacente al Islote El Palmar (CMAE, 2013). Con el uso de cartografía base del mapa de las cuencas hidrográficas nacionales publicado por el INAMHI en el

año 2012, se procedió a ubicar geográficamente las principales obras de Relleno Hidráulico ejecutadas en el Ecuador mediante el uso de Arc-Gis con la herramienta de ploteo de puntos y mediante la simbolización se procedió a representar los puntos de Intervención, en el mismo, donde el tamaño del símbolo varía en función del volumen establecidos en la tabla N.2

Para la generación del mapa de ubicación de puntos de dragado nacional que se muestra en la figura 2, se han seleccionado las principales obras de relleno hidráulico descritas en la tabla 2 que corresponden al área de estudio.

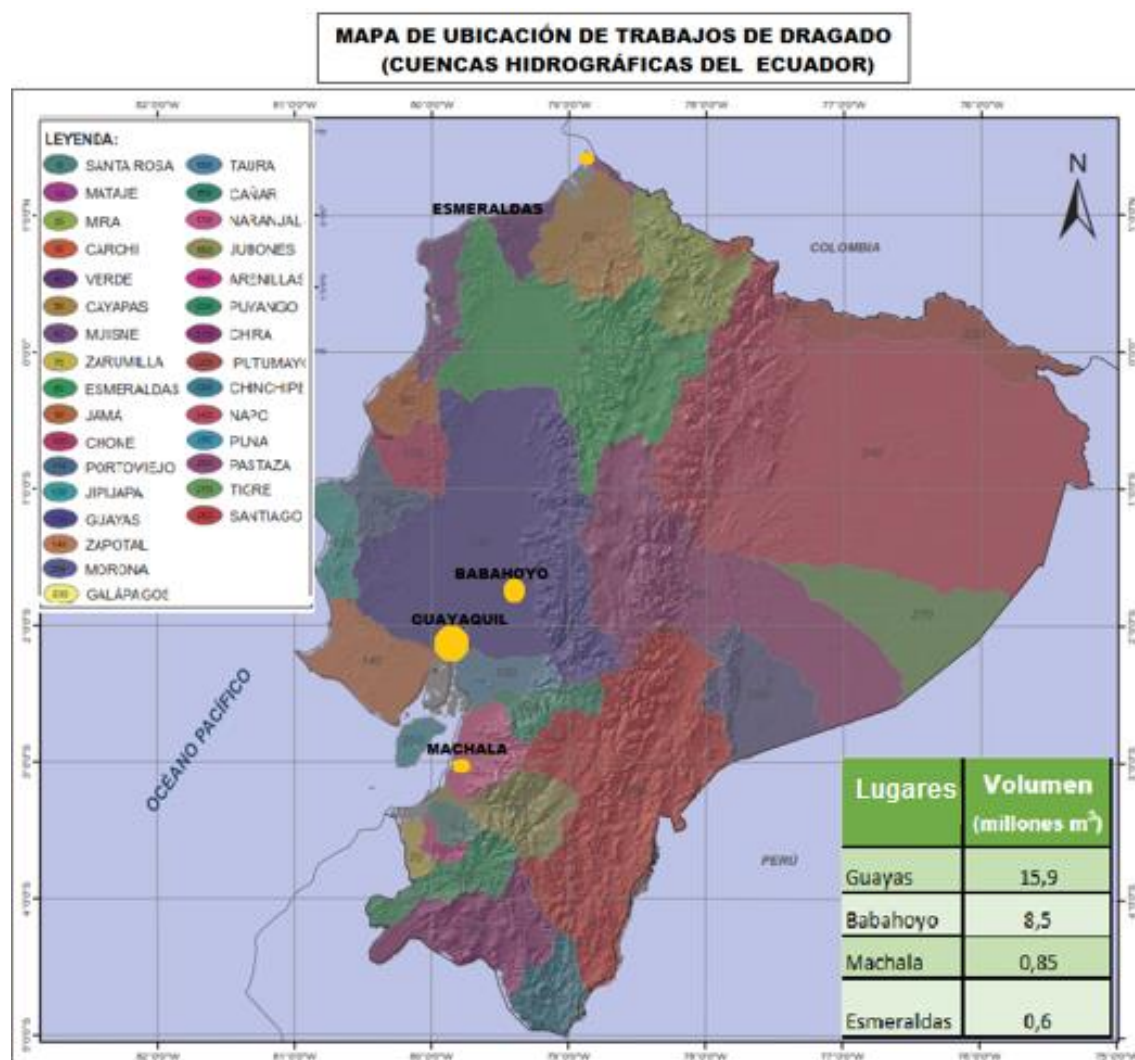


Figura 2. Mapa de ubicación de obras de relleno hidráulico en Ecuador (Mayores a 0.5 millones de metros cúbicos). (Base cartográfica: Cuencas Hidráulicas del Ecuador INAMHI, 2012)

Figure 2. Location map of hydraulic filling works in Ecuador (Greater than 0.5 million cubic meters). (Cartographic base: hydrology Basin map INAMHI, 2012)

Tabla 2: Principales obras de relleno hidráulico y de dragado a nivel nacional
Table .2: Main hydraulic and dredging works at the national level

PROYECTO/LUGAR	VOLUMEN	PERIODO	RÍO-ARENA
Plan Piloto Guayaquil, Isla Trinitaria y los Guasmos, Malvinas	10 millones	1992-1993	1. Estero salado/sector cuarentena 2. Río Guayas frente a Santay.
Durán	1.4 Millones	1982-1983	Río Guayas
Durán	4.5 Millones	Contratado /2018	Río Guayas Confluencia: Daule y Babahoyo
Machala	0.85 Millones	1992-1998	
Babahoyo etapas I a IV y Barreiro	4 Millones	1986-1995	Río Babahoyo
Babahoyo/Zona 6	0.5 Millones	2007-2008	Río Catarama /Río San Pablo
Babahoyo/Integral	4 Millones	2008-2013	Río Catarama/Río Babahoyo
Relleno Zona Norte de Esmeraldas para poblaciones fronterizas	0.6 Millones	Propuesto en 2008/ no ejecutado	Esteros y Zonas Costeras

III. Clasificación de la información de las obras de relleno hidráulico en el área de influencia del proyecto

Para el análisis de esta investigación se ha compilado informes, datos y estadísticas de las 3 obras más importantes del país del área de estudio como son:

- El relleno del Suburbio y Trinitaria de la ciudad de Guayaquil en el año 1990.
- El relleno hidráulico integral de la ciudad de Babahoyo del año 1990, 2010 – 2016.
- El relleno hidráulico que está en fase de ejecución de Durán mediante el dragado del río Guayas frente a la ciudad de Guayaquil año 2018.

IV. Análisis de obras de relleno hidráulico en el área de influencia del proyecto

Metodología de Análisis

Para el análisis de las obras de relleno hidráulico de esta investigación se han considerado el efecto del dragado para cada

uno de los tres casos de estudio (2 en el río Guayas y 1 en el río Babahoyo), se evalúa la afectación de estabilidad de los taludes desde el punto de vista geológico, hidráulico y geotécnico.

Para el caso del río Babahoyo en el análisis se evalúa el comportamiento hidráulico en función del dragado con información de estudios de carácter geotécnico e hidráulico. En el caso del río Guayas de forma similar que el río Babahoyo se evaluó el comportamiento geotécnico e hidráulico con información general de tipo cualitativo, ya que por ser un río de rivera ancho no presenta afectaciones importantes en el talud, por tanto, no se requería de un análisis de estabilidad considerando la distancia del dragado en relación a la línea de la orilla del río.

Se realizó un diagnóstico desde el punto de vista geotécnico y geológico de cada río en estudio. El diagnóstico se basó en el movimiento de material desde el fondo producto de los trabajos de la draga, que una vez succionado el material lo descargo en las orillas realizando el relleno hidráulico.

1. Análisis del relleno hidráulico en el Suburbio de Guayaquil y de la isla Trinitaria.

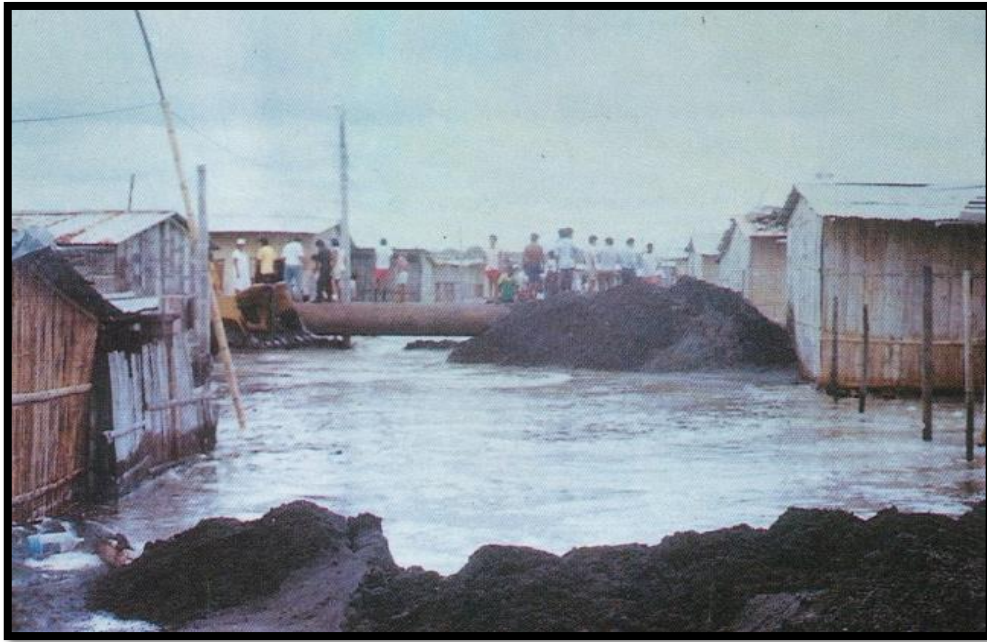


Figura 3. Fotografía del sector sur de la ciudad de Guayaquil antes del relleno hidráulico. Fuente SEDRA
Figure 3. Photograph of the southern sector of the city of Guayaquil before the hydraulic filling. SEDRA Source

Los trabajos de dragado del río Guayas frente a Guayaquil en el sector sur de la ciudad (Figura 3), se presume que la sección de dragado no tuvo ningún efecto en los taludes debido al ancho del cauce del río; sin embargo, pudieron existir afectaciones por erosiones de tipo local, que se realizan por el cambio de morfología en el cauce ocasionado por el dragado y el patrón de circulación de las corrientes.

Para la etapa de planeación de este proyecto de dragados que se realizó en el año 1992, no se tiene registros de un estudio hidráulico y de aportes de sedimentos de este sistema fluvial ni tampoco se tienen registros de monitoreo de los cambios morfológico del cauce posterior a la ejecución del dragado, probablemente debido a que la dimensión de la excavación por el dragado fue de poco impacto considerando las grandes dimensiones del sistema estuarino en esta sección del río.

Geológicamente se trata de un ambiente netamente estuarino deltaico por la descarga del río Guayas en el Golfo de Guayaquil y el efecto de las mareas en la descarga del

sistema fluvial Guayas, predominan procesos acumulativos que forman bancos arenosos, limos arcillosos, múltiples islotes y canales propios de las geoformas deltaicas.

2. Análisis del relleno hidráulico de Babahoyo

En la figura 4 se visualiza los puntos de dragado para el relleno hidráulico de Babahoyo. La obra se ubica en la parte central de la región costa donde predominan depósitos aluviales de la plataforma Babahoyo en el sector de la confluencia del río Catarama y San Pablo que son tributarios al río Babahoyo que descarga en el Golfo de Guayaquil a través del río Guayas. Localmente los ríos presentan condiciones mendriformes con zonas erosivas en los meandros y zonas deposicionales en las zonas inter-meándricas.

Por ser una zona de transición entre sierra y costa, el cauce no es tan amplio, por lo que en la planeación de este proyecto si se requirió estudiar el efecto del dragado en la estabilidad de los taludes.

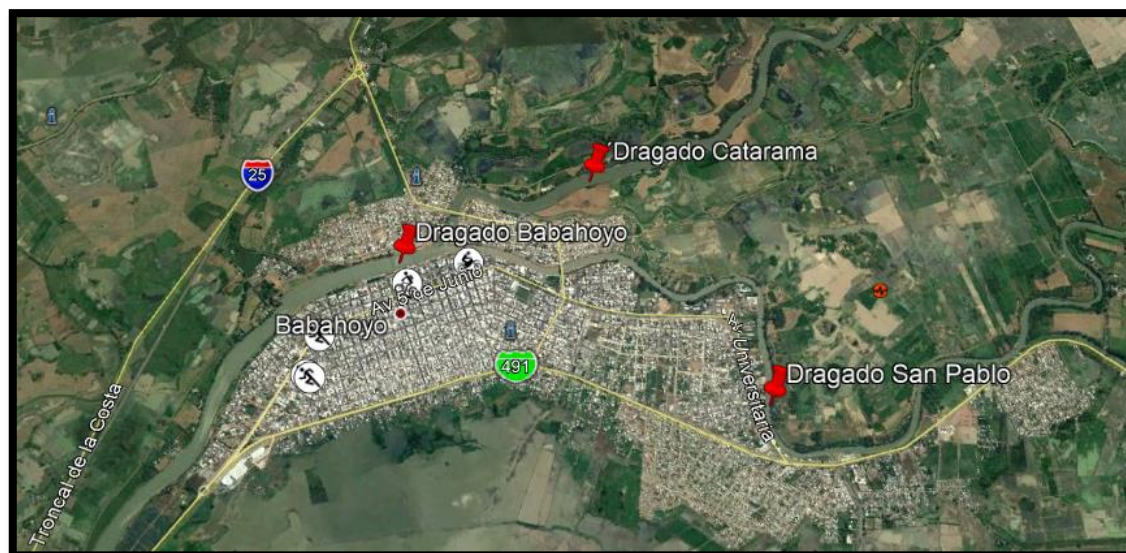


Figura 4. Ubicación de áreas de dragado para el Relleno de Babahoyo.
Figure 4. Location of dredging areas for the Babahoyo Landfill. Own source

De acuerdo a la experiencia del dragado realizado por el SERDRA, se evidenció que el efecto del dragado en la hidráulica de la pendiente del río fue sólo de tipo puntual, ya que a pesar de ser una excavación del lecho, la longitud de dicha excavación fue limitada por lo que el aumento de profundidad produjo un aumento de la pendiente del río localmente en la sección donde inicia la excavación y poca distancia aguas arriba, este fenómeno si se pudo evidenciar durante el control batimétrico de este proyecto, pero fue muy leve y de poca duración, por lo que no se estableció ninguna afectación importante en las orillas por el dragado; sin embargo que se evidenció durante los años de ejecución del dragado ciertos efectos de socavación de tipo local, estos fueron atribuidas a las fuertes condiciones de la estación lluviosa, sin desmerecer que pudo tener cierta influencia el dragado.

De forma contraria, en el sector aguas abajo de la excavación del dragado, se presentó una especie de trampa de sedimentos, lo que permitió que la sección se vuelva a sedimentar rápidamente, debido a la capacidad de transporte de sedimentos del río en este sector. Por lo que el aumento de

la profundidad fue sólo momentáneo, donde se observaba que la sección recuperaba su condición inicial en el periodo de 1 año en que se volvió a monitorear el área de dragado; debido a la gran carga de sedimento que llevan los ríos Babahoyo y Catarama; o sea que cualquier efecto positivo o negativo, de la excavación en dichos ríos es de corta duración, por la capacidad de regeneración del fondo.

En este caso los ríos Babahoyo y Catarama por ser ríos con mucha capacidad de regeneración del fondo, las variaciones hidráulicas fueron de tipo leve y se estima que sólo un dragado muy significativo y de corta duración de la sección del río podría producir efectos importantes. De forma contraria el río San Pablo presenta una sección estrecha y con muy poca capacidad de recuperación de fondo, que se presume se debería a la probable retención de los sedimentos, en una obra de control aguas arriba de la zona de estudio (Figura 5); por tal motivo, el río San Pablo fue muy sensible a las afectaciones por el dragado, por lo que la mayor parte del dragado se concentró en los ríos Catarama y Babahoyo.



Figura 5. Compuertas para controlar el flujo de agua en verano del río las Juntas,
Figure 5. Gates to control the water flow in summer of Las Juntas River, own source

2.1 Análisis del río Babahoyo y Catarama en Babahoyo

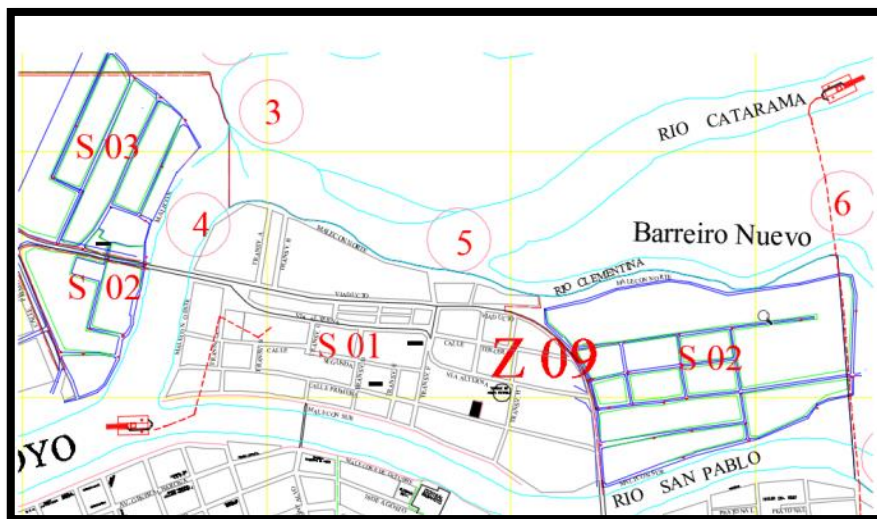


Figura 6. Ubicación de la draga en el río Babahoyo y río Catarama.
Figure 6. Location of the dredge on the Babahoyo river and Catarama river.

En la figura 6 se visualiza la ubicación de la draga en los ríos Babahoyo y Catarama. El perfil longitudinal del río Babahoyo nace de la unión del río San Pablo con el río Catarama y finaliza cerca del sector de Peña Colorada aguas abajo con una longitud aproximada de 4 mil metros. El ancho del cauce varía entre 150 y 190 metros. Se puede observar en los perfiles que el eje principal del canal (de mayor profundidad)

es muy inestable al pasar de un lado al otro o al centro del cauce. El trayecto del río es Poco sinuoso.

El perfil longitudinal del río Catarama se midió desde aproximadamente 2.5 Km aguas arriba de la confluencia con el río San Pablo. El ancho del cauce es muy variable desde 90 metros en su sección más angosta (aguas arriba en su posición más alejada) cambiando de forma errática alcanzando

valores máximos de 130 metros de ancho en las partes más amplias. Se pudo observar en los perfiles que el eje principal del canal (de mayor profundidad) es muy inestable al pasar de un lado al otro o al centro del cauce. El trayecto del río es moderadamente sinuoso y cambiante.

En la figura 7 donde se presentan las secciones transversales del río Catarama y de acuerdo a la experiencia del relleno hidráulico realizado en el año 2007, la mayor cantidad del material se extrajo del sector cerca de la desembocadura del río Catarama en el Babahoyo, realizándose

excavaciones mayores a 7 metros según se muestra en la figura con color azul el perfil luego del dragado. En la misma gráfica se puede apreciar el perfil un año después del dragado con color rojo donde se observa que el fondo había recuperado en un año, prácticamente, su profundidad natural; por lo que se evidencia el poco tiempo de recuperación que requiere la sección de este tipo de ríos para recuperar su profundidad natural después del dragado, lo que lo convierte en una cantera natural que viabiliza las obras de relleno hidráulico.

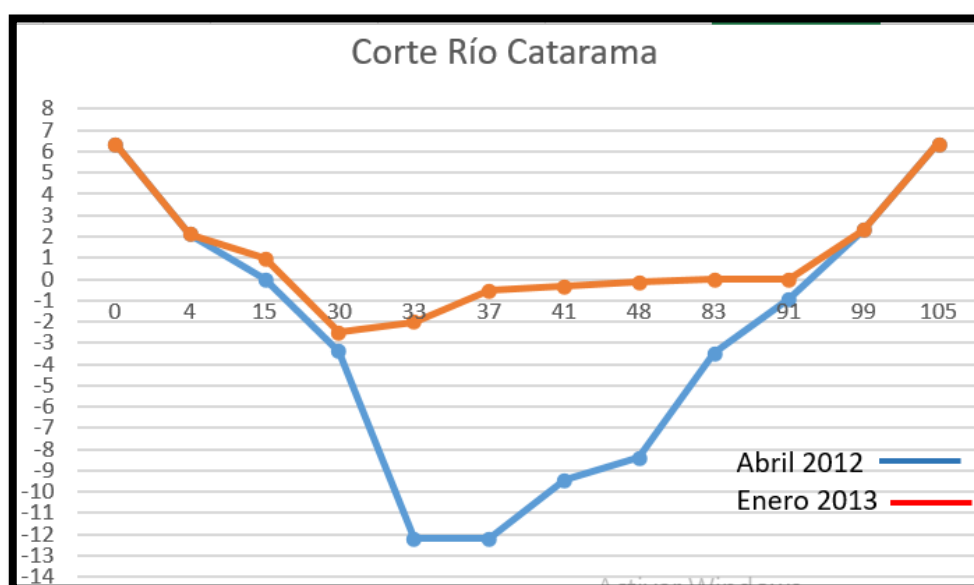


Figura 7. Secciones del río Catarama entre el 2012 y 2013 posterior al dragado. Fuente Dragas
Figure 7. Sections of the Catarama river between 2012 and 2013 after dredging. SERDRA source

2.2 Análisis del río San Pablo en Babahoyo

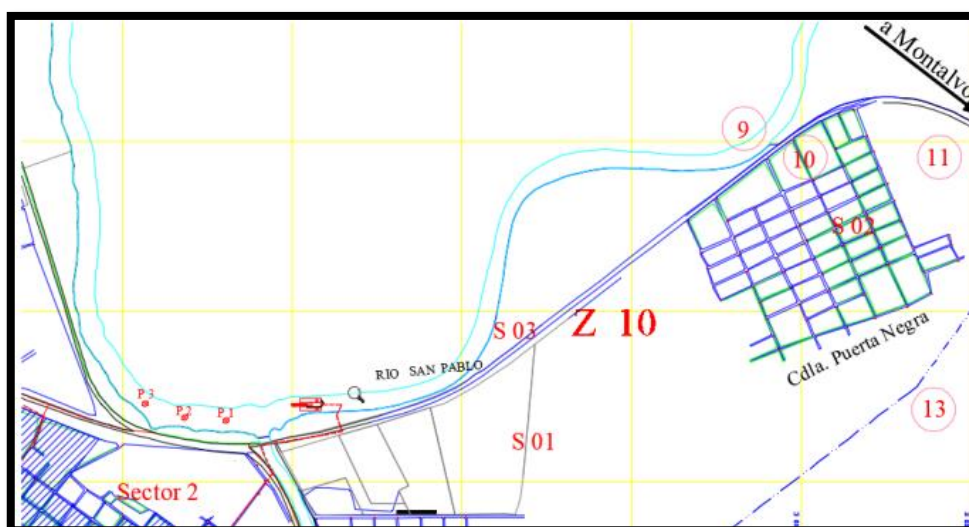


Figura 8. Plano de ubicación de la draga en el río San Pablo. Fuente Dragas
Figure 8. Map of the location of the dredge on the San Pablo River. SERDRA source

En la figura 8 se encuentra la ubicación de la draga en el río San Pablo. El perfil longitudinal del río San Pablo se midió desde la ciudadela de Puertas Negras hasta la confluencia del río San Pablo con el río Catarama aguas abajo; Este tramo tiene una longitud de aproximadamente 6.500 metros. El ancho del cauce de este río es de aproximadamente 80 metros en la mayor parte de su recorrido, siendo más angosto aguas arriba cerca de Puertas Negras donde su ancho es aproximadamente 60 metros. Se pudo observar en los perfiles que el eje principal del canal (de mayor profundidad) es muy inestable al pasar de un lado al otro o al centro del cauce.

En cuanto al río San Pablo, la característica de este río, reportada por las personas que trabajan en el dragado y moradores del sector, es que la capacidad de sedimentación y por ende la carga de sedimentos es muy baja. No se encontró información de algún estudio del transporte de sedimentos de este río, sin embargo, de la investigación realizada se determinó que existe una obra de riego realizada por CEDEGE que incluye un embalse con compuertas para controlar el río las Juntas (Figura 5), entre las poblaciones de Babahoyo y Montalvo. Cabe resaltar que en dicha obra hidráulica se presenta el problema de la sedimentación del reservorio, por lo que se presume que el motivo para la baja carga de sedimentos cerca de la ciudad de Babahoyo es que gran cantidad de éstos se queda depositada en dicha estructura.

3. Resultado del análisis del efecto del proyecto de relleno hidráulico de Durán por el dragado del río Guayas en el sector del Islote El Palmar

El ambiente geológico corresponde a depósitos aluviales de la Cuenca de deposición Guayas, afectada estructuralmente por la falla Guayaquil-Babahoyo-Santo Domingo. Se trata de un estrecho paso de unos 2000 metros entre el cerro Santa Ana y el cerro las Cabras de

Durán que son cerros testigos formados por los materiales rocosos que constituyen las estribaciones orientales de la cordillera Chongón Colonche, este paso restringe el sistema fluvial del Río Guayas compuesto por la confluencia del río Daule y Babahoyo en el sector de la puntilla pero con predominio del río Babahoyo que tiene un ancho de cauce de aproximadamente 3 veces el ancho del río Daule, en este ambiente geomorfológico se ha formado un islote de unos 300 metros de ancho y 600 metros de longitud, ubicado hacia la margen derecha del río Guayas debido al predominio del tributario principal que es el río Babahoyo.

Desde el punto de vista del Relleno hidráulico, los ríos Babahoyo y Daule, en su confluencia, se constituyen en una fuente casi inagotable de sedimento gracias al aporte de sedimentos del sistema fluvial Babahoyo- Daule y al control hidráulico que representa el estrecho paso entre el cerro Santa Ana y el cerro las Cabras. En comparación a la alta tasa de sedimentación del río Babahoyo y Daule los volúmenes a extraer con dragado resultan de muy poco impacto en el comportamiento hidráulico e incluso se podría esperar una recuperación del fondo del cauce en muy poco tiempo.

Por ser una zona de deposición y de cauce amplio, la operación de dragado no tendría un impacto significativo en la estabilidad de las orillas, sin embargo si podría haber afectaciones por erosiones de tipo local, ocasionado por cambiar la morfología del cauce y por tanto el patrón de circulación de la corriente. Sería recomendable realizar un estudio recurrente de batimetrías con periodicidad trimestral, durante y posterior a la ejecución del proyecto de dragado para evaluar los resultados de los estudios realizados y estar prevenidos a los cambios en la morfología del cauce posterior a la ejecución del mismo.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Propuesta de procesos de estudios mínimos necesarios para no afectar el

cauce fluvial por el proceso de dragado en obras de relleno hidráulico.

i. Estudio para determinar la forma natural del cauce y los taludes:

Levantamiento topo batimétrico del cauce para establecer secciones o perfiles del río, al menos cada 50 metros para conocer la sección en estado natural antes de ser dragado.

ii. Estudio para determinar el perfil de corte transversal del proyecto de dragado a lo largo del cauce:

Determinar la sección mínima de dragado necesaria para cubrir el volumen de relleno hidráulico requerido en el proyecto; considerando que la fuente de material o cantera para poder suplir la necesidad de material del proyecto de relleno hidráulico sería el volumen excavado mediante el dragado del área a ser intervenida.

iii. Estudio de afectación de las secciones y taludes del área intervenida con el dragado para el caso de canales muy anchos.

Se considera el canal muy ancho para el caso que la sección de dragado pueda mantener un retiro de la orilla sin afectar directamente la estabilidad del talud de la margen.

Al evaluar la estabilidad del talud del dragado; para el caso de sección muy ancha, como lo analizado en el Río Guayas frente a Guayaquil, la sección a dragar no tendría efecto en los taludes por lo ancho del cauce; sin embargo, si podría haber afectaciones por erosiones de tipo local, ocasionado por el cambio de la morfología del cauce y por tanto el patrón de circulación de la corriente, para lo cual se requerirá realizar un estudio hidráulico y de aportes de sedimentos del sistema fluvial que podrían realizarse mediante un modelo o corrida de un software de modelación hidráulica y

morfológica en el cual se calibraría el modelo con las condiciones sin dragar durante el monitoreo del área de estudio en un periodo de al menos 6 meses y luego se evaluarían los cambios del cauce generados por el dragado y además considerando todas las condiciones de frontera como morfología del cauce, mareas, corrientes, tipos de sedimentos, etc.

Una alternativa sería el desarrollo de un modelo reducido para la estimación de la respuesta del sistema fluvial, en el caso de no tener los recursos suficientes para realizar el modelamiento hidráulico detallado previo a la ejecución del proyecto de dragado, luego se podría realizar un estudio recurrente de batimetrías con periodicidad trimestral posterior a la ejecución del dragado para evaluar el modelo reducido y estar prevenidos a los cambios en la morfología del cauce posterior a la ejecución del mismo.

iv. Estudio de afectación de las secciones y taludes del área intervenida con el dragado para el caso de canales poco anchos:

Canales poco anchos se considera para el caso en que la sección de dragado no pueda mantener un retiro de la orilla y pueda afectar de forma directa a la estabilidad del talud

- **Exploración de suelos:** para estabilidad de taludes de las orillas se propone contar con al menos un sondeo para cada tramo de 500 metros de orilla en uno de los márgenes del río, cuya perforación alcance una profundidad que sea al menos un 50% mayor que la profundidad de dragado, considerando que podría desarrollarse una falla de fondo del talud. Adicionalmente se propone considerar los siguientes estudios de laboratorio: Clasificación y caracterización geo-mecánica de resistencia de los materiales (Ensayo de corte directo). Finalmente se sugiere la exploración de suelos en el fondo del cauce, mediante

calicatas cada 500 metros para determinar el espesor del material, tamaño y tipo de material que transporta el río y que serviría como cantera para el relleno hidráulico.

- **Modelación:** En el caso de secciones de cauce estrecho, una vez que se establezca la sección de dragado, se deberá realizar una modelación con el método de estabilidad de taludes basado en el principio de equilibrio límite (Ejemplo software geoslope o similar) en el cual deberá considerarse un factor de seguridad de al menos 1.5.

v. Estudio para evaluar la capacidad natural del cauce a regenerarse después del dragado del mismo:

- El estudio para evaluar la capacidad de re-sedimentación del sector intervenido por el dragado deberá basarse en los siguientes criterios:
 - a) Determinar si existen obras de infraestructura u obstrucciones naturales que retengan el sedimento aguas arriba.
 - b) Evaluar la capacidad de re-sedimentación del área en base a su condición geológica y geomorfológica considerando si es un sector de deposición o de erosión y evaluando la magnitud y capacidad del cauce para transportar sedimentos, considerando la relación entre la pendiente del cauce y el diámetro del material transportado por el mismo. Este análisis determinará la recurrencia que se puede tener para realizar rellenos hidráulicos en el área de estudio.

vi. Estudio para evaluar el riesgo y vulnerabilidad de tipo local que podría generarse por el aumento de la pendiente local del cauce en la sección próxima aguas arriba del tramo del río intervenido por el dragado.

- Realizar una evaluación de la vulnerabilidad de las orilla y en el lecho del cauce que se establecería por la existencia de obras de arte como pilas de puente, malecones o asentamientos poblacionales cerca de la orilla en la zona aguas arribas próxima a la zona de dragado hasta unos 100 metros, que se afectaría por el aumento de la pendiente que genera el área de dragado.
- Prever para la fase de ejecución la realización de un monitoreo mediante batimetrías recurrentes de las zonas más vulnerables; para que mediante el monitoreo periódico de las secciones excavadas disminuir el riesgo ante la posibilidad excavación excesiva por dragado o por un proceso erosivo de tipo local.
- Se plantea que en la fase de ejecución del dragado se controle que la excavación se realice respetando la sección de diseño mediante un control eficiente en la operación de la draga y mediante el monitoreo periódicos de batimetrías en el tramo del área intervenida.
- Finalmente en el caso no deseado de detectar alguna afectación del talud en una zona vulnerable se recomienda considerar, en los presupuestos de ejecución de la obra, un rubro de contingencia que permita que se realicen trabajos de estabilización de forma oportuna.

CONCLUSIONES

Se ha presentado las principales obras de relleno hidráulico que se han realizado en el Ecuador, mediante un mapa geográfico de ubicación de obras de relleno hidráulico superiores a 0.5 millones de m³ en relación a las cuencas hidrográficas a nivel nacional, evidenciándose que las más importantes se encuentran en la Cuenca del río Guayas, específicamente en el río Babahoyo en la ciudad de Babahoyo con un volumen acumulado de 8.5 millones de m³ y en el río Guayas entre las ciudades de Guayaquil y Durán con un volumen acumulado de 11.5 millones de m³ más un proyecto que está en

ejecución por 4.5 millones de m³ en la inmediaciones del Islote El Palmar.

Se ha evaluado las experiencias de relleno hidráulico en la Cuenca del río Guayas, en función de lo cual se pretende enriquecer el criterio técnico en la identificación de los procesos de planificación, control y ejecución de este tipo de obras a nivel nacional por los organismos responsables.

Se ha propuesto, para la fase de planeación de proyectos de relleno hidráulico (dragado), ciertos estudios mínimos requeridos específicamente con la finalidad de no afectar el cauce fluvial por el material excavado.

Se ha caracterizado geológicamente el área de estudio donde se han evidenciado las diferencias de los 3 puntos analizados:

1. El río Babahoyo en Babahoyo se ubica en la parte central de la región costa donde predominan depósitos aluviales de la plataforma Babahoyo.
2. Aguas abajo en la confluencia del río Babahoyo con el Daule, el ambiente geológico corresponde a depósitos aluviales de la Cuenca de deposición Guayas, en el cual el cauce es controlado por un estrechamiento del cauce de unos 2000 metros entre el cerro Santa Ana y el cerro las Cabras de Durán.
3. Finalmente, aguas abajo del estrechamiento, frente al centro y sur de la ciudad de Guayaquil geológicamente se trata de un ambiente netamente estuarino deltaico por la descarga del río Guayas en el Golfo de Guayaquil y el efecto de las mareas en la descarga del sistema fluvial Guayas, predominan procesos acumulativos que forman bancos arenosos y limos arcillosos y múltiples islotes y canales propios de las geoformas deltaicas.

AGRADECIMIENTO

Los autores del presente artículo desean expresar sus sinceros agradecimientos al

Servicio de Dragas de la Armada quienes fueron los benefactores de los datos fuentes objeto de análisis de la investigación; así como a la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil quién permitió realizar el presente proyecto de investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Armijos, M., & Montolío, T. (2008). Ecosistema Guayas (Ecuador), Medio ambiente y Sostenibilidad. *Revista. Retrieved* from <http://learningobjects2006.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/131>
- CAMAE. (2013). Problemas que afectan la Navegabilidad en el río Guayas. Guayaquil. Retrieved from <http://www.cmae.org/files/Informar/Año2013/Octubre/Articulo/Articulo.pdf>
- Constitución de la República. (2008). Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 Ecuador - Resumen y objetivos Foros Ecuador 2018. Retrieved October 18, 2018, from <http://www.forosecuador.ec/forum/ecuador/educación-y-ciencia/130556-pdf-plan-nacional-de-desarrollo-2017-2021-ecuador-resumen-y-objetivos>
- Guidelines for the beneficial use of dredged material, & T N Burt. (1996). Guidelines for the beneficial use of dredged material T N Burt, *Report SR*, 122. Retrieved from <http://eprints.hrwallingford.co.uk/855/1/SR488.pdf>
- Hinojosa, J. T. (2014). Proyecto de dragado para la rehabilitación del canal navegable del río Guayas frente a la ciudad de Guayaquil en base a estudios multitemporales. Retrieved from <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/1519>
- US ARMY. (1983b). *Disposal Alternatives (CHAPTER 4). Report* (Vol. EM 1110-2-).