

# BAC

## Centros de Actividad Biológica del Pacífico mexicano

Editado por:

D. Lluch-Belda, J. Elourduy-Garay,  
S.E. Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz



CENTRO DE INVESTIGACIONES  
BIOLÓGICAS DEL NOROESTE, S.C.



CICIMAR



CONACYT

# B A C

**Centros de Actividad Biológica  
del Pacífico mexicano**

**D. Lluch-Belda, J. Elorduy-Garay,  
S.E. Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz**

*Editores*



Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Diseño gráfico: Edgar Yuen Sánchez.

Cuidado de la edición: Edgar Yuen Sánchez, Daniel Lluch Belda, Juan F. Elorduy Garay, Salvador E. Lluch Cota y Germán Ponce Díaz.

Diseño de portada: Gerardo Rafael Hernández García.

Cuidado de la impresión: Margarito Rodríguez Alvarez, Santiago Rodríguez Alvarez y Rubén Andrade Velázquez.

#### **Clasificación del Congreso de los E.E.U.U.**

QH 541.5.S32B 2000

BAC: Centros de Actividad Biológica del Pacífico mexicano / Editado por D. Lluch-Belda, J. Elorduy-Garay, S.E. Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz.-- México: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., 2000. ISBN 970-18-6285-6

1. Ecología marina. 2. Oceanografía biológica. 3. Productividad marina.

D.R. © 2000

Derechos reservados conforme a la ley

Primera edición

Impreso y hecho en México

Ninguna parte de esta obra puede ser reproducida o transmitida, mediante ningún sistema o método electrónico o mecánico sin el consentimiento por escrito de los editores.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR) por su apoyo para la edición e impresión del presente volumen.

Al personal del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas que participó en la realización de esta obra.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) quien proporcionó el apoyo financiero a través del Proyecto R29374B.

Al Instituto Interamericano para el Estudio del Cambio Global (IAI), a través de la US National Science Foundation (NSF) por su apoyo en la realización de los talleres de trabajo que dieron origen a esta iniciativa (Ref. ATM-9530224).

Al Ing. Edgar Yuen Sánchez (Subdirección de Informática del CIBNOR), por su intensa participación en el diseño gráfico y cuidado de la edición, sin la cual esta obra no se hubiese podido realizar.

Al Ing. Margarito Rodríguez Alvarez, Santiago Rodríguez Alvarez y Rubén Andrade Velázquez (Taller de Impresiones del CIBNOR), por el cuidado en la impresión. A Gerardo Hernández García (Diseño Gráfico del CIBNOR) por el diseño de la portada. Finalmente, a la Lic. Ana María Talamantes Cota (Biblioteca del CIBNOR) por la clasificación del libro.

## CONTENIDO

CAPÍTULO 1 CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL Y CENTROS DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA <i>Mario Martínez-García &amp; Daniel Lluch-Belda</i>	1
CAPÍTULO 2 MODELACIÓN DE FLUJOS DE BIOMASA EN CENTROS DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA <i>Francisco Arreguín-Sánchez</i>	13
CAPÍTULO 3 POSIBILIDADES PARA EL MONITOREO AMBIENTAL Y BIOLÓGICO EN BAC MEXICANOS COMO UNA ESTRATEGIA PARA LA PREVENCIÓN, DETECCIÓN Y MITIGACIÓN DE FLORACIONES ALGALES NOCIVAS <i>Arturo P. Sierra-Beltrán</i>	29
CAPÍTULO 4 CENTROS DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA <i>Daniel Lluch-Belda</i>	49
CAPÍTULO 5 EL CENTRO DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE LA BAHÍA DE SEBASTIÁN VIZCAÍNO, UNA PRIMERA APROXIMACIÓN <i>Martín E. Hernández-Rivas, Sylvia Patricia Jiménez-Rosenberg, René Funes-Rodríguez &amp; Ricardo J. Saldierna-Martínez</i>	65
CAPÍTULO 6 EXPLORACIÓN DE LA CAPACIDAD PREDICTIVA DE LOS BAC EN ESPACIO Y TIEMPO: PUNTA EUGENIA Y EL SUR DE CALIFORNIA <i>Ehecatl Manuel Muñoz-Mejía, Salvador E. Lluch-Cota, Doménico Voltolina &amp; María Verónica Morales-Zárate</i>	87
CAPÍTULO 7 COMPARACIÓN ENTRE ZONAS DE ALTA ACTIVIDAD BIOLÓGICA EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA: PUNTA EUGENIA Y PUNTA BAJA <i>María Verónica Morales-Zárate, Salvador E. Lluch-Cota, Doménico Voltolina &amp; Ehecatl Manuel Muñoz-Mejía</i>	99
CAPÍTULO 8 ASPECTOS DE LA GEOQUÍMICA DEL MATERIAL ORGÁNICO EN EL BAC DEL GOLFO DE ULLOA, B.C.S. <i>Sergio Aguñiiga</i>	111

CAPÍTULO 9	
COMPOSICIÓN Y DINÁMICA DEL FITOPLANCTON EN EL BAC DE BAHÍA MAGDALENA, B.C.S.	125
<i>Aída Martínez-López &amp; Gerardo Verdugo-Díaz</i>	
CAPÍTULO 10	
DINÁMICA DEL FITOPLANCTON EN EL SISTEMA LAGUNAR MAGDALENA- ALMEJAS	143
<i>Ismael Gárate-Lizárraga, David A. Siqueiros-Beltrones, Gerardo Verdugo-Díaz &amp; Rafael Guerrero-Caballero</i>	
CAPÍTULO 11	
FLORA FICOLÓGICA DEL BAC DE PUNTA EUGENIA	157
<i>Margarita Casas-Valdez</i>	
CAPÍTULO 12	
VARIABILIDAD INTERANUAL DEL ZOOPLANCTON EN DOS CENTROS DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL NOROESTE MEXICANO: RESPUESTA DE LA POBLACIÓN DE <i>Calanus pacificus</i> AL CAMBIO AMBIENTAL	165
<i>Sergio Hernández-Trujillo</i>	
CAPÍTULO 13	
COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA DEL ICTIOPLANCTON DEL GOLFO DE ULLOA, BAJA CALIFORNIA SUR, UN CENTRO DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA	185
<i>René Funes-Rodríguez, Martín E. Hernández-Rivas, Ricardo J. Saldierna-Martínez, Alejandro T. Hinojosa-Medina, Raymundo Avendaño-Ibarra &amp; Sylvia P. Adelheid Jiménez-Rosenberg</i>	
CAPÍTULO 14	
BAC VERSUS ÁREAS ADYACENTES: UNA COMPARACIÓN DE LA VARIABILIDAD INTERANUAL DE PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS A PARTIR DEL COASTAL ZONE COLOR SCANNER (CZCS)	199
<i>Daniel B. Lluch-Cota &amp; Georgina Teniza-Guillén</i>	
CAPÍTULO 15	
LAS POBLACIONES DE ALMEJA CATARINA <i>Argopecten ventricosus</i> EN EL CENTRO DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE BAHÍA MAGDALENA, MÉXICO	219
<i>Alfonso N. Maeda-Martínez, María Teresa Sicard, Liliana Carvalho, Salvador E. Lluch-Cota &amp; Daniel B. Lluch-Cota</i>	
CAPÍTULO 16	
ANÁLISIS DE TRES VARIABLES OCEANOGRÁFICAS EN LA REGIÓN DE GUAYMAS, SONORA, MÉXICO	229
<i>Juana López-Martínez, Manuel O. Nevárez-Martínez, Armando Leyva-Contreras &amp; Osvaldo Sánchez</i>	

CAPÍTULO 17	
SOBRE LA IMPORTANCIA DE CONSIDERAR LA EXISTENCIA DE CENTROS DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA PARA LA REGIONALIZACIÓN DEL OCÉANO: EL CASO DEL GOLFO DE CALIFORNIA	255
<i>Salvador E. Lluch-Cota &amp; Juan Pedro Arias-Aréchiga</i>	
CAPÍTULO 18	
VARIACIONES DE LOS VOLÚMENES ZOOPLANCTÓNICOS EN EL CENTRO DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL GOLFO DE CALIFORNIA	265
<i>Alfonso Esquivel-Herrera, Gabriela Ma. Esqueda-Escárcega &amp; Sergio     Hernández-Trujillo</i>	
CAPÍTULO 19	
COMUNIDADES DE SIFONÓFOROS (CNIDARIA) EN EL CENTRO DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL GOLFO DE CALIFORNIA	277
<i>Alfonso Esquivel-Herrera</i>	
CAPÍTULO 20	
LA PESQUERÍA DE CAMARÓN DE ALTAMAR EN SONORA	301
<i>Juana López-Martínez, Enrique Morales-Bojorques, Fausto     Paredes-Mallon, Daniel Lluch-Belda &amp; Celio Cervantes-Valle</i>	
CAPÍTULO 21	
LA PESQUERÍA DE CALAMAR GIGANTE EN BAJA CALIFORNIA SUR: INTERACCIÓN ENTRE FLUCTUACIONES DEL RECURSO, INDUSTRIA PROCESADORA, ECONOMÍA Y SOCIEDAD	313
<i>Saúl Sánchez-Hernández, Germán Ponce-Díaz &amp; Sergio     Hernández-Vázquez</i>	
CAPÍTULO 22	
EL GOLFO DE TEHUANTEPEC COMO UN CENTRO DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA Y SU IMPORTANCIA EN LAS PESQUERÍAS	335
<i>Sofía Ortega-García, José Angel Trigueros-Salmerón, Rubén     Rodríguez-Sánchez, Salvador Lluch-Cota &amp; Héctor Villalobos</i>	
RECAPITULACIÓN	357
<i>Daniel Lluch-Belda, Juan F. Elorduy-Garay, Salvador E. Lluch-Cota &amp;     Germán Ponce-Díaz</i>	

## PRÓLOGO

*Prof. W.S. Wooster*

School of Marine Affairs, University of Washington

The studies compiled in this volume concern a concept that arose out of international discussions in La Paz, B.C.S., Mexico, concerning variations in the abundance and distribution of small pelagic fishes and their possible relation to changes in the physical environment. Of particular interest were species of sardine and anchovy that are common to eastern boundary currents, such as those of California and Mexico, Peru, and southwest Africa, where they are nourished by the high productivity associated with the upwelling of plant nutrients.

Even in these generally productive regions, there are smaller areas where biological activity is particularly high. These areas appear to be fixed in space, tied to coastal features, and tend to show little seasonal variation in their level of productivity. They are often the locus of spawning of small pelagics and other species and of fisheries related to the aggregations of commercial species. They have been dubbed "Biological Action Centers" or BAC.

Because of their characteristics, BAC are likely to be good places to study interactions between ecosystem and climate variations and to examine the mechanisms of such interactions. It has also been proposed that they offer an opportunity to optimize monitoring of ecosystem changes, analogous to checking blood pressure and pulse as indices of human health.

The possibility of improving the efficiency of living marine resource monitoring by concentrating observations in these small areas of high biological activity was attractive to the Living Marine Resource Panel of the Global Ocean Observing System, an international program being developed by the Intergovernmental Oceanographic Commission and other international agencies. That Panel proposed a pilot study to investigate BAC and their ecosystem role, to identify existing BAC, to determine the extent to which observations in BAC could be extrapolated to surrounding areas, and to investigate the extent to which BAC provide an indication of climate change.

Under the sponsorship of Instituto Interamericano para la Investigacion del Cambio Global (IAI), several workshops were organized to explore these ideas. The papers in the present volume resulted from the first Mexican workshop on the subject. They cover a wide variety of topics based on observations in the BAC off the west coast of Mexico and in the Gulf of California and provide support for the concepts and useful suggestions for further research arising from present knowledge of the areas.

The importance of this collection of papers goes well beyond its regional focus. Not only should the approach of using indicator locations contribute to the development of efficient global monitoring of living marine resources, but it should also lead to improved understanding of interactions between climate and ecosystem variations elsewhere in the world ocean.



Los estudios compilados en este volumen tocan un concepto que nació de las discusiones a nivel internacional realizadas en La Paz, B.C.S., México, concernientes a las variaciones en la abundancia y distribución de peces pelágicos menores y su posible relación con los cambios en el ambiente físico. Fueron de interés particular las especies de sardina y anchoveta comunes a las corrientes con frontera al este, tales como las de California y México, Perú y Suroeste de África, donde son alimentadas por la gran productividad asociada con las surgencias de nutrientes de plantas.

Incluso en estas regiones generalmente productivas, existen áreas menores donde la actividad biológica es particularmente elevada. Estas áreas parecen estar fijas en el espacio, ligadas a características de la costa, y tienden a mostrar poca variación estacional en su nivel de productividad. A menudo son el lugar de desove de pelágicos menores y otras especies y de pesquerías relacionadas con las agregaciones de especies comerciales. Han sido denominadas "Centros de Actividad Biológica" o BAC (por sus siglas en inglés).

Debido a sus características, es probable que los BAC sean buenos lugares para el estudio de las interacciones entre el ecosistema y las variaciones climáticas y para examinar los mecanismos de tales interacciones. También se ha propuesto que ofrecen la oportunidad de optimizar el monitoreo de los cambios del ecosistema, de forma análoga a como se verifican la presión sanguínea y el pulso en cuanto a la salud humana.

La posibilidad de mejorar la eficiencia del monitoreo de recursos marinos vivos concentrando las observaciones en estas pequeñas áreas de elevada actividad biológica fue atractiva para el Panel de Recursos Marinos Vivos del Sistema de Observación Global de los Océanos (LMR-GOOS), un programa internacional que está siendo desarrollado por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (IOC) y otras agencias internacionales. Dicho Panel propuso un estudio piloto para investigar los BAC y el papel de sus ecosistemas, para identificar los BAC existentes, para determinar en qué grado las observaciones en los BAC podrían ser extrapoladas a las áreas circundantes, y para investigar en qué grado los BAC proporcionan una indicación del cambio climático.

Se organizaron varias reuniones de trabajo, con el patrocinio del Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI), para explorar estas ideas. Los artículos del presente volumen son el resultado de la primera reunión mexicana sobre el tema. Cubren una amplia variedad de tópicos basados en observaciones en los BAC de la costa oeste de México y en el Golfo de California, y proporcionan bases para los conceptos y sugerencias útiles para investigaciones futuras que nazcan del conocimiento actual de tales áreas.

La importancia de esta colección de artículos va mucho más allá de su enfoque regional. No sólo la aproximación de utilizar localidades indicadoras contribuirá al desarrollo de monitoreos globales de los recursos marinos vivos eficientes, sino también deberá conducir a una mejor comprensión de las interacciones entre el clima y las variaciones del ecosistema en cualquier otro lugar del océano mundial.

# 7

## COMPARACIÓN ENTRE ZONAS DE ALTA ACTIVIDAD BIOLÓGICA EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA: PUNTA EUGENIA Y PUNTA BAJA

*María Verónica Morales-Zárate, Salvador E. Lluch-Cota, Doménico Voltolina & Ehecatl Manuel Muñoz-Mejía*

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Apdo. Postal 128. La Paz, B.C.S. 23000. México. E-mail: mzarate@cibnor.mx

### RESUMEN

La producción biológica primaria en el medio marino depende del equilibrio entre el suministro de nutrientes y la permanencia de células fitoplanctónicas en la capa superficial. En el sistema de la Corriente de California este equilibrio se logra por la formación de frentes y giros relacionados con cabos y cañones, donde los niveles de estratificación son mayores. En la costa occidental de Baja California se reconocen tres zonas con mayores niveles de producción biológica que el resto de la costa: Punta Baja, Punta Eugenia y Bahía Magdalena. Aunque los mayores aportes de nutrientes se reportan en la primera, la distribución de peces pelágicos tiende a estar más asociada con las otras dos zonas. En el presente trabajo se compara la distribución media de la concentración de pigmentos fotosintéticos, derivada del análisis de imágenes de satélite, de dos de estas zonas y se discute sobre los posibles mecanismos físicos relacionados. Los mapas de gradientes de concentración pigmentaria sugieren que en Punta Eugenia existen mecanismos físicos de convergencia de aguas enriquecidas, mientras que en Punta Baja fenómenos de divergencia causan que disminuya rápidamente hacia afuera de la costa; resultando que Punta Eugenia represente una zona de hábitat reproductivo adecuado, donde se combinan los elementos de la tríada de Bakun. Esta observación es congruente con la presencia de un giro semipermanente en Bahía Vizcaíno. Además de una mayor presencia y probabilidad de desove de sardinas y anchovetas en este área, este patrón se presenta en otras especies de peces pelágicos de la Corriente de California y algunos bentónicos con estadios planctónicos pelágicos. Según estos resultados, Punta Eugenia es más importante que Punta Baja en términos de productividad

biológica, lo cual puede tener implicaciones para la explotación, el manejo y la conservación de los recursos marinos renovables de la región.

**Palabras clave:** Pigmentos fotosintéticos, Imágenes de satélite, Punta Eugenia, Punta Baja.

### ABSTRACT

The biological primary production in the marine environment depends on the equilibrium between the supply of nutrients and the permanence of photosynthetic cells in the surface layer. In the California Current System this equilibrium is achieved by the formation of fronts and gyres related to capes and canyons, where the stratification levels are higher. In the western coast of Baja California three areas of higher levels of biological production than the rest of the coast are recognized: Point Baja, Point Eugenia, and Magdalena Bay. Although the higher supplies of nutrients are reported for the first one, the distribution of pelagic fishes tends to be more associated to the other two areas. In this work the average distribution of the photosynthetic pigments, derived from the satellite images analysis, from two of these areas is compared. The related possible physical mechanisms are discussed. The maps of pigment concentration gradients suggest that there are physical mechanisms of convergence of enriched waters in Point Eugenia, while in Point Baja divergence phenomena cause a rapid decrease out from the coast. The result is that Point Eugenia represents an adequate area as a reproductive habitat where the elements of the Bakun's triad are combined. This observation agrees with the presence of a semipermanent gyre in Vizcaíno Bay. Besides a higher presence and probability of spawning of sardines and anchovies in the area, this pattern happens in other species of the California Current, and some benthic species with pelagic planktonic stages. From these results Point Eugenia is more important than Point Baja in terms of biological productivity, which could have implications for the exploitation, management, and conservation of the renewable marine resources of the region.

**Key words:** Photosynthetic pigments, Satellite images, Point Eugenia, Point Baja.

### INTRODUCCIÓN

La producción biológica primaria en el medio marino depende del equilibrio entre los procesos que permiten el suministro de nutrientes a la capa iluminada de la columna de agua (surgencias, mezcla por mareas, mezcla termohalina, etc.) y los que permiten la permanencia de las células fitoplanctónicas en dicha capa (estratificación). La forma en que estos procesos se alternan varía entre ecosistemas. Por ejemplo, en el sistema de surgencias de la Corriente de Canarias los altos niveles de producción primaria resultan de la alternancia entre eventos de surgencias producidas por vientos fuertes y sostenidos, y periodos de relativa calma que permiten la estratificación. Este mismo patrón parece predominar en

la Corriente de Benguela, donde se ha determinado que la secuencia óptima en términos biológicos es de pulsos de aproximadamente 10 días alternados entre condiciones de surgencia y de estratificación (Huntsman & Barber, 1977).

En el sistema de la Corriente de Humboldt, la tensión por viento es relativamente menor, aunque más constante en comparación al de otros sistemas de surgencia (en promedio  $0.79 \pm 0.4$  dinas  $\text{cm}^{-2}$  comparado con  $1.55 \pm 1.0$  dinas  $\text{cm}^{-2}$  del noroeste de África); por lo que la capa de mezcla no penetra muy profundamente en la columna de agua, permitiendo que las partículas fitoplanctónicas permanezcan cerca de la superficie iluminada simultáneamente con el aporte de nutrientes (Mann & Lazier, 1996).

En las costas del sistema de la Corriente de California la situación es más compleja. La actividad de surgencias es intensa a lo largo de toda la costa y por periodos mayores de los reportados para la Corriente de Canarias. Sin embargo, la estructura de la línea de costa permite la formación de frentes y giros, donde los niveles de estratificación son mayores, por lo que la producción tiende a presentarse asociada a cabos y cañones (Huntsman & Barber, 1977; Mann & Lazier, 1996).

En la costa occidental de Baja California, los niveles más altos de producción biológica primaria (a juzgar por la distribución de concentración pigmentaria) se encuentran centrados en tres zonas principales: Punta Baja, Punta Eugenia y Bahía Magdalena. De éstos, los valores más elevados de transporte de Ekman (proporcional a las surgencias) se encuentran cerca de Punta Baja (Bakun & Nelson, 1977); es decir, que el aporte de nutrientes a la superficie tiende a ser más elevado en la latitud de Punta Baja.

Sin embargo, los centros de refugio, desove y crianza de poblaciones pelágicas, como la sardina y la anchoveta, están más relacionados con áreas de valores altos de producción primaria, pero menores niveles de surgencia (Bahía Magdalena y Punta Eugenia; Mann & Lazier, 1996; Lluch-Belda, 1997). Este hecho resulta, en parte, de las características y hábitos reproductivos de dichas especies.

Partiendo de que la mayor parte de la variabilidad natural en este tipo de poblaciones resulta del éxito reproductivo, se han desarrollado dos principales líneas de investigación: una dedicada a buscar la variabilidad en la supervivencia de estadios tempranos y otra al análisis del desove. Para el primer caso, existe una serie de hipótesis mecanicistas que relacionan el éxito de supervivencia durante ciertos periodos de desarrollo con fuentes específicas de tensión ambiental (Cole & McGlade, 1998). Entre éstas destacan: la importancia de que las larvas encuentren alimento durante el período crítico representado por el cambio de una fuente interna a una externa de alimentación (Hjort, 1914); la sincronización entre los ciclos reproductivos y de producción primaria (match-mismatch; Cushing, 1975); la relación entre los niveles de turbulencia en la columna de agua y la tasa de encuentro de las larvas con las partículas alimenticias (estabilidad de la columna; Lasker, 1975, 1978; Peterman & Bradford, 1987); y los efectos negativos de la advección, especialmente en zonas de surgencia donde la única posibilidad de retener a los huevos y las larvas dentro

del hábitat adecuado es la presencia de estructuras oceanográficas como frentes y giros (advección; Parrish *et al.*, 1981).

La mayor parte de estas hipótesis han sido integradas en marcos conceptuales más amplios como hipótesis sintéticas (Cole & McGlade, 1998). Una de ellas es el modelo de ventanas ambientales óptimas (Cury & Roy, 1989), el cual establece una relación no lineal entre la intensidad del viento y el éxito del reclutamiento. El viento es comúnmente la fuente de energía mecánica para el bombeo de aguas ricas en nutrientes a la capa iluminada del océano, por lo cual una mayor intensidad del viento implica mayor cantidad de material disponible para la producción biológica. Sin embargo, cuando el viento es muy intenso puede ser responsable de altos niveles de turbulencia y de transporte horizontal, que resultan en detrimento de la actividad reproductiva (Bakun, 1996). El resultado es un intervalo (ventana) de valores intermedios de viento para el cual el éxito de reclutamiento es máximo, mientras que hacia los extremos de esta ventana el éxito disminuye.

La otra hipótesis sintética es la Tríada Fundamental (Bakun, 1996), donde se reconocen tres tipos de procesos oceanográficos que al combinarse resultan en condiciones favorables para la reproducción de muchos tipos de peces, incluidos los pelágicos menores: el enriquecimiento, como los procesos de aporte de nutrientes a la capa iluminada (surgencias, mezcla, etc.); la concentración de partículas (convergencia, formación de frentes, estabilidad de la columna de agua, etc.); y la retención de los huevos y larvas en el hábitat adecuado, o advección hacia él.

La otra fuente de variabilidad del éxito reproductivo, la magnitud del desove, parece estar relacionada en general con los mismos procesos y variables ambientales (Lluch-Cota, 2000). Durante eventos o periodos en los cuales dominan condiciones adversas, los stocks de pelágicos menores tienden a contraer su distribución a pequeñas regiones adyacentes a la costa (Lluch-Belda *et al.*, 1991, 1992; Cole & McGlade, 1998), mientras que durante condiciones óptimas se presenta una expansión del área de desove.

En el presente estudio se caracterizan las zonas de Punta Baja y Punta Eugenia en función del comportamiento anual promedio de concentración de pigmentos fotosintéticos, y se discute en relación con la presencia documentada de estructuras oceanográficas y procesos relacionados con los elementos de la tríada fundamental (enriquecimiento, concentración y retención; Bakun, 1996).

## METODOLOGÍA

Se consideraron todas las composiciones mensuales de concentración pigmentaria de la base de datos del Coastal Zone Color Scanner (CZCS; Tran, 1995) para la costa occidental de la Península de Baja California, durante todo el periodo de operación del sensor (noviembre de 1978 a junio de 1986).

Las composiciones fueron tratadas para generar matrices de concentraciones promedio mensuales (promedio de las composiciones de todos los enero, de todos los febreros, etc.), para observar el desarrollo del proceso de

enriquecimiento biológico a lo largo del año promedio. Las 12 matrices resultantes se interpolaron y se graficaron como isolíneas de concentración pigmentaria. Estas mismas matrices se utilizaron para calcular campos de gradientes de concentración (vectores), a partir de las diferencias entre los valores de cada punto con los que lo rodean, mediante la siguiente formulación:

$$\vec{X}_i = (X_{i+1} - X_i - X_{i-1})$$

Donde:

$$\vec{X}_j = (X_{j+1} - X_j - X_{j-1})$$

$$|\vec{X}_{ij}| = \sqrt{(X_i)^2 + (X_j)^2}$$

$X_{ij}$  = Valor de concentración de un punto geográfico

$X_{j+1}$  = Valor anterior a  $X_{ij}$  en orden latitudinal

$X_{j-1}$  = Valor posterior a  $X_{ij}$  en orden latitudinal

$X_{i+1}$  = Valor posterior a  $X_{ij}$  en orden longitudinal

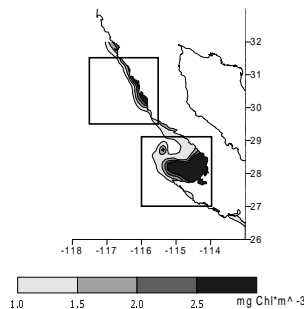
$X_{i-1}$  = Valor anterior a  $X_{ij}$  en orden longitudinal

Las matrices obtenidas se graficaron como campos vectoriales, donde el tamaño del vector indica la intensidad del gradiente y su dirección el sentido del cambio hacia la mayor concentración. Con fines de resaltar las zonas donde los cambios son más intensos, sólo se graficaron los valores de cambio mayores a  $0.5 \text{ mg Chl m}^{-3}$ .

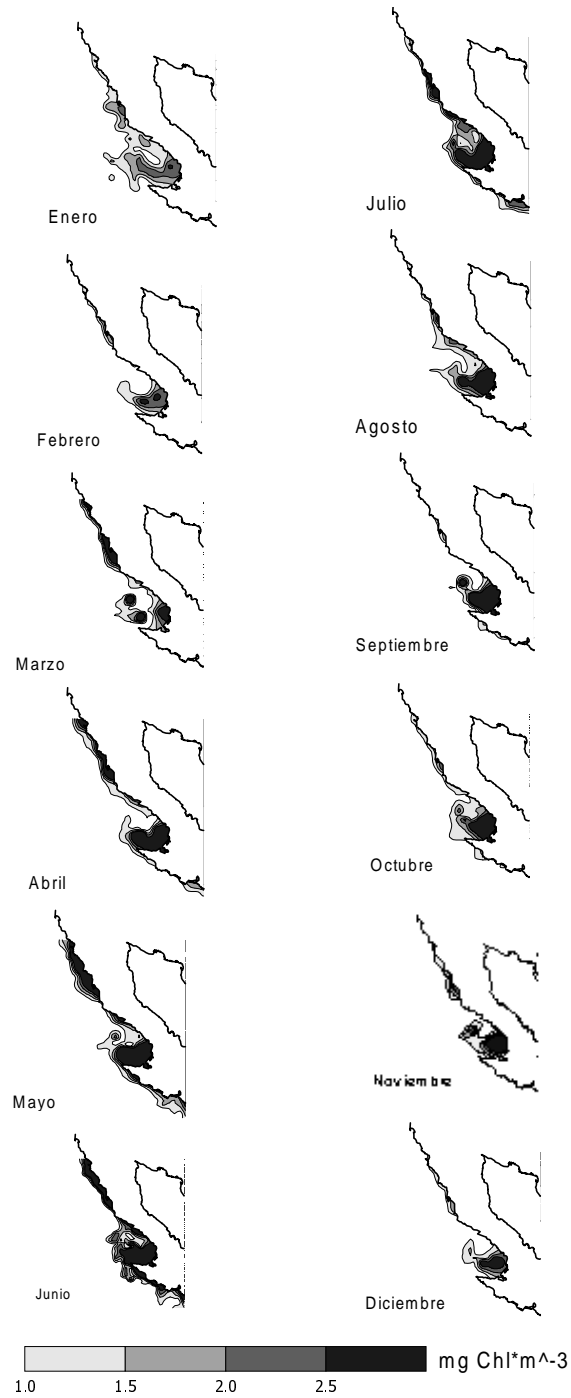
Adicionalmente, se realizó un análisis de distribución de frecuencias de valores de concentración de pigmentos en cuadrantes de dos por dos grados (de  $114^\circ$  a  $116^\circ$  W y  $27^\circ$  a  $29^\circ$  N para Punta Eugenia y de  $115.5^\circ$  a  $117.5^\circ$  W y  $29.5^\circ$  a  $31.5^\circ$  N para Punta Baja), cuyos resultados se reportan mediante un diagrama de cajas y bigotes para facilitar su comparación (Morales-Zárate, 1999).

## RESULTADOS

En la Figura 1 se observa que Punta Baja y Punta Eugenia, junto con Bahía Magdalena, son las zonas de mayor concentración pigmentaria de la región, con valores mayores a  $2.51 \text{ mg Chl m}^{-3}$ . A lo largo del año promedio se mantiene esta condición (mayores concentraciones de pigmentos en las tres zonas mencionadas, respecto al resto de la zona costera), con valores máximos de  $3.58 \text{ mg Chl m}^{-3}$  durante primavera y verano, y mínimos de  $0.27 \text{ mg Chl m}^{-3}$  durante otoño e invierno (Fig. 2). Cabe aclarar que estos valores deben ser considerados



**Figura 1.** Distribución promedio de la concentración pigmentaria en la costa occidental de Baja California (periodo base 1978-1986). Los cuadros indican las zonas seleccionadas para el análisis comparativo.



**Figura 2.** Comportamiento anual promedio de la distribución de concentración pigmentaria en la costa occidental de Baja California (periodo base 1978-1986).

como referencia, únicamente para comparación con estudios de distribución de pigmentos fotosintéticos basados en información derivada de imágenes de satélite.

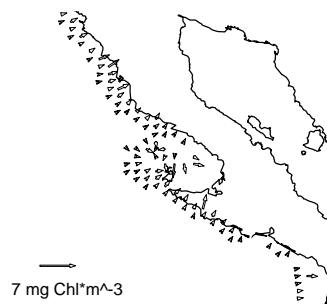
En términos generales existe un gradiente de concentración que va del océano al continente (Fig. 3). Esta condición es clara para la región de Punta Baja, mientras que en el área de Punta Eugenia los vectores apuntan hacia dentro de Bahía Vizcaíno en una zona separada de la costa. La distribución promedio de los gradientes de concentración pigmentaria a lo largo del año tipo (Fig. 4), muestra cómo se mantiene esta condición estacionalmente, con mayor intensidad durante los meses de primavera y verano, que tienen la mayor concentración pigmentaria, y con valores mínimos en otoño e invierno.

Según el análisis de distribución de frecuencias de valores de concentración, en las cajas seleccionadas alrededor de estos centros, en Punta Eugenia más del 75 % de los valores son superiores al 75% de los valores calculados para Punta Baja a lo largo del año (Fig. 5).

## DISCUSIÓN

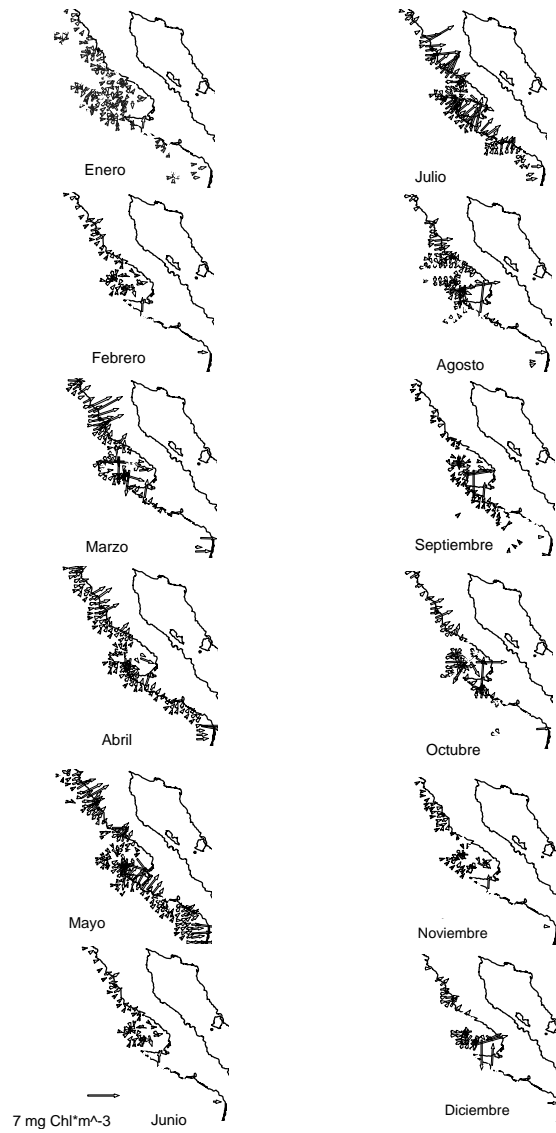
De manera similar al resto de las costas del sistema de la Corriente de California, la costa occidental de la península de Baja California presenta altos niveles de producción biológica. La presencia de surgencias tiene como consecuencia una alta aportación de nutrientes en la mayoría de las áreas costeras y este enriquecimiento implica una mayor productividad, que se hace particularmente evidente en las regiones asociadas a estructuras de la costa. Este es el caso de las áreas de Punta Eugenia y de Punta Baja, donde los mapas de concentración pigmentaria muestran valores más elevados que en el resto de la costa occidental de la península durante todo el año, con la excepción de la zona al norte de Bahía Magdalena.

Sin embargo, a pesar de que ambas zonas reciben un aporte continuo de nutrientes, Punta Eugenia presenta una mayor concentración de pigmentos fotosintéticos durante todo el año. La forma de los campos de vectores, que convergen hacia el centro en el área de Punta Eugenia y que se dirigen hacia la

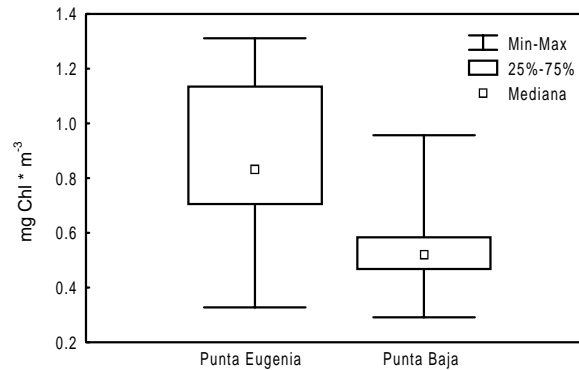


**Figura 3.** Distribución promedio de gradientes de concentración pigmentaria en la costa occidental de Baja California (periodo base 1978-1986). La dirección de las flechas indica el cambio hacia mayor concentración.





**Figura 4.** Comportamiento anual promedio de los gradientes de concentración pigmentaria en la costa occidental de Baja California (periodo base 1978-1986). La dirección de las flechas indica el cambio hacia mayor concentración.



**Figura 5.** Distribución de las frecuencias de concentraciones promedio mensuales de pigmentos en Punta Eugenia y Punta Baja (cuadrantes de  $2 \times 2^\circ$  de latitud y longitud, en las áreas representadas en la Figura 1) para el periodo 1978-1986.

costa en el caso de Punta Baja, indica que en la primera existen mecanismos físicos de convergencia de aguas altamente productivas enriquecidas, mientras que en la segunda la concentración disminuye rápidamente hacia afuera de la costa; esto significa que, a pesar de que los niveles de enriquecimiento de nutrientes sean similares e incluso mayores en Punta Baja, en Punta Eugenia existe, aparentemente, una mayor concentración y retención de partículas orgánicas, gracias a la presencia de estructuras oceanográficas que impiden su exportación por transporte horizontal, y donde los menores valores de turbulencia permiten que el fitoplancton pueda desarrollarse y permanecer el tiempo suficiente en la zona fótica para poder utilizar los nutrientes disponibles.

Esta observación es congruente con la presencia de un giro semipermanente, reportado para Bahía Vizcaíno por Wyllie (1960), quien señala que hacia el centro de la bahía se registra una termoclina marcada a lo largo del año, indicando estratificación térmica y una mayor estabilidad de la columna de agua que en las zonas costeras aledañas y que, además, existen dos centros de surgencias, al suroeste y al norte de Punta Eugenia, que fungen como fuentes de nutrientes por transporte horizontal hacia la bahía.

Este modelo, que permite explicar las diferencias entre los niveles de producción biológica primaria entre las dos zonas, puede también ser utilizado para relacionar la distribución de las poblaciones de pelágicos menores en la zona. Sobre la base del modelo de la tríada (Bakun, 1996), Punta Eugenia representa una zona de hábitat reproductivo adecuado para diversas especies, gracias a que se combinan el enriquecimiento (aporte de nutrientes en zonas aledañas y desarrollo más intenso de biomasa fitoplanctónica en Bahía Vizcaíno) y la concentración, gracias a las propiedades convectivas del giro, el cual también causa la retención de huevos y larvas dentro del hábitat adecuado, ya que previene su pérdida por advección. Además de sardinas y anchovetas, Morales Zárate & Muñoz Mejía (1998) encontraron en Punta Eugenia una mayor probabilidad de desove para varias especies de peces de la Corriente de

California. Este patrón de distribución es también evidente para algunas especies bentónicas, con estadios planctónicos pelágicos dentro del ciclo reproductivo, como la langosta y el abulón (Vega et al., 1996).

El presente trabajo no pretende establecer formalmente si las dos zonas estudiadas (Punta Eugenia y Punta Baja) deben ser o no consideradas como Centros de Actividad Biológica. Sin embargo, vale la pena resaltar la mayor importancia de Punta Eugenia sobre Punta Baja en términos de producción biológica, uso de hábitat para reproducción, refugio y alimentación, diversidad de especies y, posiblemente, como determinante de los niveles poblacionales de diferentes especies de la zona. Por lo cual, parecen evidentes las implicaciones de estas diferencias para los programas de manejo y de conservación e investigación de los recursos vivos del mar de esta región bajo esquemas de explotación sustentable, según las normas del código de pesca responsable. En especial es de esperar que este tipo de estudios permitan en el futuro acotar los criterios para identificar los Centros de Actividad Biológica y poder identificar su importancia dentro de los grandes ecosistemas marinos.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo de los Proyectos CIBNOR AYCG-7 y CONACYT R-29374B. MVMZ y EMMM son estudiantes de Postgrado del CIBNOR, S.C. (exp. 1000010031 y 1000010032) y becarios CONACYT (144436 y 144429).

### BIBLIOGRAFÍA

- Bakun, A. 1973. Coastal upwelling indices, west coast of North America, 1946-1971. NOAA Tech. Report. NMFS SSRF-671. 14 p.
- Bakun, A. & C.S. Nelson. 1977. Climatology of upwelling related processes off Baja California. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep. 19:107-127.
- Bakun, A. & R.H. Parrish. 1982. Turbulence, transport and pelagic fish in the California and Peru Current systems. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep. 23:99-112.
- Bakun, A. 1996. Patterns in the ocean. Ocean processes and marine population dynamics. California Sea Grant / CIB. 323 p.
- Boehlert, G. 1977. Physiological and morphological adaptations in the surface to benthic migrations of *Sebastes diploproa*. Scripps Inst. Oceanogr. Bull. Univ. Cal. San Diego.
- Cole, J. & J. McGlade. 1998. Clupeoid population variability, the environment and satellite imagery in coastal upwelling systems. Reviews in Fish and Fisheries 8:445-471.
- Cury, P. & C. Roy. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. J. Fish. Aquat. Sci. 46:670-679.

- Cushing, D.H. 1975. Marine ecology and fisheries. Cambridge University Press. Cambridge. 278 p.
- Hemingway, G.T. 1979. A description of the California Current ecosystem by factor analysis. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep. 20:164-183.
- Hjort, J. 1914. Fluctuations in the great fisheries of northern Europe reviewed in the light of biological research. Rapp. Procès-Verb. Cons. Int. Explor. Mer 172:175-186.
- Hewitt, R. 1981. Eddies and speciation in the California Current. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep. 22:96-9.
- Huntsman, S.A. & R.T. Barber. 1977. Primary production off northwest Africa: the relationship to wind and nutrient conditions. Deep-Sea. Res. 24:25-33.
- Huyer, A. 1983. Coastal upwelling in the California Current system. Progr. Oceanogr. 12:259-284.
- Johnson, M. 1960. Production and distribution of larvae of the spiny lobster, *Panulirus interruptus* with records on *P. gracilis*. Streets. Scripps Inst. Oceanogr. Bull. 7:413-462.
- Lasker, R. 1975. Field criteria for the survival of anchovy larvae: the relation between inshore chlorophyll maximum layers and successful first feeding. Fish. Bull. U.S. 73:847-855.
- Lasker, R. 1978. The relation between oceanographic conditions and larval anchovy food in the California Current: Identification of the factors leading to recruitment failure. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer. 178: 375 - 388.
- Lluch-Belda, D., S. Hernández-Vázquez & R.A. Schwartzlose. 1991. A hypothetical model for the fluctuations of the California sardine population (*Sardinops sagax caerulea*), 293-300. En: Kawasaky, T., S. Tanaka, Y. Toba & A. Taniguchi (Eds.). Long-term variability of pelagic fish populations and their environment. Pergamon Press. Oxford y New York. 402 p.
- Lluch-Belda, D., D.B. Lluch-Cota, S. Hernández-Vázquez & C.A. Salinas-Zavala. 1992. Sardine population expansion in eastern boundary systems of the Pacific Ocean as related to sea surface temperature. J. Mar. Sci. 12:147-155.
- Lluch-Belda, D. 1997. A Proposal for IAI phase II research Biological Action Centers: Background. Antecedentes de trabajo en el taller "IAI-Phase I Workshop: Comparative studies on the physical and biological environments of upwelling temperate areas. Biological Action Centers (BAC)". Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIB)/ Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR), Inter-American Institute for Global Change Research (IAI). La Paz, B.C.S. México. No publicado.

- Lluch-Cota, S. 2000. Propuesta de bases para un sistema de información ambiental para la pesquería de sardina del Golfo de California. Tesis de Doctorado. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C. La Paz, B.C.S., México. 43 p.
- Mann, K.H. & J.R.N. Lazier. 1996. Dynamics of marine ecosystems. Biological-physical interactions in the oceans. 2ª. Ed. Blackwell Science, London & New York, 394 pp.
- Morales-Zárate, M.V. & E.M. Muñoz-Mejía. 1998. Distribución de ictioplancton abundante en la Corriente de California: 1951-1984. Informe Técnico Interno. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 17 p.
- Morales-Zárate, M.V. 1999. Comparación entre dos zonas de alta productividad en la costa occidental de Baja California. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar. Univ. Autón. de Sinaloa, Mazatlán, México. 44 p.
- Parish, R.H., C.S. Nelson & A. Bakun. 1981. Transport mechanisms and reproductive success of fishes in the California Current. Biol. Oceanogr. 1:175-203.
- Peterman, R.M. & M.J. Bradford. 1987. Wind speed and mortality rate of a marine fish, the northern anchovy (*Engraulis mordax*). Science. 235: 354-356.
- Tran, A.V., E. Smith, J. Hyon, R. Evans, O. Brown & G. Feldman. 1993. Satellite - derived, multichannel Sea Surface Concentration Data: A CD - ROM set containing monthly mean distributions for the global ocean. JPL Cal. Inst. of Technology. 31 p.
- Vega, A., D. Lluch-Belda, M. Muciño, G. León, S. Hernández, D.B. Lluch-Cota, M. Ramade & G. Espinoza. 1996. Development, Perspectives and Management of Lobster and Abalone Fisheries off Northwest Mexico, under a limited access system 136-142. 2<sup>nd</sup> World Fisheries Congress.
- Wyllie, J.G. 1960. The water masses of Sebastian Vizcaino Bay. Cal. Coop. Oceanic. Fish. Invest. Rep. VIII: 83-93.