

ÁREAS DE MAYOR PRODUCTIVIDAD BIOLÓGICA (CLOROFILA "a") EN EL PACÍFICO ECUATORIAL (82°W-92°W) DURANTE 1988-1999 Y SU RELACION CON EVENTOS EL NIÑO*

Por Gladys Torres*

Abstract

During 1988-1999 were carried out 23 Oceanographic Cruises on board the B/I-ORION of the Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR) in the Tropical Pacific Equatorial. The study area was a geographical location among 81°W-94°W y 2°N - 3.23°S of Ecuador. This data were contained by seasonal category, with a total of 23 cruises, 486 stations and 3187 data to chlorophyll sampling in 8 levels of depth (0, 10, 20, 30, 40, 50, 75m). The results emphasized two areas of more productivity. 1) **In Galapagos** this upwelling were presented with the high biomass of chlorophyll $>0.5 \text{ mg/m}^2$, was presented toward the south region of Galapagos. Other nucleus of 1.5 mg/m^3 among Island Isabela and Fernandina in dry seasonal. In the humid seasonal was registered two nuclei (1.0 mg/m^3), a nucleus to the west of Galapagos associated with Cromwell Current and another nucleus to Island San Cristobal southeast possibly associated with a mixture of upwelling Cromwell and Humboldt. 2) **In Gulf of Guayaquil**: it is the high estuary in profile of the South American Pacific, present nuclei among 1 to 3 chlorophyll mg/m^2 . At level subsuperficial the biggest density was located among the 0 at 30m of depth, condition that varies depending on the intensity of the area of mixtures of appeared waters and warm waters lightly. During events El Niño the chlorophyll biomass diminished with values $<0.2 \text{ mg/m}^2$, due to the discontinuity of the upwelling and/or masses of waters warm poor in nutrients. These areas of more biological productivity in chlorophyll "a" to they would be associated to the areas of more captures of fishing pelagic and of the Tuna.

Resumen

Durante 1988 a 1999 se realizaron 23 cruceros oceanográficos a bordo del B/I-ORION del Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR) en el Pacífico Tropical Ecuatorial Ecuatoriano en una ubicación geográfica entre 81°W-94°W., y desde 2°N - 3.23°S. agrupados por categoría estacional (seca y húmeda), con un total de 23 cruceros, 486 estaciones y 3127 datos de muestras de clorofila "a" obtenidas en 8 niveles de profundidad (0, 10, 20, 30, 40, 50, 75m). Los resultados enfatizaron dos áreas de mayor productividad. 1) **En Galápagos** el afloramiento fue representado con la mayor biomasa de clorofila $>0.5 \text{ mg/m}^2$, se presentó hacia la región sur de Galápagos, con un núcleo de 1.5 mg/m^3 entre Isla Isabela y Fernandina para la época estacional seca, mientras que en la época húmeda se registraron dos núcleos (1.0 mg/m^3), un núcleo al oeste de Galápagos asociado con la Corriente de Cromwell y otro núcleo al sudeste de San Cristóbal posiblemente asociado con una mezcla del afloramiento de Cromwell y Humboldt. 2) **En el Golfo de Guayaquil** principal estuario de Pacífico Sudamericano, presento núcleos entre 1 a 3 mg/m^2 de clorofila. A nivel subsuperficial la mayor densidad se ubicó entre los 0 a 30m de profundidad, condición que varía ligeramente dependiendo de la intensidad de la zona de mezclas de aguas afloradas y aguas cálidas. Durante eventos El Niño las densidades de clorofila disminuyeron con valores menores a 0.2 mg/m^2 , debido a la discontinuidad del afloramiento y/o masas de aguas cálidas pobres en nutrientes. Estos sitios de mayor productividad estarían asociados a los sitios de mayores capturas de pesca pelágica y del Atún.

* Instituto Oceanográfico de la Armada. INOCAR. P.O.BOX. 5940, Base Naval Sur-Vía Pto Marítimo, Email gtorres@inocar.mil.ec.
 Poster presentado en el Symposium International "The Colour of Ocean Data and information management with special attention to Biological, in Brussels", 25-27 November, 2002.

INTRODUCCIÓN

Las condiciones océano atmosféricas correspondientes al Pacífico Este Ecuatorial son el producto de la interacción de varias masas de agua, que inciden directamente en la componente planctónica del mar ecuatorial, localizándose surgencias con efectos positivos en incrementar la productividad biológica hacia la región Insular de Galápagos y hacia el Golfo de Guayaquil que es el principal estuario del Pacífico Sudeste (Torres y Tapia 1998). Sin embargo, durante eventos de El Niño las condiciones oceanográficas han sido severas para la región costera del Pacífico Sudeste, principalmente al Ecuador por su posición geográfica ecuatorial (Jiménez 1976; Rojas-Mendiola *et al.*, 1985; Avaria, 1984; Torres, 1998); con efectos negativos en los niveles tróficos superiores (Barber y Chávez, 1983). En la última década, las investigaciones en Oceanografía Biológica han puesto al descubierto que la composición de especies de la cadena alimenticia pelágica están íntimamente acopladas con las funciones biogeoquímicas de los océanos en la biosfera (Chisholm, 1999; Chávez *et al.*, 1999).

Todos los micro-organismos marinos de característica vegetal contienen varios pigmentos fotosintéticos, siendo la clorofila "a" el pigmento contenido en la mayoría del fitoplancton. La estimación cuantitativa de clorofila refleja la abundancia del fitoplancton o vegetales microscópicos conocidos como productores primarios, son la base de la cadena alimenticia acuática. Las mediciones de clorofila son utilizados como uno de los índices biogeoquímicos (Morel *et al.*, 1991), para monitorear su variabilidad natural en ecosistemas de afloramiento, Frente Ecuatorial, El Niño, el cual es utilizado por representar sitios de mayor productividad a macro-escala regional. La nueva era tecnológica de la oceanografía operacional, es desarrollar la aplicación de sensores remotos en el manejo costero integrado mediante imágenes satelitarias para medir y predecir los cambios en ecosistemas marinos (Donlon, 2004).

El objetivo de la presente investigación, fue diagnosticar las áreas de mayor productividad biológica en base a Clorofila "a" superficial y subsuperficial, durante la década 1989-1999 para la Región del Pacífico Tropical (Ecuador).

AREA DE ESTUDIO

El área geográfica de estudio comprende parte de la región del Pacífico Sudeste entre 81°W-94°W., y desde 2°N – 3.23°S (Fig. 1).

Durante la última década 1988-1999 se realizaron 23 cruces oceanográficos a bordo del B/I-ORION del Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR). Comprende dos épocas estacionales definidas, época seca (< temperatura por el aporte del > flujo de las Corrientes de Humboldt y Cromwell; época húmeda (> temperatura con aporte de lluvias). Durante este periodo se presentaron dos eventos El Niño 1991-93 y 1997-98.

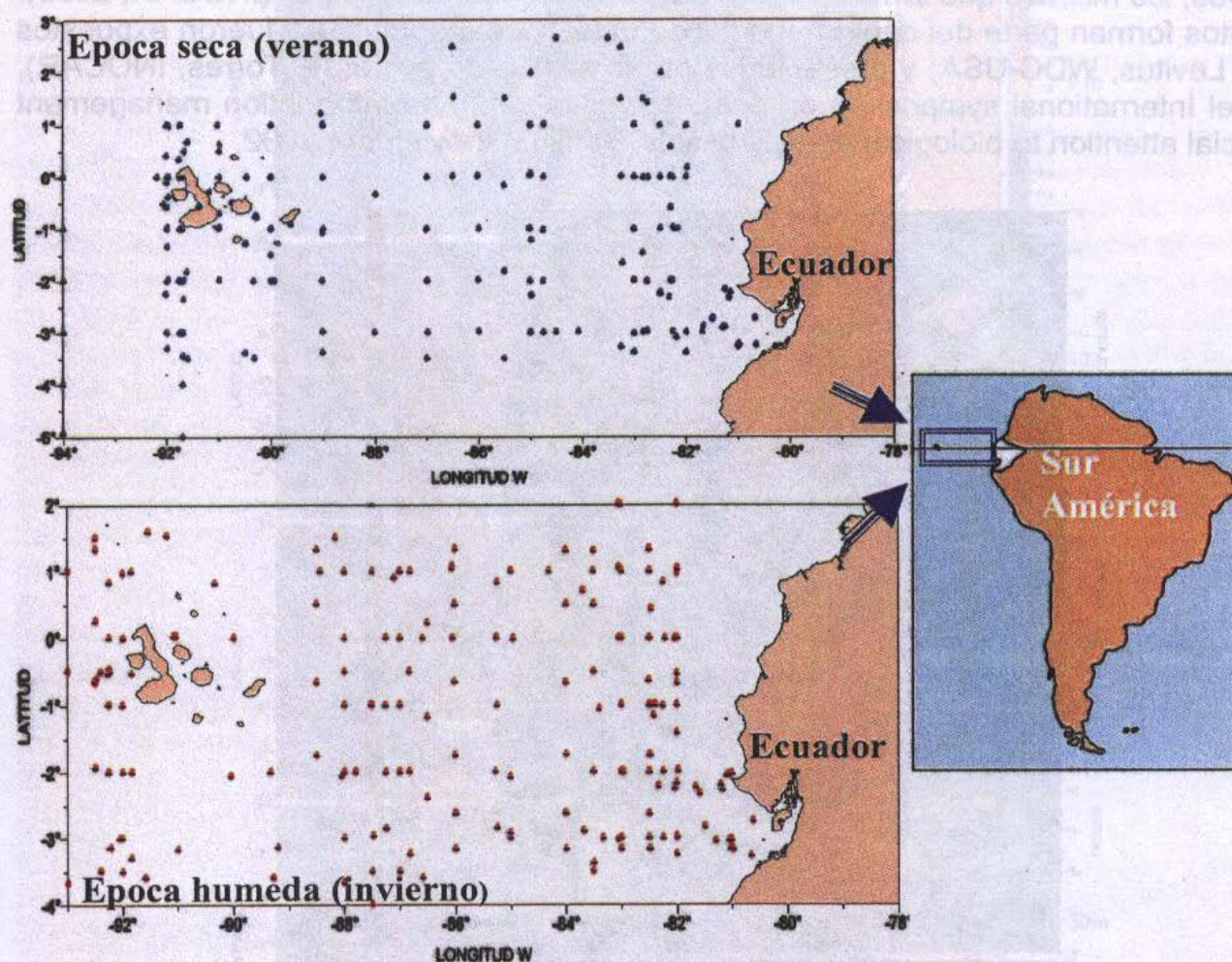


Fig. 1.- Distribución areal del área de estudio en el Pacífico Ecuatorial

PROCEDIMIENTOS

Las muestras para clorofila "a" fueron obtenidas desde una roseta multimuestreadora, muestras (un litro) de agua en los niveles de 0, 10, 20, 30, 40, 50, 75 y 100 metros de profundidad, las muestras fueron filtradas con una bomba al vacío a través de filtros de fibra de vidrio Whatman. Los filtros fueron colocados en 10 ml. de acetona al 90% en frascos de vidrio de 25ml. y cubiertos con papel aluminio bajo refrigeración por 24 horas. En un fluorómetro TURNER DESIGNS (10-005-R), se leyeron las densidades ópticas de clorofila "a", se adicionó 3 gotas de ácido clorhídrico al 5% para convertir la clorofila "a" en feopigmentos, los procedimientos y cálculos fueron estimados siguiendo la metodología de SCOR UNESCO Working Group 75 (1966).

Los datos fueron agrupados por categoría estacional. Época seca mayo-octubre: Con un total de 11 cruceros, 258 estaciones y 1650 datos. Época húmeda noviembre-abril: Con un total de 12 cruceros, 228 estaciones y 1477 datos. Las estaciones fueron tanto diurnas como nocturnas. Se utilizó un mapa digitalizado del área marítima del Ecuador, en la cual se plotearon los resultados para ambas épocas estacionales y por niveles de profundidad de 0 a 50m se diseño una imagen de color entre 0 a 2.5 mg/m³. (Fig. 2 y 3), y a profundidades de 75m y 100m se utilizó la misma imagen de colores pero con rangos

entre 0-0.5 mg/m^3 , con ayuda del programa SURFER (6.04) se realizaron los mapas respectivos, los mismos que también están publicados en formato digital (INOCAR, 2000). Estos datos forman parte del centro mundial de datos Oceanográficos y fueron expuestos (Sydney Levitus, WDC-USA) y presentados en la sesión de poster (G.Torres, INOCAR), durante el International symposium on oceanographic data and information management with special attention to biological data, Brussels, Belgium, noviembre 2002.

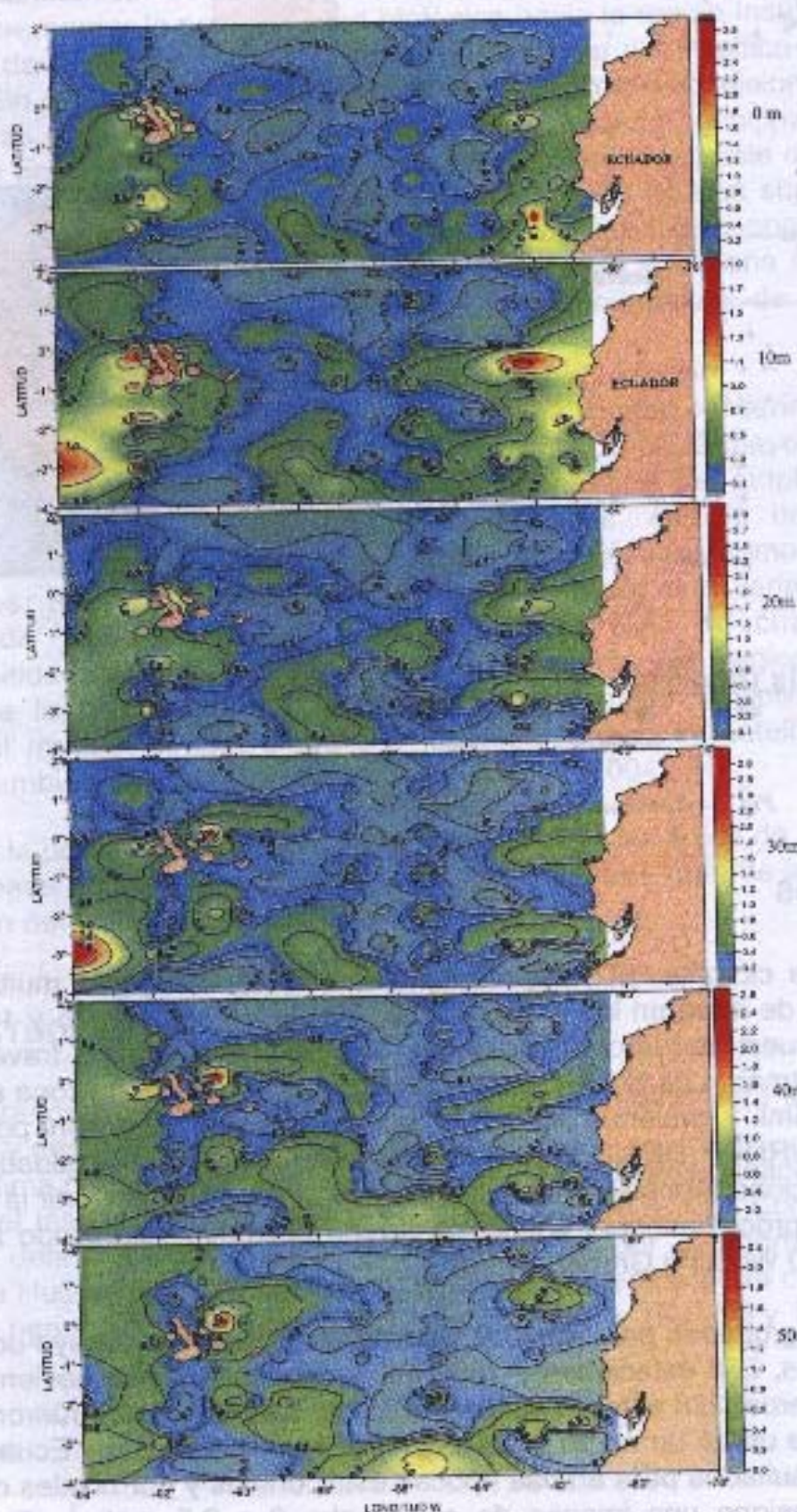


Fig. 2.- Distribución Clorofila "a" (mg/m^3) en la época estacional seca (verano) en el Pacífico Ecuatorial entre 1989 a 1999.

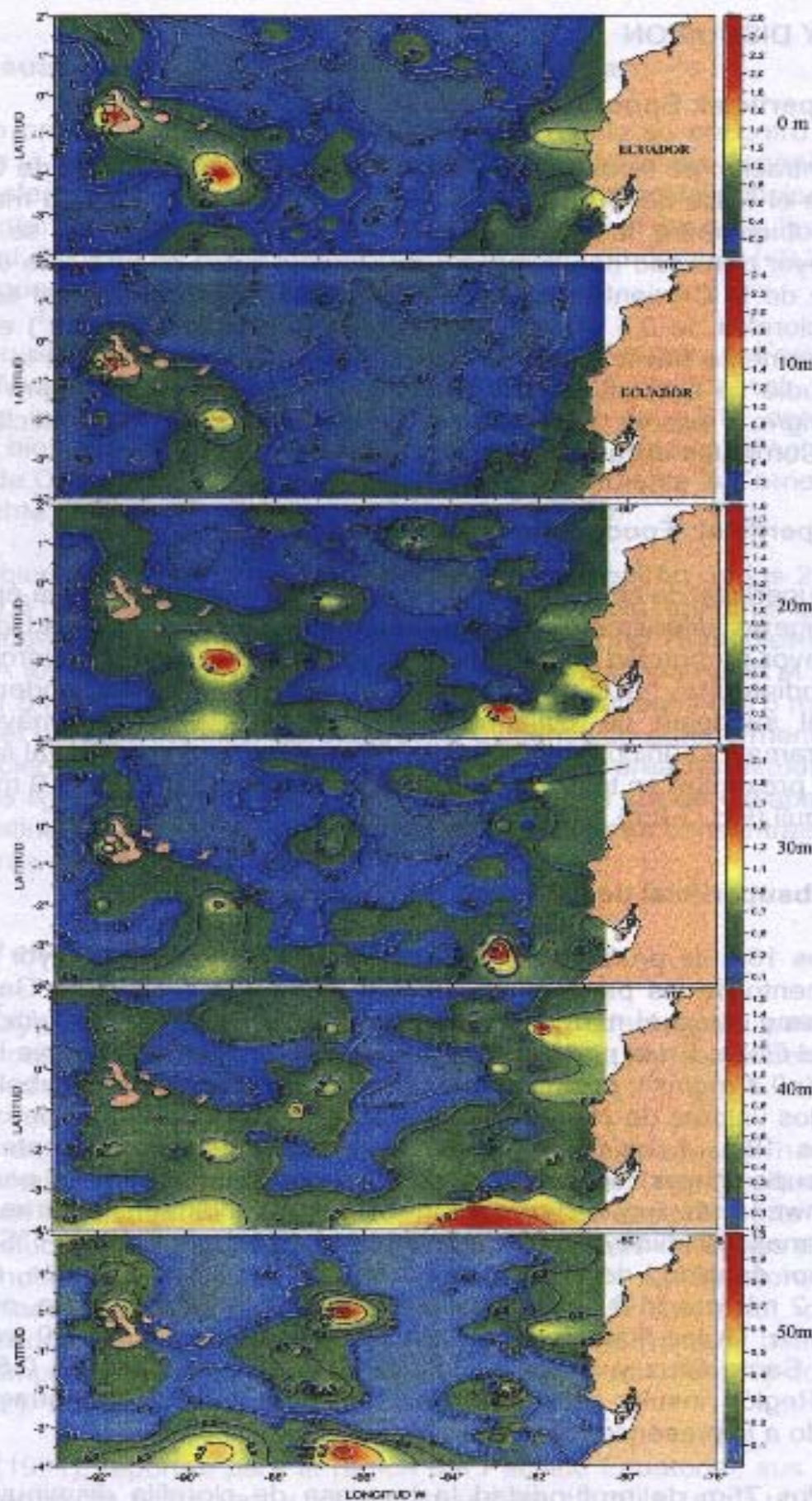


Fig. 3.- Distribución Clorofila "a" (mg/m^3) en la época estacional húmeda (invierno) en el Pacífico Ecuatorial entre 1989 a 1999.

RESULTADOS Y DISCUSION

Distribución superficial: Época seca

La mayor concentración de clorofila se evidenció hacia la región insular de Galápagos ($2-5 \text{ mg/m}^3$) y hacia el Golfo de Guayaquil ($1-1.5 \text{ mg/m}^3$). En Galápagos la mayor densidad de clorofila se ubicó entre las islas Isabela y Fernandina, también se observó una tendencia de mayor densidad ($0.5-1 \text{ mg/m}^3$) de clorofila hacia el sudoeste de Galápagos, debido al aporte de la Corriente Cromwell. Hacia el margen continental se presentaron densidades de clorofila de 0.5 mg/m^3 ; pero con un núcleo ($>1.5 \text{ mg/m}^3$) en el Golfo de Guayaquil y ligeramente hacia la Isla de La Plata 1°S (Fig. 2-0m). En la región central del área de estudio se presentaron las menores densidades ($<0.2 \text{ mg/m}^3$), con ligeros núcleos ($<0.4 \text{ mg/m}^3$) apenas perceptibles debido al proceso de mezclas del Frente Ecuatorial y las Corrientes circundantes (giros tropicales).

Distribución superficial: Época húmeda

La distribución superficial de clorofila mantiene un patrón parecido al de la época seca, sin embargo tiene ligeras diferencias. Hacia Galápagos la mayor densidad de clorofila se presentó con mayor proporción hacia el sudeste de las Islas, con dos parches uno entre Isabela y Fernandina; otro hacia el sudeste de la Isla Española. La tendencia de mayor concentración al sudoeste de Galápagos posiblemente sería un mayor aporte de Cromwell y/o al ramal oceánico de Humboldt. Hacia el margen continental las densidades de 0.5 mg/m^3 se presentan en toda esta sección, con un ligero núcleo (1.0 mg/m^3) hacia el Golfo de Guayaquil (Fig. 3-0m).

Distribución subsuperficial de Clorofila: Época seca

En el nivel de los 10m de profundidad, se mantienen dos áreas de mayor productividad, pero con incremento de los parches de clorofila hacia el sudoeste de Galápagos ($>1.0 \text{ mg/m}^3$), y lo mismo hacia el margen continental con núcleos ($>1.0 \text{ mg/m}^3$) hacia 1°S y hacia el norte del Golfo. En la parte central del área de estudio también se incrementó los ligeros parches ($<0.4 \text{ mg/m}^3$), posiblemente por el mayor aporte de Humboldt. A los 20m de profundidad los valores de clorofila tienden a disminuir ligeramente pero manteniendo el patrón de los 10m. A los 30m, tiende a incrementarse nuevamente (con valores mayores a los superficiales) sólo para la región insular, posiblemente por el aporte de pulsos de Cromwell más fuertes en este nivel de profundidad; mientras que hacia el continente la biomasa disminuye con ligeros núcleos (0.5 mg/m^3) hacia 1°S y el Golfo. A los 40m, la mayor densidad de clorofila ($<0.5 \text{ mg/m}^3$) fue hacia el oeste, norte y sur de Galápagos, con 2 núcleos ($1-1.5 \text{ mg/m}^3$) entre Isla Isabela y Fernandina, otro al norte de la Isla Santa Cruz. A los 50m, se observaron dos ligeros núcleos (1.0 mg/m^3) hacia el norte de la isla Santa Cruz y al sur de los 85°W ; las densidades de 0.5 mg/m^3 en el entorno de la Región insular estaría evidenciado que masas de aguas afloradas se mantienen debido a la presencia de Cromwell.

En el veril de los 75m de profundidad la biomasa de clorofila disminuye con ligeros núcleos (0.5 mg/m^3) hacia el este y sur de Galápagos. A los 100m sólo un ligero núcleo de 0.3 mg/m^3 se ha seguido evidenciando hacia el norte de la Isla Santa Cruz.

Distribución subsuperficial de Clorofila: Época húmeda

A los 10m de profundidad, la mayor densidad de clorofila se encontró una distribución reducida entre la Islas Isabela, Fernandina y hacia el sur de la isla Española (Fig.3). Hacia el margen costero también es reducida la biomasa de clorofila principalmente hacia el norte ($<0.2 \text{ mg/m}^3$), con núcleos entre $0.5\text{-}1.0 \text{ mg/m}^3$ hacia el sur de la línea ecuatorial. En la parte central del área de estudio la biomasa fue casi homogénea ($<0.2 \text{ mg/m}^3$), debido a masas de aguas cálidas que invaden este sector.

A los 20m, no se evidenció el núcleo de clorofila entre Isabela y Fernandina, pero se mantiene el núcleo al sur de isla Española (sudeste de Galápagos); hacia el sur del continente se incremento la biomasa ($>1 \text{ mg/m}^3$); en la parte central también se incremento la biomasa tanto hacia el norte como el sur; al parecer se notó la ausencia del afloramiento de Cromwell al oeste de Galápagos y posiblemente la Corriente de Humboldt fue más evidente su aporte hacia el sur del área de estudio.

A los 30m la biomasa tiende a disminuir manteniendo el patrón de los 20m, pero con un sólo núcleo (1.5 mg/m^3) hacia el sudeste del área de estudio, mientras que hacia el norte tiende a homogenizarse ($<0.5 \text{ mg/m}^3$), debido al aporte de Humboldt en este nivel de profundidad. A los 40m, la mayor densidad de clorofila continua hacia el sudeste del área de estudio ($<1.5 \text{ mg/m}^3$) y ligeramente hacia el sur de Galápagos ($<0.6 \text{ mg/m}^3$); otro ligero núcleo hacia el noreste del área de estudio no evidenciado anteriormente. A los 50m se observó 3 núcleos de 0.5 hacia la parte centro y sur del área de estudio. A los 75m se mantienen dos ligeros núcleos ($<0.5 \text{ mg/m}^3$), uno hacia el sur de Galápagos y otro hacia el margen continental a 1° sur. A los 100m se observó ligeras concentraciones <0.3 hacia el oeste del área de estudio.

Magnitud del afloramiento en la fertilidad marina

La zona de mayor productividad mundial es el Pacífico Sudeste, principalmente la zona de afloramiento costero peruano, situación que beneficia al ecosistema del Pacífico Ecuatorial por el aporte de nutrientes y pesca.

Los núcleos de alta biomasa clorofílica fue hacia Galápagos y hacia el Golfo de Guayaquil, estarían asociados al aporte de nutrientes por aguas afloradas, lo cual es coincidente con las zonas de mayor pesca. Los núcleos hacia la parte central oceánica del área de estudio, posiblemente serían avances de masas de aguas del oeste hacia el continente conocidas como ondas Kelvin o advecciones de aguas afloradas atrapadas, o estarían asociadas al ramal oceánico de la Corriente de Humboldt, por el aporte de nutrientes subsuperficiales. Los componentes nutricionales hacia el oeste de Galápagos durante el tiempo de esta investigación fueron altas para nitrato y fosfato (Burgos y Palacios, 2002).

Morel et al., (1991), reportan para la región del Pacífico Ecuatorial, sus aguas contienen alta concentración de nutrientes y baja biomasa de clorofila ($<0.5 \text{ ug/L}$) dominado por fitoplancton pequeño. El promedio superficial de clorofila para el Pacífico Ecuatorial es de 0.6 mg/m^3 (UNESCO, 1992). Pak y Zaneveld (1973), encontraron que la Corriente Cromwell, contienen aguas afloradas responsables para la mayoría de parches de alta

productividad en las diferentes islas en Galápagos. La diversidad de especies sería un buen testimonio de la existencia de factores limitantes y/o por la acción de las Corrientes Marinas circundantes (Maxwell, 1974; Torres y Tapia, 1998-2000).

Comportamiento superficial de la Clorofila durante eventos El Niño

Aunque en la base de datos de este estudio no se excluyó la información de los dos eventos El Niño 191-92 y 1997-98 en el promedio decadal, por considerarse que los eventos El Niño son parte de los patrones oceánicos para el Pacífico Ecuatorial. Sin embargo, ambos eventos presentaron diferentes condiciones ecológicas los cuales son discutidos independientemente, para El Niño 1991-92 (Torres, 2002) y El Niño 1997-98 (Torres y Tapia, 1998), a continuación un resumen de cada evento:

Niño 1991-1993: La menor densidad de clorofila (<0.15 fue evidenciada en diciembre 1991 y febrero 1992. En marzo 1992 se recuperaron ligeramente (<0.85 mg/m^3) hacia Galápagos, aún cuando las condiciones térmicas fueron entre 27-28.8 °C. En noviembre 1992, se recuperó la biomasa clorofílica (2.0 mg/m^3) aún con anomalías térmicas. En marzo 1993, la biomasa disminuyó entre 0.33-0.5 mg/m^3 con temperaturas (26.5-28.3°C). El patrón de áreas productivas estuvo asociado por el aporte del leve afloramiento de Galápagos y al aporte nutricional del Golfo de Guayaquil. La biomasa fitoplanctónica fue baja antes del Evento El Niño 1991-92.

Niño 1997-1998: En abril-mayo 1997, la menor densidad de clorofila se evidenció hacia la parte central del área de estudio y hacia el continente (<0.2 mg/m^3); valores de 0.6 mg/m^3 aún se mantenían por el afloramiento entre Isabela y Fernandina. En agosto 1997, se observó la mayor concentración de clorofila en casi toda el área de estudio, la menor densidad 0.4 mg/m^3 se observó hacia el noreste. En diciembre 1997 se registraron valores bajos de clorofila en el margen costero (<0.3 mg/m^3). En marzo 1998 continuaron con bajas densidades (<0.2 mg/m^3). En general la biomasa fitoplanctónica fue muy abundante antes de El Niño 1997-98.

Jiménez (1977, 1981), ha reportado bajas concentraciones de clorofila (< 0.2 mg/m^3) al oeste de Galápagos, evidenciando la ausencia de afloramiento Ecuatorial. Ballance *et al.*, (1997), en sus estudios para el Océano Pacífico (79°W-170°W; 30°N y 20°S) desde 1979-1988, reportaron bajas concentraciones de clorofila <0.2 mg/m^3 , con ligeros núcleos de mayor concentración hacia Galápagos y frente a las costas peruanas. Chávez *et al.*, (1999), menciona que durante El Niño 1997-98, en aguas afloradas los promedios para clorofila fue <0.2 mg/m^3 ; con el Niño maduro (0.05 mg/m^3) y durante La Niña (<1 mg/m^3), lo cual se relaciona con la baja biomasa <0.1 encontrado en diciembre 1991, una ligera recuperación en febrero 1992 por el aporte subsuperficial de nutrientes aún en condiciones cálidas (Torres, 2002).

CONCLUSIONES

La distribución decadal (1989-1999) de la biomasa de clorofila "a" ha permitido entender que las áreas de mayor productividad biológica (Golfo de Guayaquil y Galápagos), al parecer tienen un efecto continente e isla, asociada al aporte nutricional anual de las dos

Corrientes frías: Cromwell (> aporte nutricional hacia Galápagos) y Humboldt con sus dos ramales aportarían elementos nutricionales hacia el continente y ligeramente hacia Galápagos.

La abundancia de clorofila "a" tiene un efecto inverso a la temperatura del agua del mar, sin embargo esto no fue evidente en diciembre 1991 y en marzo 1992-1993.

A nivel subsuperficial, la mayor densidad fue evidenciada para la época seca a 10m y 30m, debido al aporte de pulsos del afloramiento de Cromwell; y para la época húmeda fue hacia los 20m de profundidad, posiblemente por la presencia de aguas cálidas en la capa superficial.

Durante los eventos El Niño 1991-92 y 1997-98, la biomasa de clorofila "a" disminuyó drásticamente ($<0.2 \text{ mg/m}^3$) en el mar ecuatoriano, sin embargo las condiciones que precedieron en estos dos eventos fueron de diferente magnitud: menor biomasa antes de EL Niño 1991-92; y mayor biomasa antes del Evento de 1997-98.

El manejo de esta información fue proporcionar delineamientos sobre los ecosistemas vulnerables de Galápagos y el Golfo de Guayaquil a los impactos de eventos El Niño y sobrepesca, causados por el déficit alimentario de carbono expresado en clorofila y al estrés climático en los siguientes niveles tróficos.

AGRADECIMIENTOS

A los directivos del INOCAR por permitir la difusión científica de una década de investigaciones. Al Dr. Roberto Jiménez por sus sugerencias en este artículo. A Rodney Martinez por sugerir y permitir postular esta investigación en Europa; y al Dr. Edward Vanden-Berge por la aceptación del poster y gestión de financiamiento para su exposición en Bélgica.

BIBLIOGRAFÍA

Avaria, S., 1984. Cambios de la composición y biomasa del fitoplancton marino del norte de Chile durante el fenómeno de EL Niño 1982-1983. *Rev. Com. Perm. Pacífico Sur*, (15): 303-309.

Ballance, L., Pitman R., and S. Reilly. 1997. Seabird Community structure along a Productivity gradient: Importance of competition and energetic constraint. *Ecology*, 78 (5): 1502-1518.

Barber, R., and F. Chavez, 1983. Biological Consequences of El Niño. *Science*, 222: 1203-1210.

Burgos L., y C., Palacios. 2002. Variación estacional de las características químicas de las aguas ecuatoriales subsuperficiales al oeste de las Islas Galápagos en el área de ocurrencia de la Corriente de Cromwell (1988-2002). *Acta Oceanográfica*, 11(1): 31-42.

Chavez F., Strutton P., Friederich G., Feely R., Feldman G., Foley D., McPhaden M., 1999. Biological and chemical response of the Equatorial Pacific Ocean to the 1997-98 El Niño. *Science*, 286: 2126-2131.

Chisholm, S., 1999. Dealing with diversity: structure and function in ocean ecosystems. In IX International Conference Harmful Algal: Abstracts. Code: SS10TH0830S

Donlon C. Robinson I., Blackburn D., Edwards A., Dobson M., Hobma T., y J. Morales, 2004. The UNESCO Bilko project: developing training capability for coastal and marine remote sensing. Vanden Berghe, E., Brown M., Costello M., Heip C., Levitus S., P. Pissierssens (Eds). *Proceedings of The Color of Ocean Data* Symposium, Brussels, November 2002. UNESCO/IOC, VLIZ. IOC Workshop Report 188.

INOCAR, 2000. Atlas Oceanográfico interactivo. Instituto Oceanográfico de la Armada. www.inocar.mil.ec.

Jiménez R., 1976. The Oceanography of the region north of the Equatorial front: Biological aspects. Presentado en Reunión de trabajo sobre el Fenómeno El Niño, FAO, Informes de Pesca, N°. 185: 335-348.

Jiménez, R., 1977. Distribución del fitoplancton en el Frente Ecuatorial. *Bol. ERFEN*, 3: 11-17.

Jiménez, R., 1981. El fitoplancton como posible indicador del afloramiento originado por la Subcorriente Ecuatorial (Corriente de Cromwell) al oeste de las Islas Galápagos. UNESCO: En Memorias del Seminario sobre Indicadores Biológicos del Planctón 24-44.

Maxwell, D. 1974. Marine Primary Productivity of the Galapagos Archipelago. Degree Doctor of Philosophy of the Ohio State University.

Morel F., Rueter J., y N. Price, 1991. Iron Nutrition of Phytoplankton and its possible importance in the Ecology of Ocean Regions with high nutrient and low biomass. *Oceanography*, 4 (2): 56-61.

Pak H., and J. Zaneveld., 1973. The Cromwell Current on the east side of the Galápagos Islands. Submitted to *J. Geophys. Res*

Rojas-Mendiola, B., Gómez O., y N. Ochoa, 1985. Efectos del Fenómeno "El Niño" sobre el Fitoplancton. Boletín Extraordinario sobre "El Niño", Su Impacto en la Fauna Marina. Eds. W. Arntz, A. Landa y J. Tarazona. Pp. 33-43.

Torres, G. y M. Tapia, 1998. Distribución del Primer Nivel Trófico (Fitoplancton) en el Pacífico Ecuatoriano, periodo 1996-1997 (Pre El Niño). *Acta Oceanográfica del Pacífico*, INOCAR, 9(1):79-94.

Torres, G., 1998. Variabilidad anual del fitoplancton marino en áreas costeras de La Libertad y Manta (Ecuador) y su inter-relación con El Niño. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, INOCAR, 9(1): 115-128.

Torres, G. y M. Tapia, 2000. Distribución del Fitoplancton y su comportamiento en el Afloramiento en las Islas Galápagos. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 10 (1): 137-150.

Torres G., 2002. Ecología del Fitoplancton en el mar ecuatoriano y su relación con El Niño 1991-1992. Tesis Doctoral. Universidad de Guayaquil.

UNESCO 1992. Methodology for Oceanic CO₂ measurements Technical papers in Marine Science. #65 and Final report of SCOR-UNESCO working group #75.