

# BAC

## Centros de Actividad Biológica del Pacífico mexicano

Editado por:

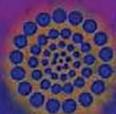
D. Lluch-Belda, J. Elourduy-Garay,  
S.E. Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz



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

# 1

## CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL Y CENTROS DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA

*Mario Martínez-García<sup>1</sup> & Daniel Lluch-Belda<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. <sup>2</sup> Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del IPN.

### INTRODUCCIÓN

Las sociedades humanas se han venido percatando de manera cada vez más evidente que el clima no es constante entre años. Desafortunadamente, esta conciencia se ha adquirido mayormente por las desastrosas consecuencias de la variabilidad. Tan sólo durante los primeros 11 meses de 1998 el inusitado clima global prevaeciente había ocasionado pérdidas calculadas en \$ 89,000'000,000 de dólares a nivel mundial, casi el 50% más que en el periodo récord anterior (1996). Además de las pérdidas materiales, un estimado de 32,000 personas perdieron la vida y unas 300'000,000 fueron desplazadas de sus casas (Trenberth 1999).

Una porción significativa de estas pérdidas se registraron en México, como se hizo evidente por la voracidad de los incendios forestales, las inundaciones y la sequía. Entre enero y julio de 1998, el número de incendios forestales en México se duplicó con respecto al promedio, y se triplicó la superficie afectada.

### **Variabilidad oceánica**

El origen de muchos de estos desastres puede remontarse, en gran medida, a la alteración del clima que provoca el fenómeno “El Niño”. Conocido ampliamente desde hace varias décadas, la redistribución de la masa superficial de agua caliente en el Océano Pacífico que provoca ocasiona cambios de mayor magnitud en la circulación oceánica y atmosférica, causando lluvias torrenciales en unas áreas y sequías persistentes en otras. De manera particular, El Niño se relaciona con la presencia de una masa de agua anómalamente cálida en la costa americana del Pacífico, que eleva de manera también anormal el nivel medio del mar. Lo contrario, el enfriamiento de la costa americana y bajo nivel medio del mar se relaciona con los eventos denominados “La Niña”. La conexión entre El Niño y las condiciones atmosféricas reflejadas en el Índice de Oscilación del Sur (SOI) han sido ampliamente demostradas, al grado de integrarse en lo que

comúnmente se denomina ENSO (EL Niño/Southern Oscillation). La Figura 1 muestra tres índices relacionados con los eventos ENSO, el SOI, nivel medio del mar en Balboa, Panamá y las anomalías promedio anuales de temperatura superficial del mar (TSM) en Niño 3 (Fig. 2).

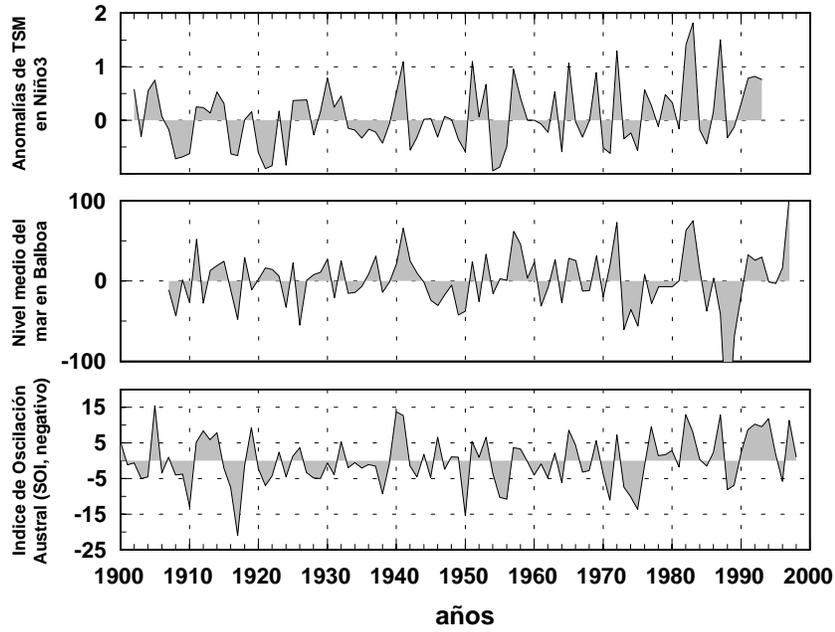


Figura 1. Indicadores de eventos El Niño tropicales.

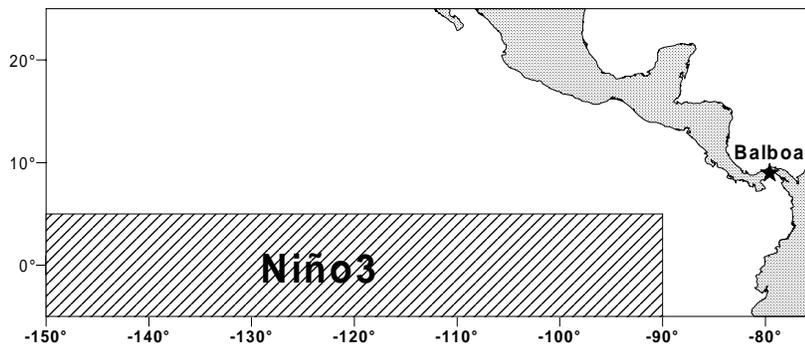


Figura 2. Localización del área Niño3.

Como puede apreciarse, estos fenómenos no son eventos raros. El Niño se origina en el trópico con frecuencias de entre 3 y 7 años (Quinn, 1992), lo que quiere decir que al menos tenemos uno y hasta tres de tales episodios en cada década. Mediante reconstrucciones paleoclimáticas se ha podido identificar su señal a lo largo de, al menos, cientos de años (Mann & Bradley, 1999; Fig. 3). Hay una fuente adicional de variación en los eventos El Niño: la intensidad con la que llegan hasta nuestro país. El fenómeno se origina en el ecuador pero, una vez que llega a la costa americana, se propaga hacia el norte y sur. Sólo algunos de los eventos EN que se originan en el ecuador llegan de manera significativa hasta la zona templada. Qué ocasiona este filtrado de los eventos tropicales es materia de debate.

Otra escala de variación que ocurre en el Pacífico norte es de alrededor de 20-30 años, como se refleja en la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés), que se muestra en la Figura 4. Esta oscilación recurrente fue descrita por Mantua y colaboradores recientemente (Mantua *et al.* 1997) al estudiar las variaciones interanuales de abundancia de las poblaciones de salmón. Consiste en un ciclo de condiciones cálidas persistentes a lo largo de la costa americana que alternan con condiciones frías. Recientemente (en enero de este año) se ha sugerido que estamos entrando a la fase fría después de haber estado inmersos en la etapa cálida desde mediados de los 70.

Igual que sucedió más recientemente en el caso de la PDO, otra escala de variación -la del Régimen- se conoció originalmente a través del estudio de la variación sincrónica de poblaciones naturales, en este caso las sardinas y anchovetas (Lluch-Belda *et al.*, 1989). Esta escala multidecadal ha ocurrido al menos en los últimos 2,000 años, como lo demuestran los depósitos sedimentarios de escamas de sardinas, anchovetas, merluzas y otras especies en varias localidades, especialmente la Cuenca de Santa Bárbara en el sur de California (Baumgartner, 1992; Fig. 5). En especial la abundancia de sardina parece tener ciclos promedio dominantes de alrededor de 60 años.

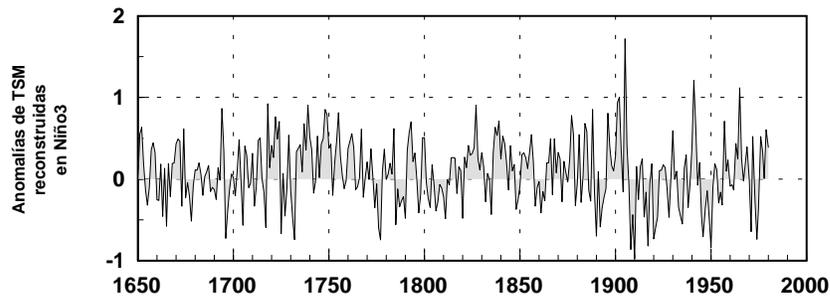


Figura 3. Reconstrucción de las anomalías de temperatura superficial en Niño3.

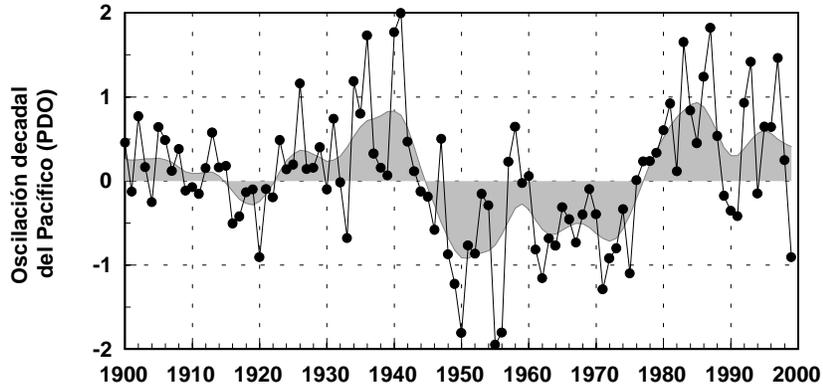


Figura 4. La Oscilación decadal del Pacífico.

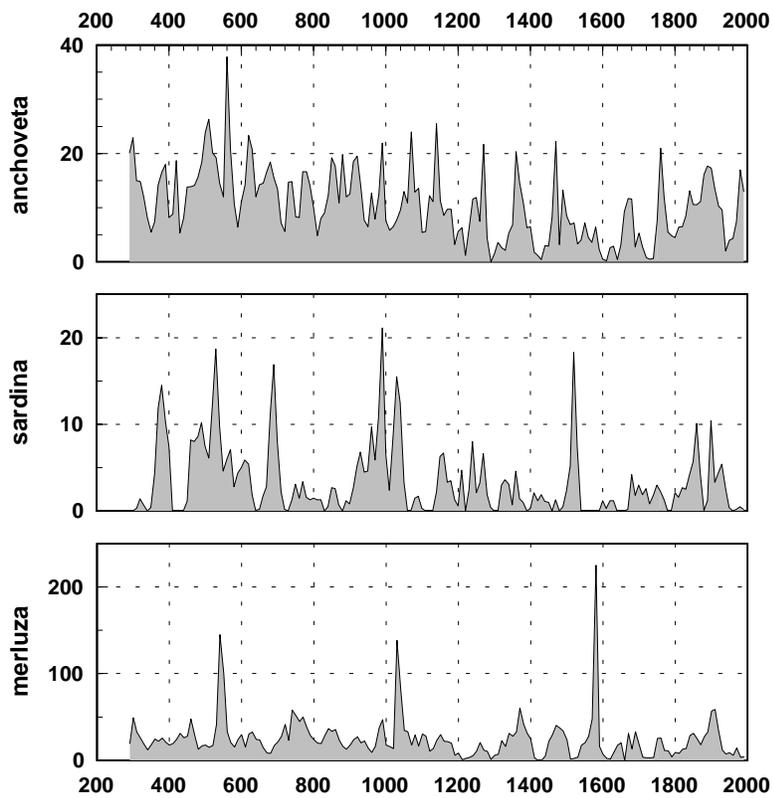


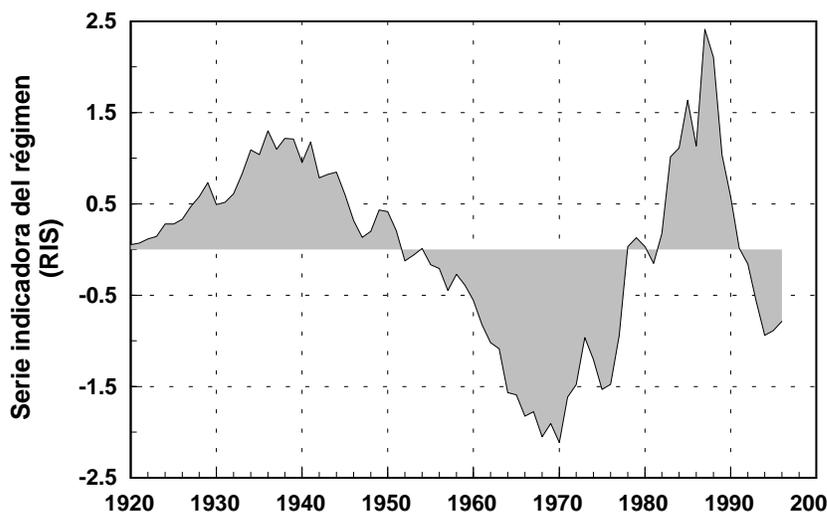
Figura 5. Número de escamas de sardina, anchoveta y merluza en los sedimentos laminados de la Cuenca de Santa Bárbara. Cada punto representa el promedio de 10 años.

Este ciclo se hace evidente a través de períodos de varias décadas, en los que la sardina alterna entre intervalos de alta y baja abundancia de manera sincrónica en apartadas regiones del océano; al menos, en California, Japón y la Corriente de Humboldt. A lo largo del presente siglo, las anchovetas han sido abundantes cuando las sardinas han sido escasas, pero no es ésta la regla general a lo largo de todo el registro sedimentario.

A lo largo del presente siglo, se han identificado dos (y posiblemente tres) cambios de régimen: alrededor de 1940 (de alta a baja abundancia de sardina) y mediados de los 70 (de baja a alta abundancia de sardina). El cambio anterior se ha situado entre 1910 y 1930 (de baja a alta abundancia de sardina). Estos cambios se reflejan en la suma de todas las capturas de estas poblaciones en las distintas regiones del mundo (Lluch-Cota *et al.*, 1997; Fig. 6).

Toda la variabilidad discutida hasta ahora, en todas sus escalas, es de origen natural y ha existido al menos a lo largo de los últimos 2,000 años. Por supuesto, estamos conscientes de variaciones aún mayores que han ocurrido a lo largo de la historia geológica; la alternancia de periodos fríos (glaciaciones) y cálidos (interglaciales) no son sino cambios relativamente recientes.

Ahora, sin embargo, se agrega a toda esta variación aquella que podría ser ocasionada por la actividad humana, con capacidad actual de modificar profundamente el ambiente. Uno de los aspectos de este impacto que más atención han recibido en las últimas décadas es, sin duda, el calentamiento global por la acumulación atmosférica de gases de invernadero. Esta posibilidad ha generado gran inquietud por las graves consecuencias que pudiese acarrear y



**Figura 6.** La Serie indicadora del Régimen: capturas de sardinas (y anchoveta en Sudáfrica) en los principales sistemas oceánicos menos las capturas globales de anchoveta (y sardina en Sudáfrica).

ha logrado movilizar considerable apoyo financiero de gobiernos de todo el mundo para analizar el problema. El IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change) ha sido uno de los cuerpos científicos más significativos en este aspecto.

La alarma se generó por tres razones fundamentales: primero, la conocida relación entre la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico, y otros gases, con la temperatura global, basada en registros paleoclimáticos. El incremento sostenido de CO<sub>2</sub> que se ha registrado desde la época de la Revolución Industrial (Fig. 7) sugiere fuertemente un proceso de calentamiento forzado, especialmente si consideramos que otros gases (por ejemplo, el CH<sub>4</sub>, el N<sub>2</sub>O, etc.) también se han venido incrementando. En segundo lugar, los modelos globales de circulación atmosférica (GCMs) que se han hecho factibles en las últimas décadas gracias al enorme desarrollo de la informática, predicen calentamiento global como resultado del incremento de gases de invernadero. Finalmente, las temperaturas globales calculadas muestran un incremento sustancial, especialmente en los últimos años (Fig. 8).

Todas estas escalas de cambio interanual, natural y antropogénico, resultan en una variabilidad que hace difícil discriminar los efectos de cada una. No obstante que muchos autores coinciden en la realidad del calentamiento global (p. ej. Trenberth, 1999), aún no se sabe con certeza qué proporción del cambio es causada por cada uno de los factores y, por lo mismo, la predicción es aún un objetivo no alcanzado.

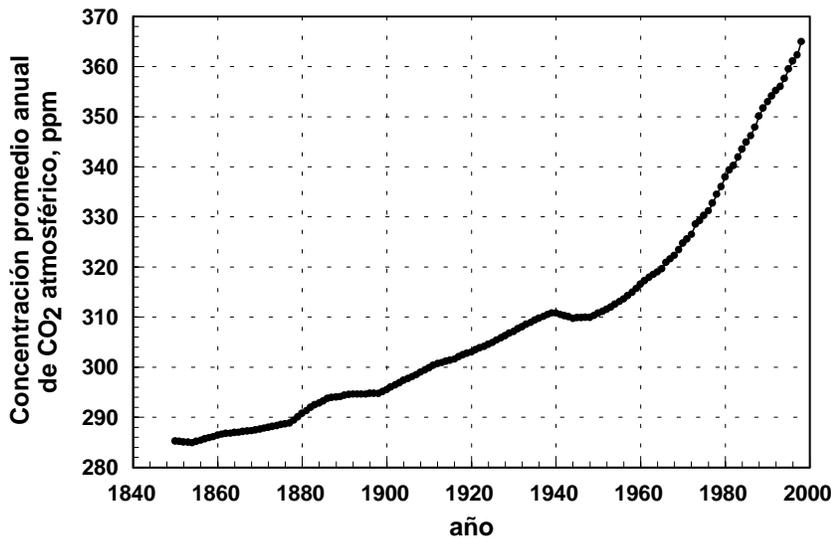


Figura 7. El incremento en la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico.

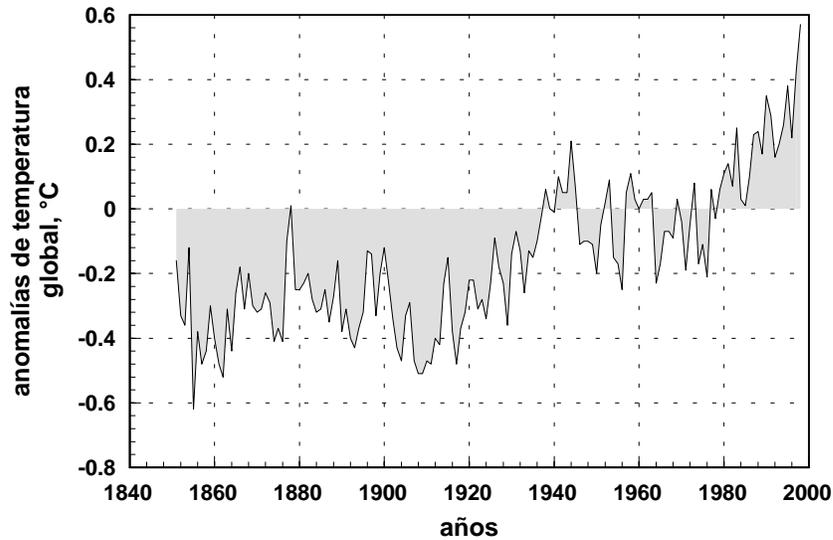


Figura 8. Anomalías anuales promedio de la temperatura global del aire en superficie.

Sabemos, no obstante, algunos aspectos:

1. Cualquiera que sea la contribución del calentamiento global antropogénico, se incrementará todavía por algunos años, independientemente de la velocidad con la que reaccionen las sociedades humanas; esta inercia ha sido bien documentada por el IPCC.
2. Las tendencias y ciclos pueden sumarse; calamidades como las inundaciones de zonas costeras producidas por un evento El Niño pueden ser desproporcionadamente más graves si ocurren durante las fases altas de los ciclos más largos, y aún más seguramente si suceden en un ambiente calentado antropogénicamente.
3. Las condiciones recientes demuestran que las normales climatológicas, que usualmente sirven de base para la planeación demográfica, productiva, urbanística, de infraestructura de comunicaciones, etc. ya no son adecuadas para prevenir eventos cada vez más frecuentes e intensos. Aún más, si el cálculo de nuevas normales no tiene en consideración las tendencias y ciclos de cambio, no serán tampoco suficientes.
4. Para un país eminentemente exportador como México, tener la capacidad de pronóstico anticipado significa una enorme diferencia en ingresos. Las variaciones que se han registrado en los precios del petróleo no son sino una parte de aquellas que demuestran este hecho.
5. El actor principal de estos cambios, junto con el hombre mismo, son los océanos. Cubriendo el 70% de la superficie terrestre, tienen el papel de regulación más importante en la fijación del CO<sub>2</sub> y otros gases. Por otra

parte, los ciclos discutidos se originan en el océano. Resultaría extremadamente irresponsable seguir ignorando lo que ahí sucede.

6. Para poder aspirar a pronosticar eventos y su intensidad con la antelación suficiente necesitamos comprender lo que sucede o, mínimamente, tener un conjunto de relaciones empíricas funcionales de las que no disponemos por ahora.

Hasta el momento, la discusión se ha centrado en lo que ocurre en la tierra, pero no podemos ignorar que los eventos y ciclos mencionados tienen efectos aún no cuantificados en el océano mismo y sus recursos vivos. El pasado reciente nos demuestra que estudiar el océano no es un asunto trivial, sino una necesidad impostergable. Cómo estudiarlo presenta una serie de aspectos que deben considerarse; conocerlo de manera adecuada, equivalente al estado de avance que tienen la mayor parte de los países desarrollados, requiere de un apoyo sostenido del que hasta ahora se ha carecido.

Los esquemas de seguimiento

Por su extensión (más de 1.5 veces el territorio emergido) y profundidad, los mares mexicanos son un sujeto de estudio difícil y costoso. Adicionalmente, después de un período de apoyo creciente a la investigación marina que culminó en la década de los 70, el estado mexicano ha ido perdiendo interés en la materia.

Hay dos enfoques principales en la investigación que se ha hecho acerca de los océanos en el mundo y que son relevantes para el análisis del cambio climático: por una parte, identificar parámetros fácilmente medibles y determinarlos rutinariamente para construir series largas de datos; por la otra, abordar estudios específicos en tiempos y áreas limitadas. La primera estrategia es la base de la oceanografía observacional y del seguimiento (monitoreo) de las condiciones prevalecientes. La segunda permite contestar preguntas específicas.

En general, el estudio de las variaciones climáticas y oceánicas descansa mayormente en las bases de datos observacionales de largo plazo. A partir de su análisis se pueden establecer relaciones empíricas y plantear preguntas específicas que pueden resolverse mediante la segunda estrategia. Para los fines de seguimiento y búsqueda de relaciones empíricas, requerimos de un marco general de variación en espacio y tiempo para poder ubicar los estudios particulares.

Ante el escenario de una disponibilidad limitada de apoyos, establecer un sistema de seguimiento que sirva de marco general requiere prioritariamente establecer con claridad qué parámetros medir y cómo hacerlo, y para ello hay que tener en cuenta qué hemos aprendido y en qué marco global nos desenvolvemos; qué puede obtenerse a costo razonable y cuáles son los componentes a los que requerimos dar seguimiento directo.

En el aspecto de recursos vivos en especial, la mayor parte de los enfoques de la investigación se han dirigido durante muchos años al estudio de las poblaciones naturales, mayormente de recursos pesqueros; no ha sido sino en las últimas décadas que se ha ido estableciendo con mayor importancia el estudio

del ecosistema como un todo. Este es el enfoque evidente para un esquema de seguimiento general, estudiar los diferentes componentes del ecosistema para disponer de información no sólo de algunas especies sino del conjunto, sus relaciones y su variación en el tiempo.

Ya que no podemos estudiar **todo** el océano, **todo** el tiempo ¿Cómo podemos estudiar el ecosistema y dar seguimiento a sus variaciones? Evidentemente, si no podemos reducir el tiempo a un corte (ya que la información que requerimos ocurre justamente a lo largo del tiempo), tenemos que reducir el volumen de estudio. La estrategia no es nueva, desde luego; cuando diseñamos una red de estaciones oceanográficas suponemos que cada una refleja razonablemente lo que ocurre a su alrededor hasta los límites del área representada por la siguiente estación.

Paralelamente, podríamos escoger áreas reducidas que podamos suponer representan razonablemente lo que sucede en áreas mayores; por ejemplo, una serie de áreas equidistantes a manera de una red de estaciones oceanográficas.

Sabemos, sin embargo, que la productividad biológica de la zona costera es mucho mayor que la del océano abierto, con excepción de algunas zonas específicas, como los frentes. El factor limitante universal del océano para los ecosistemas es la disponibilidad de nutrientes, y éstos son mucho más abundantes en la zona costera, tanto por aporte fluvial como por surgencias. Dentro de la propia zona costera, como se muestra en varios de los capítulos de la presente obra, hay zonas que destacan por su actividad biológica.

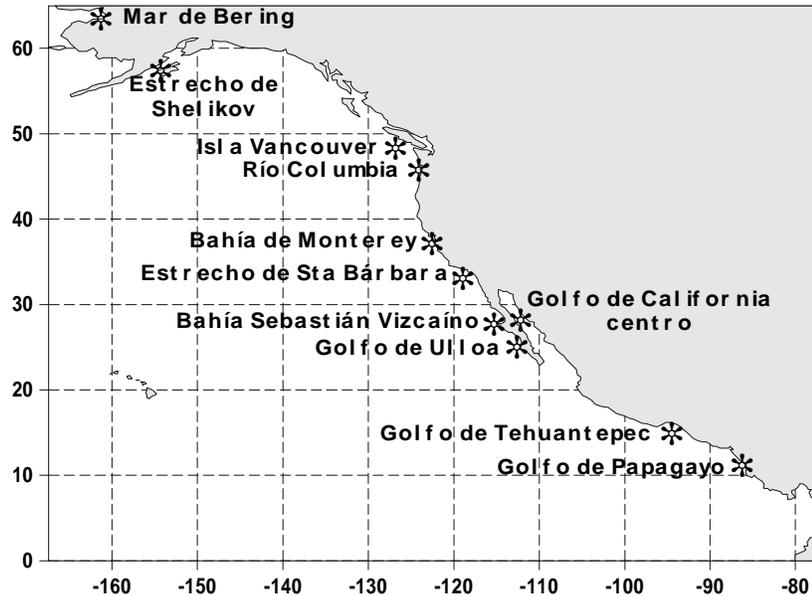
Estas áreas, los Centros de Actividad Biológica (BAC, por sus siglas en inglés), son singularidades del ecosistema costero general que por sus características concentran organismos de muchas de las especies. Es razonable suponer que aporten una fracción considerable de la productividad total en los distintos niveles tróficos. Más allá de su potencial utilidad como sujetos de seguimiento, los BAC son áreas únicas, vitales para el sostenimiento de pesquerías comerciales y deportivas, así como para la estructura y productividad de los ecosistemas marinos. Seguramente son áreas en las que se presentan procesos de enriquecimiento, concentración y retención (Bakun, 1996).

Son sitios de refugio permanente o de concentración trófica y reproductiva temporal. Por lo mismo, son los puntos en que sería más lógico analizar la presencia, composición y relaciones de las distintas especies.

## **El proyecto BAC**

El proyecto internacional de Centros de Actividad Biológica se originó bajo esta óptica en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC en 1998. Se trata de un esfuerzo internacional, que incluye instituciones de Canadá, EEUU, México y Costa Rica (Fig. 9), hasta ahora. Debido a su estrategia, fue adoptado ya por el Panel de Recursos Vivos del Mar (LMR) del Sistema Global de Observación de los Océanos (GOOS), como Proyecto Piloto.

La estrategia del proyecto implica comprender la forma en que funcionan estos BAC, no sólo estudiándolos en mayor detalle, sino analizándolos a través de un



**Figura 9.** Localización de los Centros de Actividad Biológica considerados en el proyecto.

enfoque comparativo entre sitios similares a lo largo de la costa occidental de Norteamérica. Los BAC identificados hasta ahora y en los que se ha empezado a trabajar incluyen los siguientes:

- El borde oriental del Mar de Behring
- El Estrecho de Shelikof
- La costa occidental de la Isla Vancouver
- La desembocadura del Río Columbia
- La Bahía de Monterey
- El Canal de Santa Bárbara
- La Bahía Sebastián Vizcaíno
- La costa suroriental del Golfo de Ulloa
- El centro del Golfo de California
- El Golfo de Tehuantepec, y
- El Golfo de Papagayo

Cada uno de ellos está siendo estudiado por una o más instituciones participantes. El proyecto contempla tres etapas principales: la primera, recabar la información existente sobre cada uno de los BAC, culminando con un análisis comparativo que permita identificar similitudes y diferencias y, más que nada, los aspectos que deban investigarse en campo y laboratorio; la segunda etapa

consistirá en el desarrollo de los estudios en cada BAC, para llegar a disponer de una base que permita la comparación razonable entre ellos; finalmente, la tercera etapa contempla la integración de resultados, la comparación entre zonas y el diseño de esquemas de seguimiento permanente.

El presente volumen es una de las acciones de la primera etapa que corresponde a los BAC mexicanos.

### **BIBLIOGRAFÍA CITADA**

- Bakun, A. 1996. Patterns in the ocean: ocean processes and marine population dynamics. San Diego, California, University of California Sea Grant - CIBNOR.
- Baumgartner, T.R., A. Soutar & V. Ferreira-Bartrina. 1992. Reconstruction of the history of Pacific sardine and northern anchovy populations over the past two millennia from sediments of the Santa Barbara Basin, California. CalCOFI Rep. 33: 24-40.
- Kilonski, B. 1998. University of Hawaii Sea Level Center data.
- Lluch-Belda, D., R.J.M. Crawford, T. Kawasaki, A.D. MacCall, R.H. Parrish, R.A. Schwartzlose & P.E. Smith. 1989. World-wide fluctuations of sardine and anchovy stocks: the regime problem. South African Journal of Marine Science (8): 195-205.
- Lluch-Cota, D.B., S. Hernández-Vázquez & S.E. Lluch-Cota. 1997. Empirical investigation on the relationship between climate and small pelagic global regimes and El Niño-Southern Oscillation (ENSO). FAO Fisheries Circular (34).
- Mann, R.E. & R.S. Bradley. 1999. Long term variability in El Niño/Southern Oscillation and associated teleconnections. El Niño and the Southern Oscillation: multiscale variability and its impacts on natural ecosystems and society. H.F.M. Diaz, V. Cambridge U.K., Cambridge University Press.
- Mantua, N.J., S.R. Hare, Y. Zhang, J.M. Wallace & R.C. Francis 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. Bull. Amer. Meteor. Soc. 78(6): 1069-1079.
- Quinn, W.H. 1992. A study of Southern Oscillation-related climatic activity for A.D. 622-1990 incorporating Nile River flood data. En: Diaz, H.F. & V. Markgraf (Eds.). El Niño: historical and paleoclimatic aspects of the Southern Oscillation. England, Cambridge Univ. Press: 476.
- Trenberth, K.E. 1999. The extreme weather events of 1997 and 1998. Consequences 5(1): 3-15.

# 2

## MODELACIÓN DE FLUJOS DE BIOMASA EN CENTROS DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA

*Francisco Arreguín-Sánchez*

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del IPN. Apartado Postal 592, La Paz, 23000, Baja California Sur, México. E-mail: farregui@redipn.ipn.mx, farregui@hotmail.com

### RESUMEN

Se presentan aspectos generales de modelación de ecosistemas con énfasis en la representación de procesos de advección que originan fenómenos de surgencias o convergencias, característicos de los Centros de Actividad Biológica (BAC). Se sugiere utilizar el paquete de programas Ecopath con Ecosim como herramienta de modelación ya que permite representar la estructura y dinámica de un ecosistema marino en términos de los flujos de biomasa, y particularmente del modelo Ecospace, parte del mismo paquete, donde es posible representar procesos de advección, entre otros. A través de un ejemplo hipotético se muestran los dos procesos típicos asociados a un BAC; el fenómeno de surgencia, caracterizado por la exportación de biomasa (energía) a ecosistemas adyacentes, a partir de un centro de alta producción primaria. Por otro lado, se representa también el fenómeno de convergencia donde ocurre una concentración de biomasa proveniente de ecosistemas adyacentes originando niveles de producción menores en estos últimos con respecto al centro del BAC. Se discuten también algunos aspectos relativos a las implicaciones potenciales que tiene este tipo de ejercicios de modelación de ecosistemas tipo BAC para el manejo de las pesquerías.

**Palabras clave:** Modelación, Ecopath, Ecosim.

### ABSTRACT

General aspects of ecosystem modeling are presented with emphasis in the representation of advective processes that originate upwelling or convergence phenomena, characteristic of the Biological Activity Centers (BAC). The use of the Ecopath package of programs along with Ecosim is suggested as a modeling tool. They allow a representation of the structure and dynamics of a marine ecosystem in terms of the biomass fluxes. Specially the Ecospace model, part

of the same package, where it is possible to represent advective processes, among others. Through an hypothetical example the two typical processes associated to a BAC are shown. The upwelling phenomenon, characterized by a biomass (energy) export to adjacent ecosystems from a center of high primary productivity. On the other hand the convergence phenomenon is also represented, where a concentration of biomass from adjacent ecosystems occurs, originating lower production levels in these compared to the center of the BAC. Also are discussed some aspects related to the potential implications that this kind of modeling exercises on BAC type ecosystems have for the fisheries management.

**Key words:** Modeling, Ecopath, Ecosim.

## INTRODUCCIÓN

Los Centros de Actividad Biológica, BAC (por sus siglas en inglés), constituyen ecosistemas que han despertado mucho interés, no sólo del sector académico, sino también a nivel de economía regional, dada la relevancia que tiene en el sostenimiento de los recursos pesqueros. En términos generales, un BAC es definido como una región relativamente pequeña en los océanos cuya característica más relevante es la alta productividad biológica, que contrasta con la de masas de agua adyacente, y que trasciende dentro y hacia otros ecosistemas. Esto motiva la existencia de importantes concentraciones de biomasa de organismos, muchos de ellos de importancia comercial. Más aún, estas concentraciones de biomasa generalmente se propagan a ecosistemas aledaños, generando con ello regiones marinas ricas en recursos pesqueros.

Como ha sido descrito por varios autores (este volumen) la topografía de los fondos marinos es determinante para la existencia de estos ecosistemas, y tal como ocurre con muchos ambientes acuáticos, estas regiones están sujetas a grandes variaciones que dependen de cambios en el ambiente oceánico y atmosférico, y en términos temporales, pueden ir desde variaciones diurnas, estacionales, interanuales, decadales, o en ciclos temporales de mayor amplitud.

La vinculación entre el uso de los recursos naturales renovables de los océanos que sostienen una actividad económica con la variabilidad ambiental, conduce a un requerimiento específico de conocimiento sobre la estructura de estos ecosistemas y el comprender como funcionan, con el objetivo último de ser utilizado para fines de uso racional de los recursos biológicos; esto es, si se logra comprender y describir de manera como funcionan estos ecosistemas, podrán tomarse eventualmente acciones que tiendan a reducir la incertidumbre sobre la forma de utilización de los recursos, con el consecuente beneficio económico, en su sentido más amplio.

### El proceso de modelación como concepto

En términos de modelación, el primer proceso a desarrollar y tal vez el más relevante es saber con toda certeza para que se utilizará el modelo a generar. Los

BAC, como se mencionó anteriormente, son regiones altamente productivas desde el punto de vista biológico, y esto significa esencialmente, altas tasas de generación de biomasa. Para que esta biomasa sea útil para el hombre debe ser accesible a través de algunos de los componentes del ecosistema, lo que propiamente llamamos recurso pesquero, donde se tiene un proceso de acumulación de biomasa. Esta biomasa concentrada en algunos componentes es el resultado de la dinámica del ecosistema que invariablemente tienen su origen en la producción primaria, y de ahí se propaga al ecosistema a través de la red trófica. La cantidad de biomasa que se acumula en un grupo biológico determinado será el resultado neto de procesos poblacionales que inducen una ganancia y/o pérdida; y si estos grupos son de interés para el hombre constituirán los recursos pesqueros.

En este sentido, si consideramos las diferentes fuentes de la variabilidad de las biomasa de las especies de un ecosistema, los eventos clave a representar en un modelo serán la estructura del ecosistema (grupos biológicos que lo constituyen), la dinámica trófica y la influencia de variables ambientales (agentes forzantes). Si bien estos elementos son comunes a la modelación de los ecosistemas explotados en general, en términos de los BAC es muy importante incorporar aquellos elementos clave que le otorgan las características de alta productividad biológica; esto es, los procesos de advección, en términos de surgencias o convergencias.

### **Los procesos clave de un ecosistema tipo BAC**

El proceso de advección es un evento de gran relevancia para la productividad de muchas áreas oceánicas y se refiere al efecto de los vientos en el desplazamiento de las masas de agua. Con respecto a los BAC, generalmente se reconocen dos fenómenos, surgencias y convergencias, determinados en gran medida por la topografía y las interacciones océano – atmósfera. Las surgencias ocurren cuando las masas de agua del fondo marino, ricas en nutrientes, llegan a la superficie promoviendo una alta producción primaria. Al generarse incrementos en la biomasa fitoplanctónica, se promueve el incremento del zooplancton como siguiente nivel trófico y así sucesivamente a través de la red alimentaria. El gran contraste en las tasas de producción fitoplanctónica en las zonas determinadas como BAC, en combinación con la continuidad del desplazamiento de las masas de agua provocan altas tasas de producción aún en ecosistemas alejados de los BAC; esto es, esencialmente se presenta el esquema de un ecosistema exportador de energía / biomasa.

El segundo proceso relevante, las convergencias, se caracterizan por la concentración de la producción planctónica de áreas adyacentes creando condiciones especiales para la agregación de organismos de niveles tróficos superiores. Aunque las interdependencias tróficas en ambos tipos de procesos (surgencia y convergencia) son similares, en un BAC originado por convergencia habrá generalmente importación de biomasa de ecosistemas adyacentes vía productores primarios o zooplancton. Esta diferencia entre procesos generará también diferencias en la estructura y funcionamiento de los

BAC. En términos prácticos, particularmente el caso de la pesca, un BAC originado por surgencia estará produciendo biomasa dentro del ecosistema y exportando biomasa a ecosistemas adyacentes; esto proveerá biomasa para el desarrollo de pesquerías en regiones más o menos amplias decreciendo conforme la distancia aumenta desde el centro del BAC. En cambio, en un BAC originado por convergencia, la biomasa será concentrada (importación) desde ecosistemas adyacentes tal que se podrán desarrollar pesquerías puntuales en ciertos sitios, contrastando con la baja producción de zonas adyacentes.

En ambos casos los eventos de orden físico que originan las condiciones para los procesos de advección deberán ser explícitamente representados en los modelos de ecosistemas de tal suerte que el proceso en sí mismo pueda ser asociado directamente a la estructura trófica para representar los flujos de biomasa y su propagación.

Los procesos de surgencia y convergencia pueden ser permanentes o estacionales, imponiendo dinámicas particulares a los ecosistemas. En este sentido, los modelos que se generen deberán también incorporar la estacionalidad de los eventos.

## **Ecopath – Ecosim – Ecospace como herramientas de modelación de ecosistemas BAC**

### **El modelo Ecopath**

Ecopath es un modelo trófico de biomasa balanceado propuesto inicialmente por Polovina & Ow (1984), Polovina (1985) y expandido y mejorado por Christensen & Pauly (1992) que incorpora una cantidad importante de elementos de la teoría ecológica de ecosistema, y de manera notable conceptos derivados de los trabajos de Ulanowicz (1986). El modelo se basa en una ecuación lineal simple:

$$B_i \cdot \left(\frac{P}{B}\right)_i \cdot EE_i - \sum_{j=1}^n B_j \cdot \left(\frac{Q}{B}\right)_j \cdot DC_{ji} - B_i \cdot \left(\frac{P}{B}\right)_i \cdot (1 - EE_i) - EX_i = 0 \quad (1)$$

donde:  $B_i$  es la biomasa del grupo funcional  $i$  en un período de tiempo dado, para  $i = 1 \dots n$  grupos funcionales;  $P/B$  es la proporción Producción/Biomasa, la cual es igual a la tasa instantánea de mortalidad total,  $Z$ , bajo equilibrio (Allen, 1971);  $EE_i$  es la Eficiencia Ecotrófica que representa la fracción de producción consumida, pescada o exportada fuera del sistema;  $EX_i$  representa el rendimiento pesquero,  $Y_i$  de la flota ( $Y_i = F_i B_i$ , donde  $F_i$  es la tasa instantánea de mortalidad por pesca);  $B_j$  es la biomasa del predador  $j$ ;  $(Q/B)_j$  es la proporción Consumo / Biomasa del grupo  $j$ ; y  $DC_{ji}$  es la fracción del grupo  $i$  en la dieta del predador  $j$ . Como se observa esta ecuación representa un balance de biomasa para el grupo  $i$ , y el modelo resuelve tantas ecuaciones como grupos biológicos sean considerados en el mismo. Las Tablas 1 y 2 muestran un ejemplo de los datos de entrada requeridos por el modelo.

**Tabla 1.** Datos de entrada por grupo funcional para la construcción del modelo de flujos de biomasa balanceados tipo Ecopath (tomado de Manickchand-Heileman *et al.* 1998), en este caso para el ecosistema de Laguna de Términos, Campeche. México.

GRUPO	CAPTURA	BIOMASA	P/B	Q/B	EE
Sardinas	0.003	(4.03)	4.31	13.70	0.95
Cojinuda	0.007	(1.36)	0.70	10.00	0.80
Escómbridos	0.038	(0.80)	1.28	8.90	0.75
Peces planos	0.000	0.90	0.30	9.10	(0.92)
Bagres	0.008	0.70	0.45	9.70	(0.94)
Mojarras	0.011	0.90	2.62	21.80	(0.93)
Pargos	0.019	0.08	0.58	4.30	(0.93)
Meros	0.001	0.39	0.45	4.60	(0.91)
Roncos	0.001	0.20	0.40	8.10	(0.93)
Tiburones	0.046	0.08	0.94	7.80	(0.63)
Otros peces	0.120	0.50	0.30	8.30	(0.95)
Calamares	0.000	0.11	1.70	36.50	(0.95)
Camarones	0.043	3.50	7.57	37.90	(0.95)
Epifauna		2.50	2.12	8.50	(0.93)
Infauna		37.40	4.85	24.20	(0.19)
Zooplancton		(5.70)	21.76	119.70	0.95
Fitoplancton		45.50	102.60		(0.10)
Detritos		4.00			(0.28)

**Tabla 2.** Sección de la matriz depredador - presa de la plataforma continental de Yucatán, Golfo de México (adaptado de Arreguín-Sánchez *et al.* 1993). Sólo se presenta información para los principales grupos explotados. \*\*\* indica la existencia de más datos sobre contenidos estomacales que no se observan. La suma del total de las dietas debe ser igual a la unidad.

Grupo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1 Meros			0.207										
2 Pargos	0.091		0.110										
3 Tiburón													
4 Ronco	0.126	0.144	0.116		0.101				0.038				
5 Peto	0.025		0.131										
6 Sardina		0.112	0.065		0.383			0.016	0.305				
7 Mojarra	0.181	0.404	0.074		0.100								
8 Trucha		0.004	0.003										
9 Cojinuda	0.051				0.053								
10 Camarón	0.205	0.034	0.074	0.134	0.230	0.094	0.204	0.102	0.331		0.083	0.016	0.008
11 Langosta	0.056	0.053	0.065										0.147
12 Cangrejo	0.112	0.053	0.013	0.067				0.036	0.060			0.052	0.585
13 Pulpo	0.153	0.187	0.143	0.051	0.107		0.058	0.071	0.099				
											0.125	0.101	0.188
			***	***	***	***	***	***	***		***	***	

### **Los resultados del modelo Ecopath pueden sintetizarse como sigue:**

Estadísticas básicas por grupo: eficiencia bruta y neta, flujos a detritus, nivel trófico, índice de omnivoría, respiración, asimilación, coeficientes de mortalidad (total, por pesca, natural por predación y natural por otras causas excepto predación), alimento consumido (biomasa), nicho trófico de presas y predadores, entre otros.

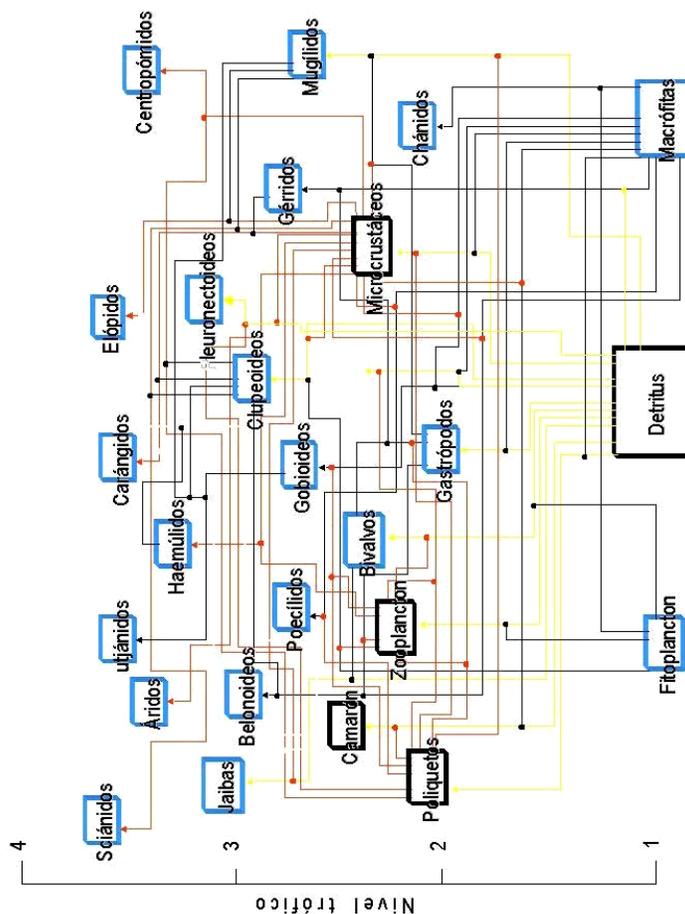
Estadísticas básicas del ecosistema: total de consumos; flujos totales a respiración, flujos a detritus, total de flujos del sistema; producción total y neta; eficiencia bruta; producción primaria neta total; biomasa y captura totales, índices de conectancia y de omnivoría.

Índices de flujos de la red trófica: ascendencia por grupo, ascendencia total, capacidad de desarrollo del sistema (ascendencia, "overhead" y capacidad, cada uno expresado para importación, flujos internos, exportación y respiración); total de vías de flujo en el sistema y contenido de información; ciclos y longitudes de las vías de flujo (reciclaje, ó índices de reciclaje en predadores, índices de Finn (1976) para reciclaje y longitud de vías de flujo); flujos relativos y absolutos entre grupos; flujos y biomasa por nivel trófico; transferencia de energía, flujos a importación, consumo por predación, a exportación, a detritus, a respiración y total; producción primaria requerida para sostener los consumos por todos los grupos y la pesca; impactos directos e indirectos (entre grupos)

Para la construcción del modelo, todos los datos de entrada son estandarizados en términos de unidades de biomasa por unidad de área por unidad de tiempo (i.e.  $\text{g m}^{-2} \text{año}^{-1}$ ). Generalmente el proceso de balanceo del modelo consiste en satisfacer la condición establecida por la ecuación 1 para todos los grupos. Posteriormente se procede a la calibración del modelo, proceso que consiste en dos etapas, probar su consistencia, esto es, que haya lógica en los procesos biológicos representados (tales como una relación Respiración/Biomasa mayor para los grupos más activos, etc.), y validación, que consiste en ajustar estadísticos estimados por Ecopath con otros obtenidos de manera independiente, tales como la tasa de mortalidad por pesca y tasa de cosecha, entre otros.

Ecopath incorpora criterios de restricción que permiten obtener, bajo las condiciones establecidas por dichos criterios, el mejor modelo posible. Para ello utiliza el concepto bayesiano; se selecciona la distribución probabilística previa para cada parámetro de entrada al modelo y se asigna un porcentaje de variación. Se elige un criterio de restricción entre los siguientes: minimizar residuales, maximizar biomasa total, o flujos (energía), o ascendencia. A través de la técnica de MonteCarlo se estiman los parámetros estadísticos (media y varianza) de acuerdo a los histogramas de probabilidad de cada parámetro.

El resultado de esta etapa es un modelo balanceado de flujos de biomasa (Fig. 1) que representa condiciones estables y que puede ser utilizado mas adelante para proveer una caracterización de la dinámica del ecosistema.



**Figura 1.** Diagrama de flujo de biomasa para el ecosistema lagunar Huizache-Caimanero, Sinaloa, México. Las biomazas son dadas en g m<sup>-2</sup>; las tasas del g m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> (tomado de Zetina, 1999).

### El modelo Ecosim

La ecuación básica de Ecopath (ecuación 1) es re-expresada en Ecosim (Walters *et al.*, 1997) como un sistema de ecuaciones diferenciales bajo equilibrio:

$$dB_i/dt = 0 = B_i \cdot (P/B)_i - F_i B_i - M_0 B_i - \sum_{j=1}^n Q_{ij} \quad (2)$$

siendo:  $Q_{ji} = B_j (Q_j/B_j) DC_{ji}$ , que representa el consumo total de  $i$  por  $j$ , y  $M_0$  es la tasa de mortalidad natural debida a otras causas que no son consumo ni

pesca. La generalización de esta ecuación para situaciones de equilibrio y no equilibrio es:

$$dB_i/dt = f(B) \cdot M_0 - F_i B_i - \sum_{j=1}^n c_{ij}(B_i, B_j) \quad (3)$$

donde:  $f(B)$  es función de  $B_i$  si la especie  $i$  es un productor primario, y para consumidores:

$$f(B) = g_i \sum_{j=1}^n c_{ji} \cdot (B_i, B_j)$$

donde:  $g_i = B_i (P_i/B_i)$  representa la eficiencia neta del crecimiento y  $c_{ij}(B_i, B_j)$  es la función usada para predecir  $Q_{ij}$  de  $B_i$  y  $B_j$ .

El término  $c_{ij}(B_i, B_j)$  es una forma funcional usada en Ecosim para predecir flujos de consumos representando encuentros entre predadores y presas y fenómenos fisiológicos y de comportamiento tales como el saciamiento de los predadores. Debido a que la biomasa disponible a la predación varía con  $B_i$  y  $B_j$ , Ecosim representa los flujos de consumos de  $i$  a  $j$  como:

$$c_{ij}(B_i, B_j) = v_{ij} a_{ij} B_i B_j / (v_{ij} + v'_{ij} + a_{ij} B_j) \quad (4)$$

donde:  $a_{ij}$  es la tasa de búsqueda efectiva del tipo de presa  $i$  por el predador  $j$  (o la tasa instantánea de mortalidad sobre la presa  $i$  causada por una unidad de predador  $j$ ), y  $v_{ij}$ ,  $v'_{ij}$  son los parámetros de vulnerabilidad de las presas con el supuesto inicial,  $v_{ij} = v'_{ij}$ , representando la tasa a la cual la disponibilidad de biomasa de la presa aumenta.

Una de las formas dadas por Ecosim para predecir consumo es la denominada "limitación conjunta" (Walters *et al.*, 1997) la cual representa una limitación global de flujos definida por ambos, predadores y presas; pero también puede representarse el control de flujos por predadores o presas de manera independiente. Esta condición es representada por la relación:

$$c_{ij}(B_i, B_j) = a_{ij} m_{ij} B_i B_j / (m_{ij} + a_{ij} B_i B_j) \quad (5)$$

la cual predice los flujos para niveles bajos de  $B_i$  y/o  $B_j$ , pero alcanza un flujo máximo  $m_{ij}$  cuando cualquiera  $B_i$  ó  $B_j$  es muy grande.

Ecosim permite hacer simulaciones en diversas escalas de tiempo considerando cambios en patrones de mortalidad por pesca, patrones de variación inter- e intra- anuales de variables ambientales expresadas como agentes forzantes cuyo efecto es asignado a cada grupo o conjunto de grupos; efectos asociados a la vulnerabilidad a la predación, o bien efectos combinados. Así mismo, es posible acoplar series de tiempo de datos independientes, representando índices asociados con los patrones simulados por Ecosim, para grupos específicos del ecosistema. Algunos de estos índices pueden ser reclutamiento, captura por unidad de esfuerzo, estimaciones de biomasa, etc.

## El modelo Ecospace

Ecospace (Walters *et al.*, 2000) es un modelo diseñado para representar la dinámica espacial (y temporal) de los grupos en el ecosistema. Para ello se requiere de la identificación y asignación del(los) hábitat(s) preferencial(es) para los grupos que constituyen el modelo. Estos hábitats son ubicados en un mapa construido por cuadrantes (a manera de un sistema de información geográfica de baja resolución) donde además pueden indicarse los sitios de pesca, áreas marinas protegidas, etc. La base de la dinámica espacial está directamente ligada a la ecuación (3) (base de Ecosim) y a la “capacidad de desplazamiento para cada grupo”, la cual es definida principalmente por el riesgo trófico, expresado por el cociente entre la probabilidad de ser consumido por predadores y la probabilidad de consumir una presa. Si este cociente tiene un valor alto, los individuos tenderán a moverse hacia áreas adyacentes más favorables (menor riesgo). A este riesgo trófico se encuentran asociados la superficie de contacto entre áreas adyacentes y el desplazamiento de los individuos (capacidad asociada al gasto energético).

Con respecto al tipo de procesos que definen la dinámica de los BAC, Ecospace provee una interfase para representar patrones generales de corrientes o vientos (generados por fuerzas geostróficas) en la superficie del agua (Christensen & Walters, 2000). Con base en estos patrones, Ecospace calcula flujos horizontales de equilibrio y campos de velocidad de surgencias / convergencias que mantienen la continuidad (balances de masas de agua) incorporando los efectos de la fuerza de Coriolis. Esto es, los campos de advección son calculados de las ecuaciones linealizadas de campos de presión y velocidad  $df / dt = 0$ ,  $dV_u / dt = 0$ ,  $dV_v / dt = 0$ , a través de cada lado de cada celda (cuadrante) de que se compone Ecospace (u,v), donde  $f$  es la anomalía de la superficie del mar, las  $V$ 's son los componentes horizontal y de velocidad (dirección u, v) y las ecuaciones de las tasas que satisfacen cada lado de una celda se son:

$$\begin{aligned} dh/dt &= V_{uh}/u + V_{vh}/v - D_h \\ dV_u / dt &= K W_u - K V_u - fV_v - gh/u \\ dV_v / dt &= K W_v - K V_v - fV_u - gh/v \end{aligned}$$

donde las  $W$ 's representan el patrón de forzamiento definido externamente (o el campo de circulación general),  $h$  = anomalía de la superficie del mar,  $K$  = fuerza de fricción del fondo,  $f$  = fuerza de Coriolis,  $D$  = tasa de advección / convergencia, y  $g$  la aceleración debida a la pendiente de la superficie del mar.

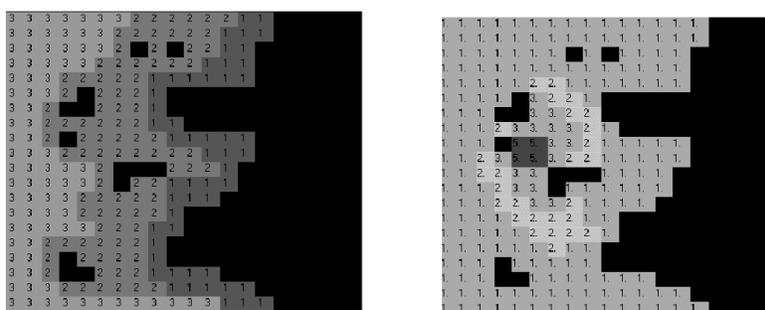
De acuerdo con Christensen & Walters (2000), la solución de estas ecuaciones para una situación de equilibrio no substituye a modelos advectivos más elaborados; de hecho los valores de  $W_u$  y  $W_v$  son provistos por dichos modelos o por análisis directo de datos de corrientes superficiales. El esquema de solución de Ecospace es usado únicamente para asegurar el balance de masas y corregir las situaciones locales causadas por la topografía y fuerza de Coriolis. Esto es, en ausencia de efectos de una línea de costa, fondos y anomalía de la superficie del mar ( $h$ ), las velocidades de equilibrio son  $V_u=W_u$ ,  $V_v=W_v$ . Una vez que los

patrones de advección han sido definidos, se puede especificar cual(es) grupo(s) están sujetos a las velocidades de advección (campos  $V_u$  y  $V_v$ ), en adición a movimientos causados por natación y/o mezcla por turbulencia.

### Ejemplo hipotético

En la Figura 2 se muestra un mapa, a manera de un sistema de información geográfica de baja resolución, de un ejemplo hipotético donde se muestran con los escenarios base; esto es, los principales hábitats del ecosistema, y los sitios geográficos específicos donde se observan incrementos en la producción primaria. De manera paralela se construye un campo de advección generado por la acción de los vientos y la fuerza de Coriolis. En la Tabla 3 se indican los parámetros usados para generar dicho campo de advección, en procesos de surgencia y convergencia.

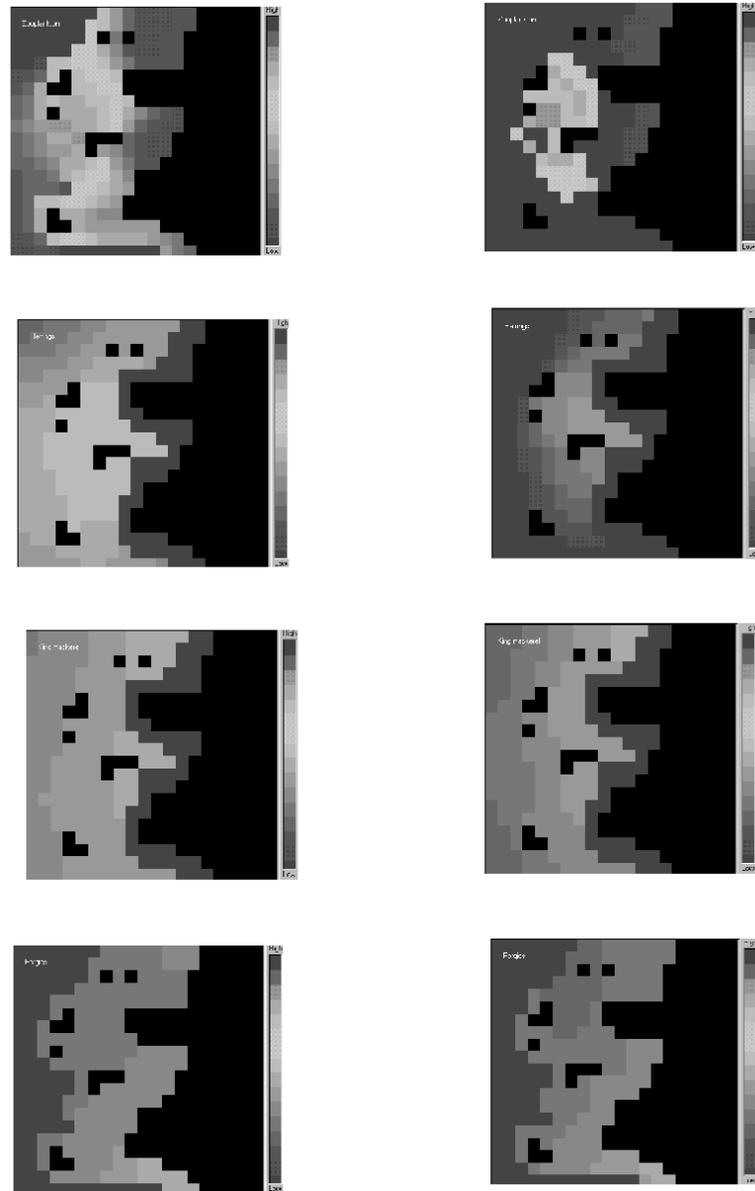
En la Figura 3 se muestran la salida de las simulaciones de los procesos de surgencia, a la izquierda, y convergencia, a la derecha, para grupos seleccionados del ecosistema; de arriba hacia abajo: zooplancton (nivel trófico,



**Figura 2.** Mapas base para la simulación de distribución espacial de biomasa mostrando: Arriba, hábitats, 1 costa, 2 plataforma continental y 3 ambiente pelágico. Abajo, Incremento local en la producción primaria (los números corresponden al factor de incremento con respecto al valor estimado por Ecopath).

**Tabla 3.** Parámetros utilizados para representar procesos de advección asociados a fenómenos de surgencia y convergencia.

Parámetro	
Componente $W_u$ del campo de circulación	80 km / año
Componente $W_v$ del campo de circulación	80 km / año
Efecto de Coriolis (rango de -1.0 a +1.0)	+0.5
Transporte en mar abierto	131.1 km / año
Velocidad de surgencia	0.22 km / año
Dispersión en proceso de surgencia para fitoplancton y zooplancton	450 km / año
Dispersión en proceso de convergencia para fitoplancton y zooplancton	-2.0 km / año
Factor de efecto de advección sobre el fitoplancton	5
Factor de efecto de advección sobre el zooplancton	3



**Figura 3.** Simulación de distribución espacial de la biomasa debida a procesos de advección (ejemplo hipotético). El conjunto de la izquierda corresponde al fenómeno de surgencia, y el de la derecha al de convergencia. De arriba hacia abajo se presentan grupos seleccionados, zooplancton, sardinas, macarelas y mojarrones, respectivamente. Los colores representan abundancia relativa de biomasa, mayor - color rojo, menor - color azul. Debe notarse la distribución amplia de la biomasa en el espacio en el proceso de surgencia (expansión), así como una contracción espacial de la biomasa en el proceso de convergencia, mostrando reducción de biomasa en zonas adyacentes (para mayor explicación ver texto).

TL=2.1), sardinas (Clupeoidae: TL=3.3), macarelas (Scombridae: TL=4.4) y mojarrón (Sparidae: TL=3.4). En el conjunto de diagramas a la izquierda, en la Figura 3, es notorio el efecto de la surgencia como mecanismo exportador, desde un centro de producción (Figura 2) que se expande hacia regiones adyacentes. En este sentido, la dispersión del zooplancton motiva a su vez la distribución de las sardinas y estas de las macarelas, a través de relaciones predador - presa directas. Tal como ha sido señalado por varios autores (Christensen & Pauly, 1995; Christensen, 1996; Pauly *et al.*, 1998; Pérez-España & Arreguín-Sánchez, 1999a; Arreguín-Sánchez, 2000), este tipo de efectos no se propaga de manera similar en toda la red trófica, mostrando menor intensidad en los grupos que están indirectamente relacionados con la cadena trófica central que parte de fitoplancton, tal como ocurre en este caso con los mojarrones.

En la porción derecha de la misma Figura 3, se muestra un ejemplo del fenómeno de convergencia, donde se observa una concentración (contracción) en la distribución espacial del zooplancton, y en consecuencia de las sardinas y las macarelas. De la misma manera que en el caso anterior, los mojarrones mostraron menor impacto a estos cambios.

Las diferencias observadas en la dinámica espacial de los grupos mostrados en la Figura 3 son resultado de las interdependencias tróficas, la eficiencia de transferencia, y la estructura del ecosistema. Cushing (1975) explica la relación entre el zooplancton y el contenido de fósforo en el agua. Esta relación representa uno de los mecanismos que gobiernan la producción biológica asociada a los procesos de surgencias donde, a través de la aportación de nutrimentos por las masas de agua ascendentes que provienen de fondo, se incrementa sensiblemente la producción primaria fitoplanctónica.

Este tipo de mecanismos difieren entre procesos (convergencia y surgencia) donde la advección, en el caso de la convergencia, actúa favoreciendo la concentración local de biomasa proveniente de zonas aledañas. Este proceso constituye un mecanismo completamente diferente a la surgencia, siendo muy probable que la estructura de las comunidades sea diferente y en consecuencia la dinámica de flujos de biomasa del ecosistema. De ser así, la respuesta de estos ecosistemas tipo BAC a perturbaciones como la pesca probablemente sea también diferente (Christensen, 1996, 1998; Vasconcellos *et al.*, 1997; Arreguín-Sánchez & Manickchand-Heileman, 1998; Pérez-España & Arreguín-Sánchez, 1999b). En términos de utilización de los recursos del ecosistema, la descripción de la estructura, funcionamiento y dinámica de los ecosistemas tipo BAC es el reto científico a abordar (ver Pauly, 1998; Pauly *et al.*, 2000).

El contraste entre los dos procesos simulados en la Figura 3 es claro, en el caso de la surgencia puede observarse como la producción se transfiere hacia áreas aledañas definiendo una distribución relativamente amplia de las especies asociadas de manera directa a la cadena trófica iniciada en fitoplancton; mientras que en la convergencia, la producción decrece en las áreas aledañas al BAC promoviendo una contracción en la distribución de las especies en un sentido espacial. Evidentemente, si hay pesquerías alrededor de estas especies, en

algunos casos, como las sardinas y las macarelas, la flota tendrá que definir estrategias que le permitan seguir la concentración de los organismos, mientras que en casos como el de los mojarrones, las estrategias de pesca probablemente no sean muy diferentes.

Los procesos de expansión y contracción de clupeoideos asociados a procesos de surgencia son bien conocidos (Pauly, 1987; Jarre-Teichman & Pauly, 1993; Bakun, 1996; Cisneros-Mata *et al.*, 1995, 1996), así como sus consecuencias en la disponibilidad de los recursos y en la industria pesquera (Lluch-Belda *et al.*, 1986; Lluch-Cota *et al.*, 1999; Pauly, 1987; Jarre-Teichman & Pauly, 1993; Cisneros-Mata *et al.*, 1995, 1996; Bakun, 1996; Cole & McGlade, 1998). Si se piensa en términos de escala real, y en los volúmenes de pesca en áreas de surgencia, la representación de la distribución espacial de los recursos asociados a campos de advección a través de modelos, es de gran importancia potencial desde el punto de vista de manejo.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo a través del proyecto CeGEPI-980056, así como de los programas institucionales EDI y COFAA, del Instituto Politécnico Nacional

## BIBLIOGRAFÍA

- Allen, K.R. 1971. Relation between production and biomass. J. Fish. Res. Bd. Can. 28:1573-1581.
- Arreguín-Sánchez, F. 2000. Octopus - red grouper interaction in the exploited ecosystem of the northern continental shelf of Yucatan, Mexico. Ecological Modelling. (en prensa).
- Arreguín-Sánchez, F., J.C. Seijo & E. Valero. 1993. An application of the ECOPATH II to the North continental shelf ecosystem of Yucatan, Mexico. 269-278. In: Christensen, V. & D. Pauly. Trophic box models of Aquatic Ecosystems. ICLARM Conf. Proc. 26. Philippines. 39.
- Arreguín-Sánchez, F. & S. Manickchand-Heileman. 1998. The trophic role of lutjanid fish and impacts of their fisheries in two ecosystems in the Gulf of Mexico. Journal of Fish Biology. 53 (Supplement A), 143-153.
- Bakun, A. 1996. Patterns in the Oceans: Ocean Processes and Marine Population Dynamics. Univ. Calif. Sea Grant, USA, CIBNOR, México. 323p.
- Christensen, V. 1996. Managing fisheries involving predator and prey species. Reviews in Fish Biology and Fisheries. 6:417-442.
- Christensen, V. 1998. Fisheries-induced changes in a marine ecosystem: insights from the Gulf of Thailand. Journal Fish Biology. 53 (Suppl. A): 128-142.
- Christensen, V. & D. Pauly. 1992. Ecopath II, a system for balancing steady state ecosystem models and calculating network characteristics. Ecological Modelling. 61: 169-185.

- Christensen, V. & D. Pauly. 1995. Fish production, catches and the carrying capacity of the world. NAGA, The ICLARM Quarterly, 18(3):34-40.
- Christensen, V. & C. Walters. 2000. Ecopath with Ecosim: Methods, capabilities and limitations. En: Pauly, D. & T.J. Pitcher (Eds.), Methods for assessing the impact of fisheries on marine ecosystems of the North Atlantic. Fisheries Centre Research Reports 8(2): (in press).
- Cisneros-Mata, M.A., M.O. Nevárez-Martínez & G. Hammann. 1995. The raise and fall of the Pacific sardine, *Sardinops sagax caeruleus* Girard, in the Gulf of California Mexico. CalCOFI Rep. 36:136-143.
- Cisneros-Mata, M.A., G. Montemayor-López & M.O. Nevárez-Martínez. 1996. Modeling deterministic effects of age structure, density-dependence, environmental forcing, and fishing on the population dynamics of *Sardinops sagax caeruleus* in the Gulf of California. CalCOFI Rep. 37:201-208.
- Cole, J. & J. McGlade. 1998. Clupeoid population variability, the environmental and satellite imagery in coastal upwelling systems. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 8:445-471.
- Cushing, D.H. 1975. Marine Ecology and Fisheries. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. 228p.
- Finn, J. T. 1976. Measures of ecosystem structure and function derived from analysis of flows. J. Theor. Biol. 56:363-380.
- Jarre-Teichman, A. & D. Pauly. 1993. Seasonal changes in the Peruvian upwelling ecosystem. p. 307-314. En: Christensen, V. & D. Pauly (Eds.), Trophic models of aquatic ecosystems. ICLARM Conf. Proc. 26, 390p.
- Lluch-Belda, D., F.J. Magallón & R.A. Schwartzlose. 1986. Large fluctuations in the sardine fishery in the Gulf of California: Possible causes. CalCOFI Rep. 27:136-140.
- Lluch-Cota, S.E., D.B. Lluch-Cota, D. Lluch-Belda, M.O. Nevárez-Martínez, A. Parés-Sierra & S. Hernández-Vázquez. 1999. Variability of sardine as related to enrichment, concentration, and retention processes in the central Gulf of California. CalCOFI Rep. 40:184-190.
- Manickchand-Heileman, S. & F. Arreguín-Sánchez. 1998. A trophic model and network analysis of Terminos Lagoon, southern Gulf of Mexico. Journal of Fish Biology, 53 (Supplement A):179-197.
- Pauly, D. 1987. Managing peruvian upwelling ecosystem: a synthesis p. 325-342. En: D. Pauly & I. Tsukayama (Eds.), The peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of changes. ICLARM Studies and Reviews 15.
- Pauly, D. (Ed.). 1998. Use of Ecopath with Ecosim to evaluate strategies for sustainable exploitation of multi-species resources. Fisheries Centre Research Reports 6(2). 49p.

- Pauly, D., V. Christensen, J. Dalsgaard, R. Froese & F. Torres Jr. 1998. Fishing Down Food Webs. Science. 279: 860-863.
- Pauly, D., V. Christensen & C. Walters. 2000. Ecopath, Ecosim and Ecospace as tools for evaluating ecosystem impact of fisheries. En: Proc. ICES/SCOR Symposium *Ecosystem effects of fishing*, 16-19 March 1999. Montpellier, France.
- Pérez-España, H. & F. Arreguín-Sánchez. 1999a. A measure of ecosystem maturity. Ecological Modelling. 119:79-85.
- Pérez-España, H. & F. Arreguín-Sánchez. 1999b. Complexity related to behavior of stability in modeled coastal zone ecosystems. Aquatic Ecosystem Health and Management. 2: 129-135.
- Polovina, J.J. 1984. Model of a coral reef ecosystem. I. The ECOPATH model and its application to French Frigate Shoals. Coral Reefs. 3(1):1-11.
- Polovina, J.J. & M.D. Ow. 1983. Ecopath user's manual and program listings. NMFS/NOAA Honolulu Admin. Rep. H-83-23 46.
- Ulanowicz, R.E. 1986. Growth and development: ecosystem phenomenology. Springer Verlag, New York, 203 p.
- Vasconcellos, M., S. Mackinson, K. Sloman & D. Pauly. 1997. The stability of trophic mass-balance models of Marine ecosystems: a comparative analysis. Ecological Modelling. 100:125-134.
- Walters. C., V. Christensen & D. Pauly. 1997. Structuring dynamic models of exploited ecosystems from trophic mass-balance assessments. Reviews in Fish Biology and Fisheries 7:1-34.
- Zetina, M.J. 1999. Influencia de la pesca de camarón en la estructura del ecosistema lagunar Huizache-Caimanero, Sinaloa, México. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del IPN, México.

# 3

## **POSIBILIDADES PARA EL MONITOREO AMBIENTAL Y BIOLÓGICO EN BAC MEXICANOS COMO UNA ESTRATEGIA PARA LA PREVENCIÓN, DETECCIÓN Y MITIGACIÓN DE FLORACIONES ALGALES NOCIVAS**

*Arturo P. Sierra-Beltrán*

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

### **RESUMEN**

Los Centros de Actividad Biológica (BAC) localizados en el Pacífico Mexicano han sido y continúan siendo impactados por la presencia de eventos de floramientos de fitoplancton denominados coloquialmente como Mareas Rojas. La información existente a la fecha no permite establecer de manera definitiva si existe algún tipo de relación de estos eventos con fenómenos antropogénicos, naturales o una conjunción de ambos. Actualmente, la acelerada dinámica poblacional en las costas del país, especialmente en las zonas denominadas BAC, asociado al cambio climático global, no permite discriminar claramente sus efectos y hacer un análisis en este sentido. Las tendencias observadas en las reducidas regiones en las que se han mantenido observaciones de manera mas o menos frecuente por periodos prolongados de tiempo, así como observaciones esporádicas durante eventos anormalmente notorios, indican un incremento en el número de eventos, su frecuencia, duración, así como el número de especies que las causan, lo que pudiera ser explicado como una resultante de ambas influencias, la antropogénica y la del cambio climático, sin poder ponderar su participación clara. Es por ello necesario el establecimiento de programas de monitoreo que permitan tener series de datos biológicos que brinden la posibilidad de analizar la influencia de estos fenómenos, por separado y de manera conjunta, sobre la abundancia y composición de las poblaciones de fitoplancton, poniendo especial atención a las especies tóxicas y nocivas, como parte de una estrategia encaminada a la prevención y mitigación de los efectos de dichos fenómenos.

**Palabras clave:** Floraciones algales nocivas, Mareas Rojas, Observación ambiental, BAC.

### ABSTRACT

The Biological Activity Centers (BAC) located in the Mexican Pacific have been and still are impacted by the presence of flourishing of phytoplankton events popularly known as Red Tides. The existing information to date does not allow establishing in a definite way if there is some kind of relation of these events with anthropogenic or natural phenomena, or a mixture of both. At present the accelerated population dynamics on the country's coasts, especially in the areas known as BAC, along with the global climatic change, does not allow to clearly discriminate their effects and to perform an analysis in this sense. The observed tendencies in the reduced regions in which observations have been made in a more or less frequent basis for long time periods, as well as the sporadic observations during abnormally notorious events, indicate an increase in the number of events, their frequency, duration, and the number of species causing them. This could be explained as a result of both influences, the anthropogenic and the climate change, without clearly weighting their participation. Therefore it is necessary to establish monitoring programs to allow the collection of biological data. This would make possible to analyze the influence of these phenomena, separately and in conjunction, on the abundance and composition of phytoplankton populations. Special attention should be paid to the toxic and noxious species, as part of a strategy focused on the prevention and mitigation of the effects of such phenomena.

**Key words:** Harmful algal blooms, Red Tides, Environmental monitoring, BAC.

### GENERALIDADES

Aunque las floraciones algales nocivas han ocurrido desde mucho tiempo antes de que el hombre empezara a modificar el ecosistema costero, la prospección de los lugares afectados por eventos de intoxicación de humanos o pérdidas económicas en las décadas recientes, demuestra de manera inconfundible que ha habido un dramático incremento en los efectos de las microalgas nocivas. El problema está ahora muy disperso y es muy serio. Debe recordarse, que los impactos de las microalgas nocivas se extienden mucho más allá de los efectos en la economía y en la salud de los seres humanos. Cuando estos eventos contaminan o destruyen los recursos costeros, la supervivencia de los residentes locales está amenazada y la sustentabilidad de las poblaciones biológicas, incluyendo las humanas, está muy comprometida. Claramente, existe una necesidad imperiosa de desarrollar respuestas efectivas para abordar el problema de las microalgas nocivas a través del manejo y la mitigación. Esto requiere el conocimiento de los factores que controlan la distribución y la tasa neta de crecimiento (la dinámica de población) de las especies de microalgas

consideradas como nocivas, así como sus interacciones con otros componentes del ecosistema, incluyendo el hombre.

Entre las pesquerías más importantes de las márgenes costeras del Noroeste del Pacífico Mexicano, se encuentran el atún, en diversas variedades, las sardinas y anchovetas, el camarón, y la fauna asociada con esta pesquería, el calamar y los moluscos bivalvos y en menor escala el tiburón (Bakun *et al.*, 1999). Los moluscos (ostiones, almejas y mejillones) y los crustáceos (camarones), son alimentos únicos apreciados por los consumidores durante muchos años. La popularidad de estos productos como alimento data de varios siglos de historia. Ya que estos representan uno de los recursos naturales con mayor abundancia, pasaron a formar parte de la dieta desde el asentamiento de los primeros colonizadores de las costas. Esta presión de parte de los consumidores ha ocasionado la sobre-explotación de las poblaciones naturales y el consecuente incremento de los precios del producto. Así, se dan las condiciones ideales para que se convierta en redituable económicamente la actividad del cultivo de estos productos. Sin embargo, redituable no es sinónimo de sustentable, así se dan situaciones “naturales” que han puesto en serio riesgo de colapso esta actividad. Dos fenómenos asociados a la presencia de microalgas nocivas han impactado seriamente la acuicultura a nivel mundial: las mortandades masivas de organismos en cultivo (y en el medio natural) por las denominadas floraciones algales nocivas y la acumulación de toxinas en los organismos cuando estos se alimentan con microalgas tóxicas, haciendo el producto peligroso para el consumidor.

### **Esfuerzos actuales de monitoreo e investigación en México**

Los impactos al medio ambiente acuático, marino y terrestre en México, ocasionados por diversos agentes, tanto químicos como biológicos, han representado un porcentaje considerable del total de efectos en los recursos naturales en años recientes (1995-1998) (DGVOE-PROFEPA/SEMARNAP, 1999). Entre éstos, destaca de manera muy importante la formación de las llamadas “Mareas Rojas”, que han llegado a representar hasta el 25% de los eventos registrados a nivel nacional (DGVOE, PROFEPA/SEMARNAP, 1996, 1997). La comunidad científica se refiere a estos eventos con el término genérico de “Floraciones Algales Nocivas”, reconociendo sin embargo, que las conforman un amplio rango de organismos y algunas especies tienen efectos tóxicos a bajas densidades, que no todas las Floraciones Algales nocivas son “algas” y que no siempre ocurren como floraciones. Una amplia clasificación de estos eventos distingue dos grupos de organismos: los que producen toxinas que pueden contaminar los alimentos o matar peces y otros animales acuáticos y, los que producen grandes biomásas que pueden ocasionar anoxia y causar muertes indiscriminadas en la vida marina después de alcanzar grandes concentraciones. Algunos eventos de floración tienen ambas características.

La investigación al respecto de "Mareas Rojas" tóxicas, o Floraciones Algales Nocivas, FAN, se ha incrementado en los últimos años. Además de su importancia respecto de la salud pública y los impactos sobre las actividades

económicas que se desarrollan en zonas costeras, el interés ha derivado del aumento que se ha registrado en el número y frecuencia de éstos en diversas zonas costeras de océano mundial (Anderson, 1989). Una de las hipótesis más sólidas que se han considerado para explicar este aumento se basa en que los cambios climáticos a diferentes escalas temporales, desde la interanual (p.e. eventos ENSO) hasta la interdecadal, son responsables de los cambios en la distribución y composición de las poblaciones marinas (Hallegraeff, 1995; Anderson *et al.*, 1998). En este contexto, en diversos países se han enfocado esfuerzos encaminados al establecimiento de sistemas de monitoreo ambiental y biológico, tanto para estudiar las relaciones entre variabilidad ambiental y la presencia y peligrosidad de FAN, como para desarrollar una capacidad predictiva que permita la toma oportuna de medidas preventivas y correctivas ante estos eventos. En el caso de México, la ocurrencia de grandes mortalidades de animales marinos a lo largo de las costas del Golfo de México ha sido reconocida desde la época de la colonia (Siglo XVII) (Bongersma-Sanders, 1957). Poco a poco se relacionó a estos fenómenos con la ocurrencia de grandes mareas rojas y con el hecho de que los habitantes de la costa sufrían afecciones respiratorias y cutáneas al aproximarse o tener contacto con la brisa del mar (Núñez-Ortega, 1879). En las costas del Pacífico los historiadores reportan la existencia de tradiciones locales que evitaban la ingestión de mariscos en ciertos periodos del año, notando que cuando los conquistadores ignoraban estas advertencias se sucedieron severos episodios de envenenamiento (Cabeza de Vaca, siglo XVI). En la península de Yucatán la imagen es similar, con reportes de mortalidades de peces desde 1648 (Ramírez-Granados, 1963). A pesar de estos antecedentes históricos, el primer reporte documentado de envenenamiento por consumo de moluscos data de 1976 (Saldate-Castañeda *et al.*, 1991), con siete casos y dos muertos. En una revisión previa (Ochoa *et al.*, 1998; Sierra-Beltrán *et al.*, 1998), enfatizaron la necesidad de un monitoreo permanente para evitar o reducir el impacto de dichos eventos. Sin embargo, carecemos actualmente de sistemas de evaluación confiables sobre el impacto que dichos fenómenos han producido. Una parte del problema se atribuye a la limitada capacidad de monitoreo sistemático y otra, a la falta de expertos y personal entrenado. Ya que las floraciones algales nocivas son una parte integral del ecosistema, se requiere de un enfoque interdisciplinario para abordar estas cuestiones (SCOR-IOC, 1998).

En el periodo previo al establecimiento del Tratado de Libre Comercio (TLC) entre U.S.A., Canadá y México, la Secretaría de Salud en México estableció un Memorandum de Entendimiento con la Administración de Alimentos y Drogas de los Estados Unidos (US-FDA) en relación a las condiciones sanitarias de los moluscos. Este establece que México iniciaría un programa similar al National Shellfish Sanitary Program (NSSP) y desde ese momento se tomaron acciones para modificar o establecer la legislación adecuada para hacerlo. Ahora existe el Programa Mexicano de Sanidad de Moluscos Bivalvos (PMSMB), un órgano alterno el cual es heterogéneo en su comité ejecutivo pero cuya dirección recae, por ley, en la Secretaría de Salud, ya que esta entidad es la encargada de salvaguardar la sanidad alimenticia en el país. De acuerdo a esto, existen leyes

que especifican la cantidad máxima permitida de toxinas en alimentos para consumo humano, los procedimientos para determinar su concentración, etc. (NOM-031...??). De hecho, todo el programa se rige por una serie de ordenanzas derivadas o extraídas del NSSP. Sin embargo, la realidad actual del PMSMB es que el programa de monitoreo solo es operativo en 4 reducidas regiones: 3 en el Pacífico Noroeste (Pto. Peñasco, Son., Ensenada, B.C. y San Ignacio B.C.S.) y una en el Pacífico Sureste (Acapulco, Gro.). Algunos de los problemas relacionados con la operatividad del PMSMB están relacionados con el hecho de que con la excepción de Acapulco, los monitoreos se aplican exclusivamente a moluscos cultivados que se pretende sean introducidos al mercado americano dejando por ello sin atención a la mayor parte de las costas.

### **Importancia en los BAC mexicanos: Punta Eugenia, Bahía Magdalena, parte central del Golfo de California y el Golfo de Tehuantepec**

El desconocimiento del tema es enorme en algunas regiones del país. Esto no es un reflejo de la ausencia de eventos, sino de la poca atención que ha recabado el tema. Lejos de existir una imagen densa de observaciones y estudios al respecto, representativa del aprovechamiento de las costas en el país desde tiempos históricos, únicamente se han mantenido sistemas permanentes de monitoreo en Guaymas, Son. y Mazatlán, Sin., durante 26 y 18 años respectivamente (Cortés-Altamirano *et al.*, 1996).

En la región de Punta Eugenia, considerada una zona clásica de surgencias en Baja California se ha reportado la presencia de extensas y perdurables mareas rojas de dinoflagelados, demostrando la competencia que estos organismos pueden representar para las diatomeas aun en condiciones extremas (Blasco, 1977; Estrada & Blasco, 1979; Orellana-Zepeda *et al.*, 1993), aportando enormes cantidades de energía y biomasa a las cadenas alimenticias locales que albergan importantes pesquerías (camarón, sardina y anchoveta, abulón y langosta), a las que se les esta rápidamente agregando actividades de acuicultura (atún, langosta, abulón, ostión, mejillón y mano de león).

Un poco más al sur, en Bahía Magdalena, se han registrado varias mortandades de organismos marinos (Ochoa *et al.*, 1998) afectando mamíferos marinos, peces, crustáceos, moluscos y aves. No es posible hablar de una marcada periodicidad y sólo se puede mencionar que los eventos primordialmente se manifiestan en la primavera temprana y poco frecuentemente a inicios del otoño (Ochoa *et al.*, 1997). Debido a la magnitud de los litorales, no ha sido posible realizar estudios a profundidad de todos los casos y esto ha impedido determinar de manera definitiva los agentes causales del fenómeno, pero entre ellos destacan los géneros *Gymnodinium* sp., *Alexandrium* sp. y *Gonyaulax* sp. asociados a la mortandad de mamíferos marinos, peces y aves. Recientemente, en primavera-verano de 1999, un poco al norte del límite de la zona del BAC de Bahía Magdalena se presentaron de manera consecutiva en un periodo de tres semanas, dos eventos causados por *Alexandrium catenella*, ocasionando gran

mortandad de organismos bentónicos, sobre todo afectando las pesquerías de pulpo y langosta con extensas mortandades evidenciadas en las costas.

En el Golfo de California, se tienen reportes históricos que refieren la denominación de “Mar Bermejo” como resultado del asombro de los españoles ante los eventos de mareas rojas en las aguas de la región (Cabeza de Vaca, Siglo XVI). Las mareas rojas son muy comunes en esta región, siendo el principal causante el ciliado *Mesodinium rubrum* y notoriamente evidentes los eventos causados por *Noctiluca scintillans* y recientemente, la cianofita *Oscillatoria erythraea*, un indicador tácito de la tropicalización de las aguas de la región (Cortés-Altamirano, 1988). La descripción del dinoflagelado *Gymnodinium catenatum* por Graham en 1943, fue realizada como consecuencia de un gran afloramiento en el Golfo de California, siendo desde entonces la principal especie tóxica de la región (Graham, 1943). Las condiciones cambiantes han favorecido la aparición de otras especies tóxicas formando afloramientos o en densidades consideradas como peligrosas. Entre ellas, se puede mencionar la presencia en Bahía Concepción de *Dinophysis caudata* (Lechuga-Dèveze *et al.*, 1993), *Alexandrium catenella*, *Prorocentrum minimum* (Sierra-Beltrán *et al.*, 1996) y *Alexandrium tamiyavanichi* (Sierra-Beltrán *et al.*, 1998), *Pseudonitzschia australis* en el Alto Golfo de California (PROFEPA, 1997; Sierra-Beltrán *et al.*, 1997, 1998) y, en Mazatlán, *Gymnodinium catenatum*, *Prorocentrum minimum* y *Gymnodinium sanguineum*, entre otros (Mee *et al.*, 1986; Cortés-Altamirano y Núñez-Pastén, 1992). Lo que si es muy evidente como resultado de más de veinte años de monitoreo es que el número de especies tóxicas y el número de días de marea roja progresa lenta pero constantemente (Cortés-Altamirano *et al.*, 1999), esto quiere decir que las condiciones que favorecen dichos fenómenos se han tornado más propicias con el paso del tiempo, permitiendo no solo su establecimiento, sino su desarrollo y permanencia.

En la porción sur del Pacífico Mexicano, en la región del BAC del Golfo de Tehuantepec, las mareas rojas habían sido anteriormente fenómenos relativamente raros. Como resultado de un análisis de la información más difundida acerca de los eventos relacionados a mareas rojas en la zona del sureste del Pacífico en México (Guerrero-Oaxaca y Chiapas) es posible suponer que los primeros reportes se refieren a la especie *Gymnodinium catenatum*, un organismo de regiones templadas, en tanto que los reportes más recientes asocian los casos de intoxicación a la presencia de *Pyrodinium bahamense* var. *compressum*, un organismo netamente tropical. Este cambio de estructura en la comunidad del fitoplancton pudiera tener implicaciones muy importantes como ha sido mencionado para otras especies que posteriormente a su arribo a nuevos nichos ecológicos tienen la posibilidad de adaptarse y permanecer en ellos no llegando a representar únicamente problemas puntuales, sino a permanecer ocasionando disturbios en el ecosistema aun cuando las condiciones que permitieron su llegada se reviertan. Como un ejemplo notorio de la adaptación genética de las especies a regiones nuevas y a sus condiciones climáticas locales es posible mencionar los aislamientos de *Prorocentrum lima* realizados en

Nueva Escocia, Canadá, que siendo un organismo tropical, se encuentra adaptado a condiciones templadas (Jackson *et al.*, 1993).

En el periodo comprendido entre julio de 1927 y abril de 1999 en las costas del Pacífico de México, desde el sur de los Estados Unidos incluyendo las costas de Centro América ha sido posible identificar aproximadamente 45 reportes de eventos asociados a toxicidad ocasionada por afloramientos de fitoplancton (Graham, 1943; De-La-Garza-Aguilar, 1983; Mee *et al.*, 1986; Rosales-Loessener *et al.*, 1989; Anónimo PMSMB, 1990-1994; Saldade-Castañeda *et al.*, 1991; Cortés-Altamirano & Núñez-Pastén, 1992; SSA Epidemiología, 1992; Lechuga-Dèveze *et al.*, 1993; Parrilla-Cerrillo *et al.*, 1993; Sotomayor-Navarro & Domínguez-Cuellar, 1993; Vázquez-Recino, 1993; Colmenares & Barradas-Sánchez, 1996; DGVOE-PROFEPA/SEMARNAP, 1996, 1997, 1999; Cortés-Altamirano *et al.*, 1996, 1999; Ramírez-Camarena *et al.*, 1996; Sierra-Beltrán *et al.*, 1996, 1997, 1998; Anónimo, 1997; Ochoa *et al.*, 1997, 1998a, b; PROFEPA, 1997; Cortés-Altamirano, 1998; Blanco-Blanco *et al.*, 1999). Los resultados de una revisión bibliográfica exhaustiva en el tema de las mareas rojas en la región, permiten la identificación de parámetros importantes como son la localización de los eventos en el espacio-tiempo, el tipo de efecto que representaron y la, o las especies asociadas al mismo. Así, se pueden englobar los eventos referidos en tres grandes rubros:

- 1) Eventos de marea roja en las costas del Pacífico (35), que cuando han implicado la intoxicación de humanos, han sido primordialmente causados por toxina de tipo paralizante (PSP= Paralytic Shellfish Poisons),
- 2) Eventos fríos, ocasionados por afloramientos de diatomeas tóxicas, en las costas del Pacífico de USA y el Norte de México, incluyendo el Golfo de California (5), asociados a la intoxicación denominada de tipo amnésico (ASP= Amnesic Shellfish Poisons) y,
- 3) Eventos de toxicidad sin marea roja, pero netamente tropical, en la costa del Pacífico de México (4), asociados al consumo de peces que bio-acumulan toxinas (Ciguatera).

Actualmente, en México, las estadísticas de salud registran cerca de 500 casos de intoxicación por consumo de moluscos contaminados con toxinas de origen en el fitoplancton y al menos 20 muertes por las mismas causas (Ochoa *et al.*, 1998b), todas ellas asociadas a eventos en la costa del Pacífico del país. Lo que indica que ésta es la zona más afectada por estos eventos en años recientes.

Por ello, se procedió a obtener información derivada de bases de datos meteorológicos, climatológicos y oceanográficos de algunos puntos de la costa Pacífico como Mazatlán, Sin., en el periodo 1920-1998 (Servicio Meteorológico Nacional, 1920-1998) y Acapulco, Gro., en el periodo 1983-1998 (IRI-GOOS, 1998) y analizar la información obtenida mediante correlaciones con las observaciones documentadas de eventos de toxicidad en la misma región. La finalidad es establecer si es posible asociar el cambio climático y en especial el fenómeno del Niño al aparente aumento en la frecuencia y distribución de los eventos ocasionados por floraciones algales nocivas, poniendo énfasis en estos puntos geográficos como indicadores en los BAC mexicanos.

Los eventos asociados a toxicidad de tipo paralizante en las costa del Pacífico, se han reportado desde Mazatlán, Sin. en México hasta Panamá en América Central. Desde 1976 a 1999 se han documentado 19 eventos, 11 de ellos causados por *Pyrodinium bahamense* var. *compressum*, 7 por *Gymnodinium catenatum* y uno más causado por *G. catenatum* o *Alexandrium catenella*. Las zonas “calientes” en México son: Acapulco, Gro., con 6 eventos (Saldate-Castañeda *et al.*, 1991; Parrilla-Cerrillo *et al.*, 1993; Colmenares & Barradas-Sánchez, 1996; Ramírez-Camarena *et al.*, 1996; Anónimo SSA, 1997; Ochoa *et al.*, 1998a); Mazatlán, Sin., con 3 (De-La-Garza-Aguilar, 1983; Mee *et al.*, 1986; Cortés-Altamirano & Núñez-Pastén, 1992); Salina Cruz-Huatulco, Oax., con 2 (Anónimo PMSMB, 1990-1994; Saldate-Castañeda *et al.*, 1991; Sotomayor-Navarro & Domínguez-Cuellar, 1993; Cortés-Altamirano *et al.*, 1996) y, Puerto Madero, Chis., con 1 (SSA Epidemiología, 1992). La costa del Pacífico de América Central ha reportado 3 eventos en Guatemala (Rosales-Loessener *et al.*, 1989; SSA Epidemiología, 1992; Sotomayor-Navarro & Domínguez-Cuellar, 1993; Velásquez-Recino, 1993) y, en Panamá, Costa Rica, Nicaragua y El Salvador un evento en cada país (Saldate-Castañeda, 1991; Sotomayor-Navarro & Domínguez-Cuellar, 1993). Dentro de México, los eventos de Mazatlán son producidos por *G. catenatum* durante el periodo primaveral (De-La-Garza-Aguilar, 1983; Rosales-Loessener *et al.*, 1989; Saldate-Castañeda *et al.*, 1991; SSA Epidemiología, 1992). En el sur del país (Guerrero, Oaxaca y Chiapas), los afloramientos primaverales eran ocasionados usualmente por *G. catenatum* (o *A. catenella*). Entonces, después del verano de 1987 en que ocurrió el afloramiento de *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* en Guatemala, han ocurrido afloramientos recurrentes en el periodo otoño-invierno a lo largo de las costas de América Central hasta el estado de Guerrero (De-La-Garza-Aguilar, 1983; Rosales-Loessener *et al.*, 1989; Saldate-Castañeda *et al.*, 1991; SSA Epidemiología, 1992; Colmenares & Barradas-Sánchez, 1996). Finalmente, muy recientemente, en la primavera de 1999, Acapulco fue afectado por un gran evento asociado a la ocurrencia de *G. catenatum*. Esta pausa en la aparición de afloramientos de *P. bahamense* var. *compressum* (una especie tropical) y el resurgimiento de *G. catenatum* (una especie templada), pudiera estar relacionada con cambios climáticos durante los ciclos El Niño-La Niña. En la región de Manzanillo, Col., la influencia de los eventos de surgencia se han dejado sentir con mayor frecuencia e intensidad desde 1997, estando asociados a la presencia de manchas de marea roja en el periodo invierno-primavera (Cavazos-Guerra *et al.*, 1999; Morales-Blake *et al.*, 1999). Por ejemplo, durante marzo y abril de 1999 se manifestó un extenso y muy abundante afloramiento de *G. catenatum* en la bahía de Manzanillo (Blanco-Blanco *et al.*, 1999).

Aun siendo ambas especies de fitoplancton tóxico productoras del mismo tipo general de toxinas (PSP), las implicaciones biológicas y de salud pública de la presencia de una u otra especie son muy relevantes. La imagen clínica del envenenamiento por consumo de moluscos es la misma y esta claramente asociado al neurotropismo de las toxinas, yendo desde una ligera intoxicación, hasta una muy severa y aun ocasionando la muerte por paro respiratorio (De-La-

Garza-Aguilar, 1983; Rosales-Loessener *et al.*, 1989; Saldate-Castañeda *et al.*, 1991; SSA Epidemiología, 1992). En este sentido no existe diferencia entre los efectos ocasionados por las toxinas de *G. catenatum* o de *P. bahamense* var. *compressum*. Pero el tiempo en que se presentan estas manifestaciones es, en promedio, de 4 horas para *G. catenatum*, en tanto que para *P. bahamense* var. *compressum* es de únicamente 1-2 horas (De-La-Garza-Aguilar, 1983; Rosales-Loessener *et al.*, 1989; Saldate-Castañeda *et al.*, 1991; SSA Epidemiología, 1992; Colmenares & Barradas-Sánchez, 1996). Esto puede ser explicado por la composición específica de las toxinas de las diferentes especies e indica claramente que son mucho más peligrosos los envenenamientos asociados con *P. bahamense* var. *compressum* ya que reducen el tiempo de absorción-difusión-efecto y por ello la posibilidad de asistir adecuadamente al afectado. La clara asociación descrita en las manifestaciones de eventos relacionados a ocurrencias de *P. Bahamense* var. *compressum* y el fenómeno El Niño en el Sudeste Asiático hace obligatorio el iniciar los estudios en este sentido; sin embargo, al cotejar las ocurrencias de los eventos de toxicidad con los periodos de variabilidad climática asociada a El Niño en nuestra región, no es posible encontrar una clara relación del tipo de la descrita por otros autores en el Pacífico Sur (Hallegraeff, 1995; Usup & Azanza, 1996). Sin embargo, es evidente que el inicio de la ocurrencia de estos eventos en 1987 en las costas de Centroamérica si se encuentra precedido por un fenómeno El Niño (1983-1984) y, actualmente, al relajarse el evento 1997-1998 se observa un aparente retorno de *G. catenatum* a la zona con un desplazamiento de *P. bahamense* var. *compressum*, por lo menos en lo que respecta a la presencia de afloramientos, ya que es muy difícil evaluar la ausencia total de la especie en la zona.

Es evidente la existencia de una región costera y oceánica en las costas de México y América Central cuyas condiciones particulares denotan la existencia de un ecosistema independiente: el Gran Ecosistema Marino Costero del Pacífico de América Central. Este se encuentra delimitado al Norte por el Gran Ecosistema Marino de la Corriente de California (aproximadamente a los 20° 24' latitud Norte, en Cabo Corrientes, Jalisco, México) y al Sur limita con el Gran Ecosistema Marino de la Corriente de Humboldt, frente a las costas de Ecuador. Esta caracterizado por la presencia de corrientes costeras de recirculación, una menor amplitud espacial en los gradientes de temperatura y, adicionalmente, posee distintas características batimétricas, hidrográficas, así como regímenes de productividad y tróficos particulares (Bakun *et al.*, 1999). En esta región, las temperaturas en las capas superiores del océano son más elevadas, fluctuando poco, alrededor de los 26 °C, la mayor parte del año. Otra muy importante característica, en comparación con los dos ecosistemas fronterizos, es que en el Ecosistema Marino del Pacífico de América Central se encuentran planicies de sabana al norte, selva lluviosa tropical en la región del istmo y colinas costeras al sur, con diferentes y cuantiosos regímenes pluviales y diverso uso de la tierra, hechos que en conjunto pueden ocasionar importantes aportes de nutrientes al ecosistema marino. Entre las características oceanográficas distintivas de este ecosistema, se encuentra la existencia de plumas de surgencia costera, que se extienden a grandes distancias mar adentro

a partir de las tres localidades, en donde la topografía montañosa varía drásticamente: el Golfo de Tehuantepec, en México, el Golfo de Papagayo, en Costa Rica y el Golfo de Panamá, en Panamá; cuyo efecto, al permitir el paso de los vientos que se alejan de la costa, es ocasionar la surgencia de agua del fondo, de baja temperatura y oxigenación y rica en nutrientes, este tipo de surgencias puede bajar la temperatura de la superficie del mar en las costas hasta en 10 °C. Adicionalmente, en el límite norte de éste ecosistema frente a las costas del Estado de Jalisco, México, se ha descrito recientemente un sistema de surgencias costeras en el periodo invierno-primavera cuya influencia hacia el Sur, en ocasiones llega hasta las costas de Colima y Michoacán (Cavazos-Guerra *et al.*, 1999; Morales-Blake *et al.*, 1999).

El procesamiento de la información derivada de las bases de datos a nuestro alcance (Servicio Meteorológico Nacional 1920-1988; IRI-GOOS, 1998) ha permitido construir dos modelos aproximados de las condiciones de temperatura en la superficie del mar para la costa Pacífico de América Central (6° S - 36° N) y para el Golfo de California (23° N - 30° N), en el periodo de 1983 a 1998; lo que comprende cuatro eventos El Niño, dos de ellos muy marcados. Al analizar tanto la temperatura superficial como sus anomalías, en relación al año tipo, y los eventos de toxicidad es posible hacer algunas apreciaciones interesantes, entre las que destacan las siguientes:

a) Para la región de la costa Pacífico de América Central (6° S - 36° N), es posible reconocer una banda de elevada temperatura superficial que permanece todo el año en los años tipo, localizada entre 13° 30' N y 17° 15' N, a la altura de Acapulco, Gro. Durante los veranos tiene una mayor cobertura ( 7° 30' N - 22° 30' N), desde el Norte de Colombia hasta Puerto Vallarta, Jal. En ella es posible evidenciar el efecto de los fenómenos atmosféricos (El Niño-La Niña) de manera sutil directamente en el análisis de la temperatura, y de manera más evidente al estudiar las anomalías existentes en relación al año tipo. Las variaciones netas de la temperatura superficial se hacen muy notorias en sentido positivo al sur del paralelo 17° N, no así en el sentido opuesto, donde únicamente se evidencia un desplazamiento al norte de la pluma cálida en el verano de 1997 (efecto El Niño). Por el contrario, los eventos hacia la baja de la temperatura son muy marcados en ambos sentidos a partir del paralelo 17° N (efecto La Niña), donde de hecho, a comienzos de 1985 desapareció por completo la banda de agua caliente aún en la zona de Acapulco. Durante 1988-1989 se redujo drásticamente en ambos sentidos, manifestándose una notoria reducción al Sur durante 1996-1997. Si se analizan las anomalías es posible evidenciar en ambos sentidos los efectos El Niño y La Niña.

b) Teniendo en cuenta la información del párrafo precedente, es posible aseverar que los eventos de toxicidad ocasionados por *P. bahamense* var. *compressum*, en la costa Pacífico de América Central (Rosales-Loessener *et al.*, 1989; Anónimo PMSMB, 1990-1994; Saldade-Castañeda *et al.*, 1991; SSA Epidemiología, 1992; Parrilla-Cerrillo *et al.*, 1993; Sotomayor-Navarro & Domínguez-Cuellar, 1993; Velásquez-Recino, 1993; Colmenares & Barradas-Sánchez, 1996; DGVOE-PROFEPA, 1996, 1997; Ramírez-Camarena

*et al.*, 1996; Cortés-Altamirano *et al.*, 1996; Ochoa *et al.*, 1998a, b; Sierra-Beltrán *et al.*, 1998) siempre han sucedido en la zona o banda considerada como una alberca cálida; nunca han ocurrido en una zona de anomalía producto del efecto El Niño y aparentemente, siempre han sido precedidos por un periodo frío inmediatamente antes de su ocurrencia.

c) Desde 1942, en que apareció el único reporte de la presencia de *P. bahamense* en las costas de México (Osorio-Tafall, 1942), no existe evidencia de la presencia de este organismo en aguas del Pacífico de América, hasta la aparición del primer evento en las costas de Guatemala, en Julio de 1987, precedido inmediatamente por un evento El Niño muy marcado (1983-1984) y un evento La Niña también muy fuerte (1984-1985). Es pertinente mencionar que, en la descripción realizada por el maestro Osorio Tafall (Osorio-Tafall, 1942) no se indica la presencia de una característica muy importante y muy particular de la var. *compresum*, la formación de largas cadenas (Taylor and Fukuyo, 1989). Esto pudiera sugerir un posible error de clasificación en la muestra colectada en 1935-1936 y analizada posteriormente (Osorio-Tafall, 1942), (pudiendo corresponder a *P. bahamense* var. *bahamense*, que no forma cadenas), y que, la aparición de la especie en las costas de América consiste en un evento de transporte reciente ocasionado, como en el sudeste de Asia, por el acarreo mediante la influencia de procesos oceánicos derivados del evento El Niño. Como la aparición de los eventos esta marcada por la evidencia dada por el fenómeno de toxicidad, y no por un monitoreo activo del fitoplancton, es necesario reconocer que este es un indicador mínimo de su presencia y que en ausencia de datos permanentes de monitoreo entre eventos no es posible hablar de la ausencia de la especie en estos periodos. Uno de los principales problemas encontrados en el estudio de estos fenómenos, es la ausencia de series de muestreos sucesivos en sitios clave de las costas, como se ha mencionado, ya que con excepción hecha de Mazatlán y Guaymas (Cortés-Altamirano *et al.*, 1996; Cortés-Altamirano & Núñez-Pastén, 1992) no existen este tipo de datos. En el caso de Acapulco, a pesar de que se realizan acciones de monitoreo coordinadas por la Secretaria de Salud, mediante la aplicación del Programa Nacional de Sanidad de Moluscos Bivalvos, la información producida no se hace accesible a los grupos de investigación interesados en dichos fenómenos (Anónimo PMSMB, 1990-1994; Anónimo SSA, 1997).

Desafortunadamente, la información obtenida indica una vez más la necesidad de realizar acciones de monitoreo permanente de ciertas variables biológicas, climatológicas y oceanográficas que permitan la integración de la información de una manera congruente y más firme, en caso contrario se continuará formando parte del grupo de espectadores de las manifestaciones de esta naturaleza.

## PERSPECTIVAS

Zona de Punta Eugenia: en esta región, muy asociada a la productividad primaria de Bahía Vizcaíno, se ha reportado recientemente la presencia de ciertos organismos del fitoplancton, tanto diatomeas como dinoflagelados considerados con cierto potencial perjudicial (*Pseudonitzschia* sp., *Heterosigma*

sp., *Alexandrium* sp., *Dinophysis* sp. y *Prorocentrum* sp. entre otros) [observaciones del autor]. Bajo condiciones “normales”, los afloramientos de diatomeas se han relacionado con condiciones de surgencia que ocasionan bajas temperaturas y altas salinidades y nutrientes en la superficie; en tanto que los afloramientos de dinoflagelados se relacionan más frecuentemente con condiciones de relajamiento de la termoclina, disminución de los nutrientes en la superficie con una capa rica en nutrientes por debajo (Blasco, 1997; Estrada & Blasco, 1979). Sin embargo, recientes observaciones han demostrado que organismos del género tóxico de diatomeas *Pseudonitzschia*, pueden aprovechar condiciones consideradas como no óptimas, y no sólo proliferar sino dominar la comunidad fitoplanctónica, bajo condiciones de bajos nutrientes y temperatura y causar serias intoxicaciones en organismos marinos, aves y humanos (Walz *et al.*, 1994; Dortch *et al.*, 1997; Fryxell *et al.*, 1997). Por otro lado, la eutrofización local puntual en las zonas dedicadas a actividades de acuicultura en jaulas (net pens), asociada a fenómenos naturales que aportan nutrientes bajo la superficie de manera anómala, y la presencia de rafidofíceas como *Heterosigma* sp. y *Chatonella* sp., se han conjuntado para ocasionar desastres económicos en la acuicultura de tónidos en Australia (Hallegraeff *et al.*, 1998). Lo que sugiere vigilar cuidadosamente el surgimiento de esta nueva actividad económica en la zona, en donde recientemente se ha evidenciado la presencia de estos géneros de organismos. Como estos organismos han ocasionado mortandad de salmones en las costas del Pacífico de Canadá y Estados Unidos, el mecanismo de arribo a costas mexicanas pudiera estar influenciado por los flujos anómalos de la Corriente de California en los períodos Niño-Niña, como se supone ha ocurrido para *Pseudonitzschia* sp. o alternativamente, por transporte pasivo por el enorme flujo de embarcaciones deportivas y turísticas de mediano y gran calado con dirección Norte-Sur. Alternativas que deben de ser monitoreadas para poder establecer mecanismos adecuados de control, que permitan regular o al menos conocer la introducción y/o dispersión de especies tóxicas en la región.

Zona de Bahía Magdalena: esta región está destinada a ser uno de los polos de desarrollo de acuicultura en el estado de Baja California Sur. Las producciones tradicionales de moluscos bivalvos, en especial almeja catarina (*Argopecten ventricosus=circularis*), y langosta (*Panilurus* sp.), así como peces bentónicos, como el lenguado, pueden verse mermadas ante un impacto ocasionado por algas nocivas. Estos eventos se han presentado hasta ahora de manera devastadora pero puntual y localizada, sin afectar áreas amplias del complejo lagunar. Pero ante los cambios climáticos evidentes que han sucedido y que seguramente no revertirán su efecto en el corto plazo, no es posible predecir el comportamiento de las poblaciones del fitoplancton (Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones, 1998). Un ejemplo reciente lo ha dado la extensa mortandad de pulpo y langosta causada por un gran afloramiento de *Alexandrium catenella*, que se presentó en la zona denominada Las Barrancas, al norte de Bahía Magdalena, asociado al relajamiento del efecto del fenómeno El Niño 1997-1998 (información del autor).

Zona central del Golfo de California: en esta región, las actividades

económicas preponderantes en la zona costera son las pesqueras, el turismo y la acuicultura. Esta última con un enorme incremento en años recientes, en su importancia económica, volumen de producción y superficie utilizada. Los desechos acuáticos urbanos, asociados al explosivo incremento poblacional en las costas y, sobre todo, la eutrofización ocasionada por y en las granjas de acuicultura (principalmente de cultivo de camarón), pueden ser los responsables del establecimiento y proliferación de especies como *Prorocentrum dentatum*, *P. triestinum* y *Gymnodinium catenatum* (comunicación personal Roberto Cortés-Altamirano, ICMYL-UNAM) y, en general, del aumento del número de mareas rojas y el número de especies formadoras de estos eventos (Cortés-Altamirano *et al.*, 1999). De hecho, dentro de la estructura del desarrollo de las granjas camaroneras, en aquellas cuya situación geográfica las ha dejado encajonadas en una maraña de canales y compuertas, es donde se han presentado con mayor frecuencia e intensidad afloramientos de cianobacterias y dinoflagelados afectando seriamente las producciones y, por ello, causando cuantiosas pérdidas económicas (Cortés-Altamirano *et al.*, 1997). Estos eventos han sido ocasionados por diversos géneros de organismos como *Anabaena* sp., *Anabaenopsis* sp., *Nodularia* sp. *Microcystis* sp. y *Schizotrix* sp., todos ellos causantes de mortandad en larvas y juveniles de camarón, y con potencialidad de causar daños al consumidor humano.

Zona del Pacífico Sur y Golfo de Tehuantepec: esta región presenta un sinnúmero de particularidades con respecto a las otras. Como se ha mencionado, las mareas rojas eran un fenómeno desconocido hasta mediados de la década de los 70 (Cortés-Altamirano *et al.*, 1996). A partir de entonces, en esta región han ocurrido más del 95% de los casos de intoxicación con biotoxinas de origen marino y el 90% de las defunciones por las mismas causas (Ochoa *et al.*, 1998b). Los desarrollos turísticos han incrementado la densidad de las poblaciones en las zonas costeras y no se han realizado estudios comparativos, en relación a los niveles de eutrofización de las aguas litorales antes y después de estos asentamientos humanos. Por otro lado, es evidente que el cambio climático ha ocasionado intensas precipitaciones pluviales en la región de Chiapas y Oaxaca, cuya orografía ocasiona arrastres de sedimentos, así como nutrientes, fertilizantes y pesticidas, hacia los sistemas lagunares de ambos estados que bordean el BAC del Golfo de Tehuantepec. Ello afecta el comportamiento del las lagunas como reservorios naturales de etapas larvarias de diversos organismos de importancia económica y/o ecológica. Adicionalmente, los huracanes han incrementado su número e intensidad, y esto incide de manera particular en esta región, al menos de dos maneras: mediante el incremento de las corrientes de chorro que atraviesan el istmo de Tehuantepec en dirección Golfo de México-Pacífico, aumentando el efecto de surgencias costeras; y el aumento de los flujos de corrientes en dirección Sur-Norte a lo largo de las costas del Pacífico mexicano, causando corrientes de advección y convección, que facilitan la acumulación de organismos y permiten el mantenimiento de las condiciones óptimas para el desarrollo de los eventos de marea roja a lo largo de las costas del país, respectivamente.

Ante este panorama, es evidente que en algunos campos, se tiene bastante

conocimiento en lo referente a las floraciones algales nocivas. Pero nuestra capacidad de describir los factores que controlan la dinámica de las especies individuales esta limitada por lagunas de conocimiento en la manera que las características fisiológicas, morfológicas y de comportamiento de las especies interaccionan con las condiciones ambientales para promover la selección de una u otra. Se desconocen cuales son los determinantes que promueven el enquistamiento y la germinación y, de igual manera, el conocimiento de la integración del ciclo de vida con la hidrografía, la disponibilidad de nutrientes y de luz, es pobremente conocida. Adicionalmente, la capacidad de alimentación heterótrofa ha complicado el análisis adecuado de los modelos experimentales de crecimiento y toxicidad contra la disponibilidad de nutrientes. Por último, el efecto conjunto de las fuerzas físicas del medio y el aporte de nutrientes sobre las poblaciones de algas nocivas ejercen su influencia en las interacciones cadena alimenticia / comunidad que finalmente determinarán la selección a favor o en contra de una especie en particular (SCOR-IOC, 1998).

A pesar de que las Mareas Rojas eran eventos francamente desconocidos en México hace algunos años, la magnitud de los eventos de toxicidad, tanto en humanos como en animales en años recientes, ha hecho que, de un total desconocimiento del tema, se sepa ahora que en las costas de México se ha manifestado la presencia de todos los síndromes tóxicos descritos a la fecha a nivel mundial, habiendo sido demostrada químicamente la presencia de las toxinas responsables. No sólo eso, sino que se han manifestado, asimismo, eventos ocasionados por toxinas no descritas con anterioridad y que requieren de mayor capacidad de análisis, de manera que se conozca su composición química, el organismo que las produce, su posible participación en la cadena alimenticia y que, mediante ello, se pueda estimar el factor de riesgo que representan para humanos y la vida silvestre.

Como un acercamiento para intentar la solución, al menos parcial, de este problema, se ha integrado una red de colaboración entre algunas de las entidades educativas de investigación con mayor cobertura en los litorales del país. Así, el CIBNOR, en colaboración con la Unidad de Educación en Ciencia y Tecnología del Mar de la SEP, la Estación Mazatlán del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, ha desarrollado una Red Nacional de Investigación en Biotoxinas Marinas y Mareas Rojas en México, proyecto reciente que contempla tres enfoques principales:

El primero es la realización de actividades de investigación de los fenómenos de Marea Roja, y los colaterales eventos de toxicidad que pudieran estar asociados a ellos. Lo cual quiere decir que se cuente con la capacidad cognoscitiva y material para abordar los tres aspectos básicos de este campo:

- 1) La caracterización fisicoquímica del medio acuático (marino o de aguas continentales) y el clima.
- 2) La determinación y cuantificación de las microalgas y cianobacterias presentes en el mismo.

3) La determinación y cuantificación de la presencia de biotoxinas de origen marino o de cianobacterias.

El segundo es el establecimiento de un centro coordinador y de educación continua para América Latina, que pueda servir como referencia para el estudio de los aspectos químicos, biológicos y climatológicos, tanto de origen natural como antropogénico, y que están asociados a la ecología global de las floraciones algales nocivas.

El tercero es el establecimiento y operación de una red de estaciones de medición de variables climatológicas, oceanográficas y fisicoquímicas que permita la integración de la información de micro-, meso- y macro-escala, con la finalidad de establecer un monitoreo en tiempo cuasi real, como medida preventiva ante los más severos impactos en el medio ambiente causado por estos fenómenos .

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvar-Núñez-Cabeza-de-Vaca (Siglo XVI). Nafragios (Shipwrecks), España.
- Anderson, D.M. 1989. Toxic algal blooms and red tides: A global perspective, 11-16. En: Okaichi, T., D.M. Anderson & T. Nemoto (Eds.). Red Tides: Biology, Environmental Science and Toxicology, Elsevier Science Publishing Co, New York.
- Anónimo. 1994. Informes técnicos del Programa Mexicano de Sanidad de Moluscos Bivalvos 1990-1994. Comité Central de la Dirección General de Salud Ambiental, México.
- Anónimo. 1997. Working report of the State Program on Sanitary Control of Bivalve Mollusks. Guerrero State Government, Health Ministry. SSA. Chilpancingo, Guerrero, México.
- Bakun, A., J.C. Sirke, D. Lluch-Belda & R. Steer-Ruíz. 1999. The Pacific Central American Coastal LME, 268-280. En: Sherman, K. & Q. Tang (Eds.). Large Marine Ecosystems of the Pacific Rim. Assessment, Sustainability, and Management. Blackwell Science.
- Blanco-Blanco, M., S. Aguilar-Olguín & A. Morales-Blake. 1999. Caracterización de una marea roja en la Bahía de Manzanillo, Colima, México, 338-339. En: Tresierra-Aguilar, A.E. & Z.G. Culquichicón-Malpica (Eds.). Libro de Resúmenes Ampliados VIII Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar, Octubre 17-21, Trujillo, Perú.
- Blasco, D. 1977. Red tide in the upwelling region of Baja California. Limnology and Oceanography, (22):255-263.
- Brongersma-Sanders, M. 1957. Mass mortality in the sea, 941-1010. En: Hedgpeth, J.W. (Ed.). Treatise on marine ecology and paleoecology. Geol. Soc. Am. Memoir.
- Cavazos-Guerra, C., S. Elias-Figueroa & A. Morales-Blake. 1999. Variabilidad

- oceanográfica interanual en la zona costera de Manzanillo, Colima, México, 713-714. En: Tresierra-Aguilar, A.E. & Z.G. Culquichicón-Malpica (Eds.). Libro de Resúmenes Ampliados VIII Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar, Octubre 17-21, Trujillo, Perú.
- Colmenares, G.A. & H. Barradas-Sánchez. 1996. Work report from the State Program on Sanitary Control of Bivalve Mollusks. Guerrero State Government, Health Ministry. Chilpancingo, Guerrero, México. 31 p.
- Cortés-Altamirano, R. & A. Núñez-Pasten. 1992. Doce años (1979-1990) de registros de mareas rojas en la bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM. (19): 113-121.
- Cortés-Altamirano, R. 1998. Distribución y efectos de las mareas rojas en México, 33-42. En: Cortés-Altamirano, R. (Eds.). Las Mareas Rojas. Editorial ATG, S.A., México.
- Cortés-Altamirano, R., D.U. Hernández-Becerril & R. Luna-Soria. 1996. Red tides in México, 101-104. En: Yasumoto, T., Y. Oshima & Y. Fukuyo (Eds.). Harmful and Toxic Algal Blooms. IOC/UNESCO, Paris.
- Cortés-Altamirano, R., F.A. Manrique & R. Luna-Soria. 1997. Harmful phytoplankton blooms in shrimp farms from Sinaloa, México, 56. En: Abstracts from VIII International Conference on Harmful Algae, Vigo, Spain, 25-29 June.
- Cortés-Altamirano, R., S. Licea-Durán & S. Gómez-Aguirre. 1999. Evidencias de aumento de microalgas nocivas en la bahía de Mazatlán, Sin., México, 338-339. En: Tresierra-Aguilar, A.E. & Z.G. Culquichicón-Malpica (Eds.). Libro de Resúmenes Ampliados VIII Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar, Octubre 17-21, Trujillo, Perú.
- De-La-Garza-Aguilar, J. 1983. Intoxicación alimentaria por ingestión de mariscos contaminados. Sal Pub. Mex. (23):145-150.
- DGVOE-PROFEPA/SEMARNAP, 1996. Documento de Fundamentos para la creación de la Red Nacional de Laboratorios de la Vida Silvestre.
- Dortch, Q., R. Robichaux, S. Pool, D. Milsted, G. Mire, N.N. Rabalais, T.M. Soniat, G.A. Fryxell, R.E. Turner & M.L. Parsons. 1997. Abundance and vertical flux of *Pseudonitzschia* in the northern Gulf of Mexico. Mar. Ecol. Prog. Ser. (146):249-264.
- Estrada, M. & D. Blasco. 1979. Two phases of the phytoplankton community in the Baja California upwelling. Limnology and Oceanography, (24):1065-1080.
- Fryxell, G.A., M.C. Villac & L.P. Shapiro. 1997. The occurrence of the toxic diatom genus *Pseudonitzschia* (Bacillariophyceae) on the West Coast of the USA, 1920-1996: a review. Phycologia (36): 419-437.
- Gárate-Lizárraga, I. & D.A. Siqueiros-Beltrones. 1998. Time Variation in

- Phytoplankton Assemblages in a Subtropical Lagoon System after the 1982-1983 "El Niño" Event (1984 to 1986). Pacific Science. (52):79-97.
- Graham, H.W. 1943. *Gymnodinium catenatum*, a new dinoflagellate from the Gulf of California. Trans. Am. Microsc. Soc. (62):259-261.
- Hallegraeff, G.M. 1995. Harmful Algal Blooms: A global overview, 1-22. En: Hallegraeff, G.M., D.M. Anderson, A.D. Cembella & H.O. Enevoldsen (Eds.). Manual on Harmful Marine Microalgae. IOC/UNESCO Manuals and Guides # 33, Paris.
- Hallegraeff, G.M., B.L. Munday, D.G. Baden & P.L. Whitney. 1998. *Chatonella marina* Raphidophyte bloom associated with mortality of cultured bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) in South Australia, 93-96. En: Reguera, B., J. Blanco, M.L. Fernández & T. Wyatt (Eds.). Harmful Algae. Xunta de Galicia and IOC of UNESCO. Intergovernmental Oceanographic Commission-UNESCO. Paris.
- IRI-IGOOS. 1998. Integrated Global Ocean Services System Product Bulletin. Página electrónica ().
- Jackson, A.E., J.C. Marr & J.L. McLachlan. 1993. The production of diarrhetic shellfish toxins by an isolate of *Prorocentrum lima* from Nova Scotia, Canada, 513-518. En: Smayada, T.J. & Y. Shimizu (Eds.). Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea. Elsevier Science Publishers.
- Lechuga-Deveze, C.H., M. Hageltorn, C. Band-Schmidt, J.L. Ochoa, M.L. Morquecho-Escamilla & I. Gárate-Lizárraga. 1993. Marees rouges du Golfe de Californie, Mexique. Activite PSP. En: Abstracts del VIth International Conference on Toxic Marine phytoplankton, 18-22 October, Nantes, Francia.
- Mee, L.D., M. Espinosa & G. Díaz. 1986. Paralytic shellfish poisoning with a *Gymnodinium catenatum* red tide on the Pacific coast of Mexico. Marine Environ. Res. (19):77-92.
- Morales-Blake, A., I. Galindo-Estrada & R. Solano-Barajas. 1999. Identificación de una zona de surgencia en las costas del Estado de Jalisco, México, utilizando imágenes AVHRR, 662-663. En: Tresierra-Aguilar, A.E. & Z.G. Culquichicón-Malpica (Eds.). Libro de Resúmenes Ampliados VIII Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar, Octubre 17-21, Trujillo, Perú.
- NATO-SCOR-IOC. 1996. Advanced Study Institute on the Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms, Bermuda Biological Station, 27 May-6 June.
- Núñez-Ortega, D.A. 1879. Ensayo de la explicación del origen de las grandes mortandades de peces que ocurren en el Golfo de México. La Naturaleza, (4):188-197.
- Ochoa, J.L., A. Sánchez-Paz, A. Cruz-Villacorta, E. Nuñez-Vázquez & A. Sierra-Beltrán. 1997. Toxic events in the northwest Pacific coastline of

- Mexico during 1992-1995: origin and impact. Hidrobiología, (352):195-200.
- Ochoa, J.L., A.P. Sierra-Beltrán, G. Olaiiz-Fernández & L.M. Del-Villar-Ponce. 1998. Should mollusk toxicity in Mexico be considered a public health issue?. Journal of Shellfish Research, (17):1671-1673.
- Ochoa, J.L., A.P. Sierra-Beltrán, G.A. Colmenares, H. Barradas-Sánchez, A. Cruz-Villacorta, E. Núñez-Vázquez & A. Sánchez-Paz. 1998. Biotoxins in the Pacific Coast of México, 441-448. En: Miraglia, M., H. Van-Egmond, C. Brera & J. Gilbert (Eds.). Mycotoxins and Phycotoxins-Developments in Chemistry, Toxicology and Food Safety.
- Orellana-Cepeda, E., L.A. Morales-Zamorano & N. Castro. 1993. A conceptual model of coastal red tides off Baja California. En: Abstracts of the Sixth International Conference on Toxic Marine Phytoplankton, Nantes, 18-22 October. 152p.
- Osorio-Tafall, B.F. 1942. Notas sobre algunos Dinoflagelados planctónicos marinos de Mexico, con descripción de nuevas especies. Anales de la ENCB/IPN, (2):435-450.
- Parrilla-Cerrillo, M.C., J.L. Vázquez-Castellanos, E.O. Saldade-Castañeda & L.M. Nava-Fernández. 1993. Food-borne toxic infection outbreaks of microbial and parasitic origin. Salud Pública Mex, (35):456-463.
- PROFEPA. 1997. Mortandad de Mamíferos marinos cuyos cadáveres arribaron a las costas de Sinaloa. Informe técnico. 119 pp.
- PROFEPA/SEMARNAP. 1996. Reporte de la Dirección General de Verificación al Ordenamiento Ecológico. Dirección de Atención a Contingencias.
- PROFEPA/SEMARNAP. 1997. Reporte de la Dirección General de Verificación al Ordenamiento Ecológico. Dirección de Atención a Contingencias.
- Ramírez-Camarena, C., L. Muñoz-Cabrera, E. Cabrera-Mancilla, A.R. Castro-Ramos, P. López-Ramírez & E. Orellana-Cepeda. 1996. Identificación de la marea roja frente a la costa Suroeste de México en Oct-Dic de 1995. En: Abstracts. Reunión Internacional de Planctología / VIII Reunión Nacional de la SOMPAC, Pátzcuaro, Michoacán, México. 47 p.
- Ramírez-Granados, R. 1963. Marea Roja. Datos para su conocimiento y pronóstico. Secretaría de Industria y Comercio. Dirección General de Pesca e Industrias Conexas. Departamento de Estudios en Biología Pesquera. Trabajos de Divulgación, (4):1-4.
- Rosales-Loessener, F., E. De-Porras & M.W. Dix. 1989. Toxic shellfish poisoning in Guatemala, 113-116. En: Okaichi, Anderson & Nemoto (Eds.). Red tides: Biology, environmental science and toxicology. Elsevier Science Publishing Co.

- Saldade-Castañeda, O., J.L. Vázquez-Castellanos, J. Galván, Sánchez-Anguiano & A. Nazar. 1991. Poisoning from paralytic shellfish toxins in Oaxaca, México. Sal. Pub. Mex.,(33):240-247.
- SCOR-IOC. 1998. Plan for Co-ordinated Scientific Research and Co-operation to Develop International Capabilities for Assessment, Prediction and Mitigation. En: Joint Meeting Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms. Havreholm Slot, Denmark, October 11-19.
- Servicio Meteorológico Nacional. 1998. Datos de intensidad y dirección de los vientos. Periodo 1920-1998 (datos intermitentes). Gran parte de la información se encuentra en formato analógico y esta siendo pasado a formato digital y normalizado para poder ser utilizado en mejores condiciones de análisis.
- Sierra-Beltrán, A.P., M. Palafox-Uribe, J. Grajales-Montiel, A. Cruz-Villacorta & J.L. Ochoa. 1997. Sea bird mortality at cabo San Lucas: evidence that domoic acid is spreading. Toxicon, (35):447-454.
- Sierra-Beltrán, A.P., A. Cruz, E. Núñez, L.M. Del-Villar, J. Cerecero & J.L. Ochoa. 1998. An overview of the marine food poisoning in Mexico. Toxicon, (36):1493-1502.
- Sierra-Beltrán, A.P., M.L. Morquecho-Escamilla, C. Lechuga-Deveze & J.L. Ochoa. 1996. PSP Monitoring program at Baja California Sur, México,105-108. En: Yasumoto, T., Y. Oshima & Y. Fukuyo (Eds.). Harmful and Toxic Algal Blooms, IOC-UNESCO, Paris.
- Sotomayor-Navarro, O. & E. Domínguez-Cuellar. 1993. Toxic red tide of *Pyrodinium bahamense* var. *compressum*, in the Tehuantepec Gulf, México, and the Central American Pacific system. En: Abstracts Sixth International Conference on Toxic Marine Phytoplankton. Nantes, France, October 18-22. 185 p.
- SSA. 1992. Epidemiología. Boletín Semanal de Notificación Epidemiológica, (2): 49, 28.
- Taylor, F.J.R. & Y. Fukuyo. 1989. Morphological features of the motile cell of *Pyrodinium bahamense*, 207-218. En: Hallegraeff, G.M. & J.L. Maclean (Eds.). Biology, epidemiology and management of Pyrodinium red tides. ICLARM Conference Proceedings 21. Fisheries Department, Ministry of Development, Brunei Darussalam, and International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila Phillipines.
- Usup, G. & R.V. Azanza. 1996. Physiology and Bloom Dynamics of the tropical Dinoflagellate *Pyrodinium bahamense*, 81-94. En: Anderson, D.M. (Ed.). NATO-SCOR-IOC, Advanced Study Institute on the Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms, Bermuda Biological Station, 27 May-6 June. Springer Verlag, pp.
- Velázquez-Recino, O.H. 1993. Marea Roja en Guatemala, Nov-Dic 1992,

Dinoflagelado: *Pyrodinium bahamense*. Boletín Epidemiol. Nal., 8 (8): 40-42.

Walz, P.M., D.L. Garrison, W.M. Graham, M.A. Cattey, R.S. Tjeerdema & M.W. Silver. 1994. Domoic acid-producing diatom blooms in Monterrey Bay, California: 1991-1993. Natural Toxins, (2):271-279.

# 4

## CENTROS DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA

*Daniel Lluch-Belda*

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del I.P.N. Av. Instituto Politécnico Nacional s/n. Col. Palo de Sta. Rita. Ap. Postal 592. La Paz, B.C.S., 23096. México. Tel. 52 (112) 3 4658; Fax 52 (112) 2 5322. E-mail dlluch@redipn.ipn.mx. Becario COFAA. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

### RESUMEN

Se describen áreas de alta actividad biológica a lo largo de la costa occidental de la Península de la Baja California, caracterizadas por niveles de concentración pigmentaria, volúmenes de desplazamiento macrozooplanctónico y abundancia relativa de huevos y larvas de peces neríticos claramente superiores al promedio de la zona costera.

Se discuten los probables orígenes de la alta productividad y los posibles mecanismos responsables de las altas concentraciones, así como de su temporalidad o permanencia a lo largo del ciclo anual.

Finalmente, se especula en torno a las ventajas de su potencial utilización como áreas indicadoras de cambios oceánicos en términos de la restricción espacial de su estudio y de su costo asociado.

**Palabras clave:** BAC, Origen, Mecanismos, Cambios oceánicos.

### ABSTRACT

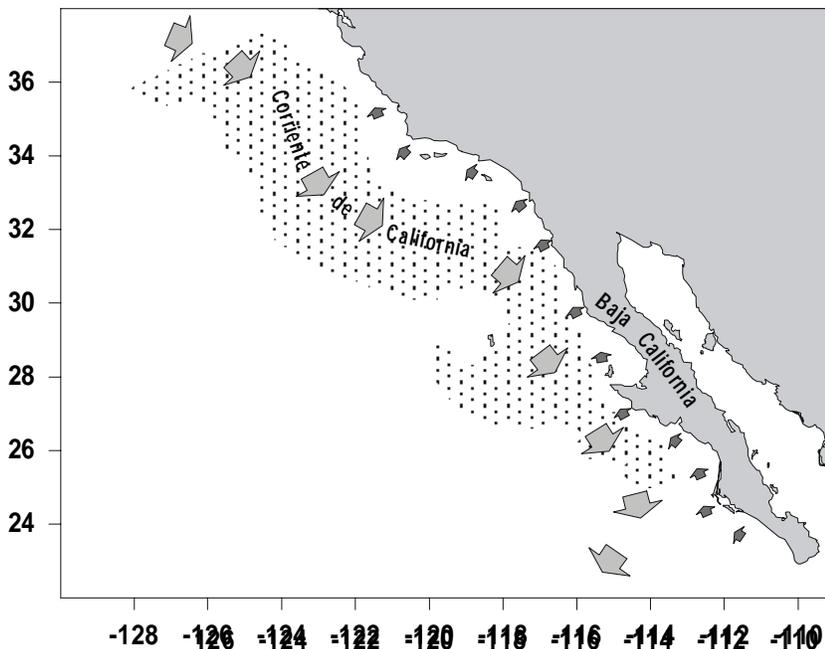
Areas of high biological activity along the coast of the Baja California Peninsula are described. These are characterized by clearly higher than the coastal zone averages of pigment concentration, macrozooplankton displacement volumes, and relative abundance of eggs and larvae of neritic fishes. The probable origin of the high productivity and the possible responsible mechanisms of the high concentrations are discussed, as well as their temporality or permanence along a year cycle. Finally, a speculation is made about the advantages of their potential use as indicative areas of oceanic changes in terms of the spatial restriction for their study and the associated costs.

**Key words:** BAC, Origin, Mechanisms, Oceanic changes.

## INTRODUCCIÓN

La costa occidental de la Península de Baja California incluye la porción más sureña del Sistema de la Corriente de California (SCC), que forma el margen oriental del gran giro oceánico del Pacífico norte y una de las importantes zonas de surgencia costera por viento (Lynn & Simpson, 1987). El sistema se extiende a lo largo de unos 20° de latitud e incluye la Corriente de California (CC) *per se*, un flujo superficial (hasta 300 m de profundidad) que transporta agua subártica del Pacífico hacia el ecuador, desde alrededor de los 48°N hasta los 25°N aproximadamente, con mezcla de agua del centro del Pacífico norte que penetra desde el oeste. Una contracorriente profunda penetra por su límite austral acarreando agua del Pacífico ecuatorial hacia el norte. Estacionalmente, las surgencias por viento incorporan a la superficie aguas subsuperficiales, frías, ricas en nutrientes a lo largo de la costa (Huyer, 1983). A lo largo de la costa, por dentro de la CC, una estrecha contracorriente fluye normalmente durante el otoño e invierno hacia el norte (Lynn & Simpson, 1987; Fig. 1).

Desde hace tiempo se conoce que la zona costera (definida como aquella que se encuentra sobre la plataforma continental) es considerablemente más

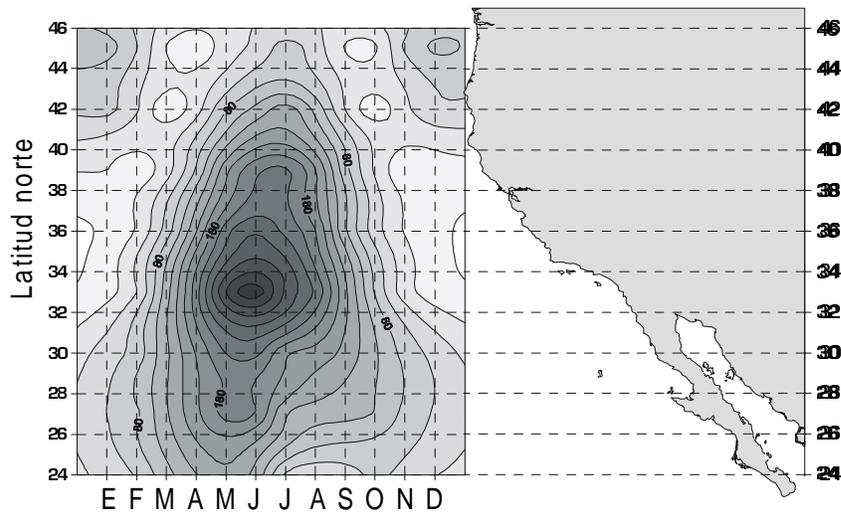


**Figura 1.** Mapa general del área, mostrando la Corriente de California (punteado), digitalizado de Lynn & Simpson (1987) y la Contracorriente Costera.

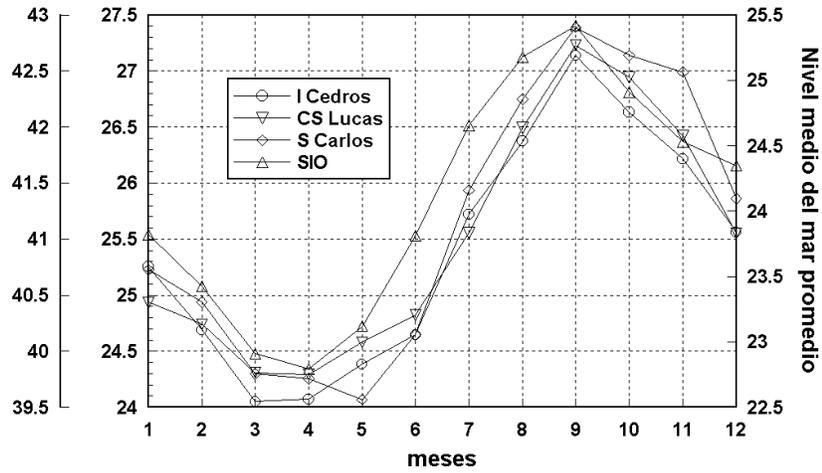
productiva que el resto de los océanos, especialmente en las áreas de surgencia a lo largo de los márgenes orientales de los grandes giros, en los que el enriquecimiento proviene en parte del aporte de aguas subsuperficiales ricas en nutrientes. Adicionalmente, se ha demostrado que una parte muy importante de la productividad total del sistema proviene de la advección de la propia CC, especialmente la que se refleja en la abundancia de macrozooplancton (Bernal, 1979).

Estacionalmente, el SCC está sujeto a una considerable variabilidad. En el dominio costero, por ejemplo, la isoterma de 18°C se desplaza desde Bahía Magdalena (24°N) durante mayo hasta la Cuenca de Santa Bárbara, cerca de 34°N durante agosto-septiembre. Las surgencias por viento -aunque permanentes- son más fuertes hacia mediados de año, durante abril-mayo en Bahía Magdalena y desfasándose hasta julio en el extremo norte del sistema, alrededor de 45°N (Fig. 2); la mayor intensidad se presenta en la Cuenca de Santa Bárbara durante mayo-junio.

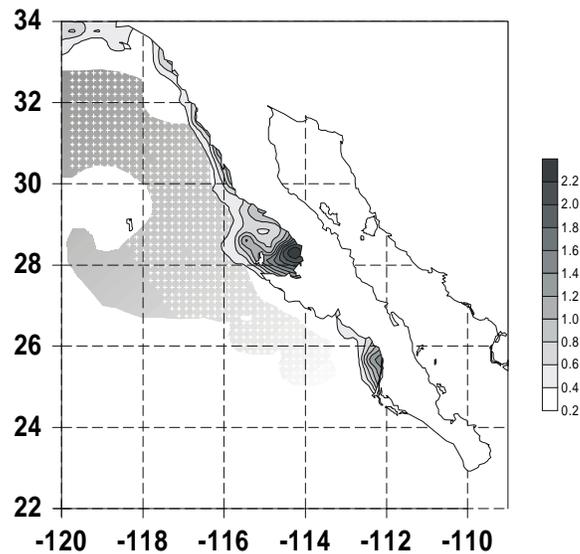
En la parte sur del sistema tanto las surgencias como la advección, las dos fuentes principales de enriquecimiento superficial, ocurren durante la primavera, al mismo tiempo que se presentan los mínimos promedio de nivel medio del mar (Fig. 3), que corresponden con la intensidad máxima de la CC. La Figura 4 esquematiza estas dos fuentes de aporte de nutrientes. Evidentemente, son los meses más fríos en la zona al conjuntarse vientos, surgencias y advección del norte. Por otra parte, la CC se debilita notablemente durante el verano/otoño, mientras que la contracorriente costera (CCC) se intensifica y acarrea agua de origen tropical hacia el norte, calentando considerablemente toda el área.



**Figura 2.** Isótopas de intensidad de surgencias en el ciclo anual. Datos interpolados.

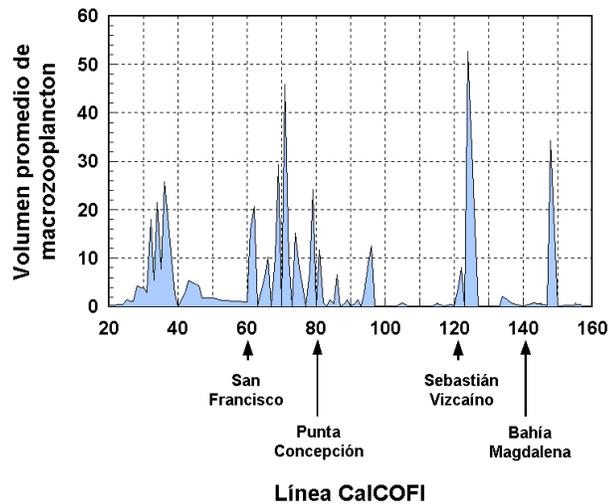


**Figura 3.** Nivel medio del mar; ciclo anual promedio. Valores promedio de las series originales de San Diego, San Francisco, Los Angeles, Isla Cedros y Cabo San Lucas, eliminada la tendencia.



**Figura 4.** Esquema para mostrar las dos fuentes principales de enriquecimiento superficial en la porción sur del Sistema de la Corriente de California, la Corriente de California per se y las áreas costeras de alta concentración pigmentaria.

Una diferencia que puede ser importante entre las dos fuentes de enriquecimiento es el nivel trófico de la productividad que aportan al área; mientras que las surgencias resultan en incrementos de productividad primaria (evidentes por la alta concentración de pigmentos fotosintéticos), la CC



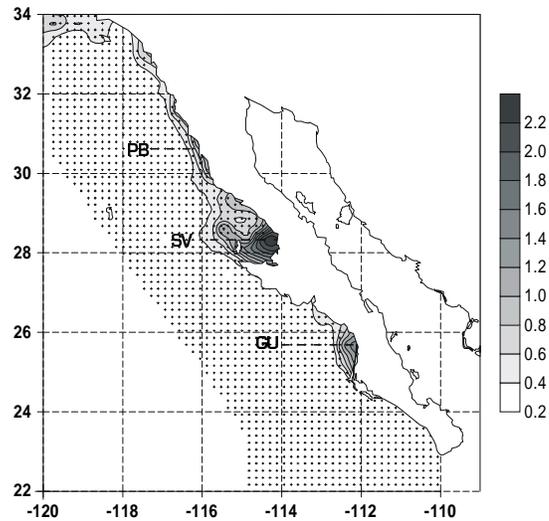
**Figura 5.** Volúmenes promedio de macrozooplancton por línea CalCOFI. Las discontinuidades entre áreas contiguas resultan de la ocupación de líneas no inmediatas.

incorpora volúmenes zooplanctónicos (Fig. 5), relacionados con el primer nivel de consumidores y la producción secundaria. Bautista-Romero (1999) sugirió diferencias entre tipos de distribución espacial de larvas de peces, unos asociados a la costa y seguramente sustentados por surgencias costeras, mientras que los oceánicos lo son por procesos de advección a gran escala.

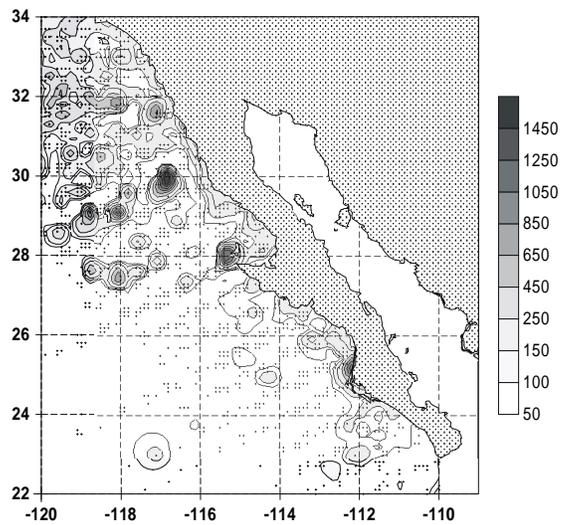
Respecto a la importancia relativa de ambas fuentes de enriquecimiento en la zona occidental de Baja California, la Figura 6 muestra que la potencial contribución de la advección en esta zona es escasa, y que los volúmenes zooplanctónicos importantes al sur de la línea 100 de la red CalCOFI (alrededor de la frontera México-E.U.A.) están más relacionados con procesos costeros locales de surgencia.

En la zona costera, la Figura 6 permite apreciar que la biomasa fitoplanctónica no se distribuye de manera homogénea, sino que hay claras zonas de mayor abundancia; estas zonas se encuentran esencialmente en Punta Baja (PB), Bahía Sebastián Vizcaíno (SV) y el Golfo de Ulloa (GU). Las concentraciones mayores de macrozooplancton (Fig. 7) se localizan en áreas aledañas a aquéllas de alta biomasa fitoplanctónica. De hecho, si combinamos estas dos medidas relativas de abundancia con la densidad promedio de larvas de peces neríticos pelágicos, nectónicos y bentónicos, podemos distinguir las mismas tres zonas de alta concentración biológica (Fig. 8).

La costa pacífica de la Península de Baja California presenta importantes áreas de alta concentración biológica; sin embargo, al revés de lo que sucede con algunas zonas similares en la costa de California (p.ej. la Bahía de Monterey, el Canal de Santa Bárbara, etc.) o más nortenas (la desembocadura del Río Columbia, la costa oeste de la Isla Vancouver) que han sido intensamente estudiadas, la información acerca de ellas es escasa y fragmentaria.

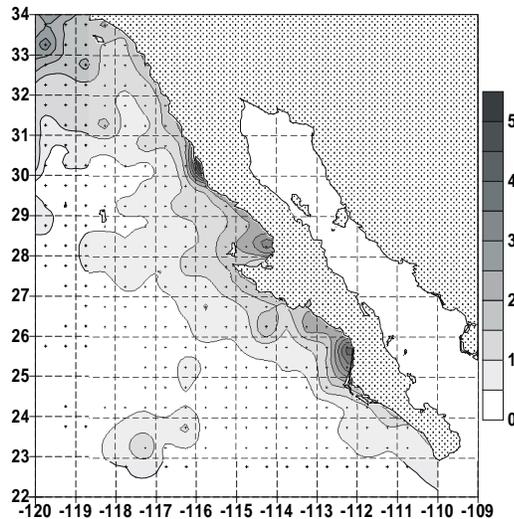


**Figura 6.** Concentración pigmentaria promedio anual (mg de pigmento fotosintético por m<sup>3</sup>). Las pequeñas cruces muestran las áreas elementales consideradas (píxeles). Se muestra también la localidad de las zonas de alta concentración pigmentaria (PB: Punta Baja; SV: Bahía Sebastián Vizcaíno; GU: Golfo de Ulloa) y los transectos latitudinales.



**Figura 7.** Concentración promedio anual de volúmenes de desplazamiento de macrozooplancton. Las pequeñas cruces muestran la localidad de las muestras incluidas en el análisis. Datos de CalCOFI.

En el presente trabajo discutimos de manera somera y forzosamente especulativa los escasos elementos de información con que se cuenta para definir estas áreas.



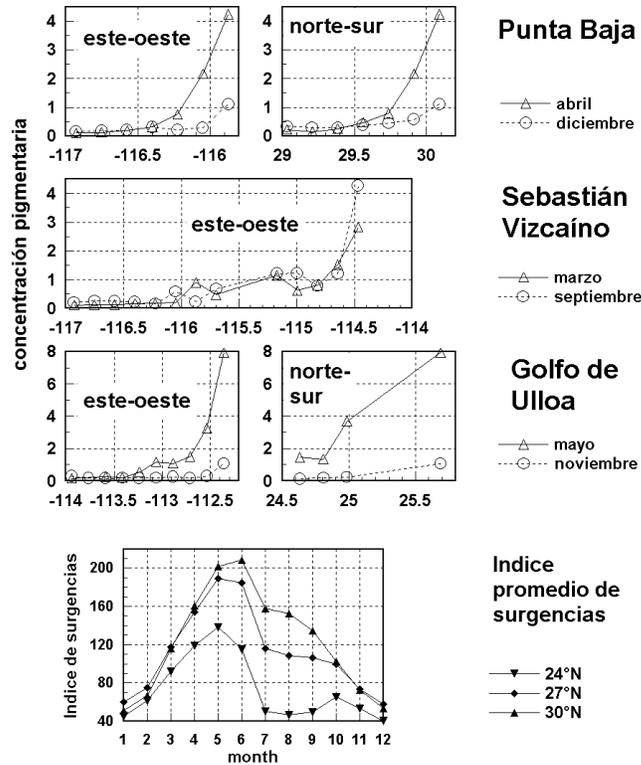
**Figura 8.** Isótopos de abundancia promedio estandarizada y combinada de pigmentos fotosintéticos, abundancia relativa de macrozooplancton y larvas de peces nerfíticos.

### Las áreas de alta concentración biológica

No obstante que en promedio anual las tres áreas de alta concentración pigmentaria de la costa occidental de Baja California resaltan de entre la zona costera, su estructura y comportamiento son diferentes entre sí.

La Figura 9 muestra la concentración pigmentaria a lo largo de los transectos marcados en la Figura 6 con líneas quebradas en cada una de las áreas, pasando por el núcleo y extendiéndose mar adentro durante el mes de mayor (●) y menor (○) concentración promedio. Los puntos de medición están separados entre sí alrededor de 20 km. La concentración a lo largo del transecto es muy similar en SV entre los meses de alta concentración producto de las surgencias costeras por viento (abril, en este caso) y el de pobre concentración general (septiembre), lo que manifiesta su carácter de área permanente de alta productividad. Por el contrario, tanto PB como GU muestran diferencias muy significativas entre las temporadas de surgencia y de calmas, indicativo de su temporalidad. Es importante notar que los valores de concentración pigmentaria en GU durante la temporada de alta concentración son alrededor del doble que en las otras dos áreas.

El área de influencia de la alta concentración también presenta diferencias notables: durante los meses de calma, las concentraciones puramente costeras (dentro de los 20 km a partir de la costa) son más elevadas tanto en PB como en GU, pero no se extienden más allá de los 20 km antes de que la concentración sea similar a la promedio de toda la zona costera (aproximadamente 0.5). Aún durante los meses de surgencias, la influencia de PB no va más allá de 40 km,

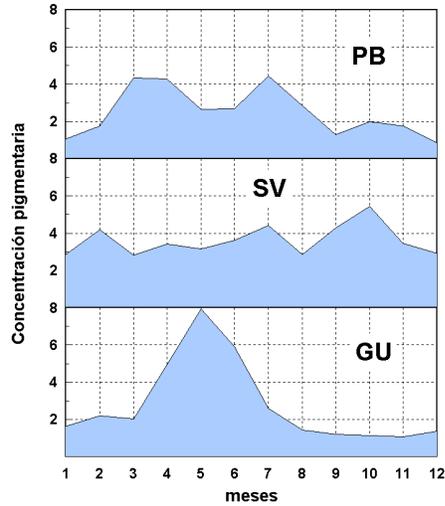


**Figura 9.** Concentración pigmentaria promedio mensual en las zonas elementales (píxeles) a lo largo de los transectos longitudinales mostrados en la Figura 6 para cada una de las zonas de alta concentración durante el mes de mayor (—) y menor (---) abundancia.

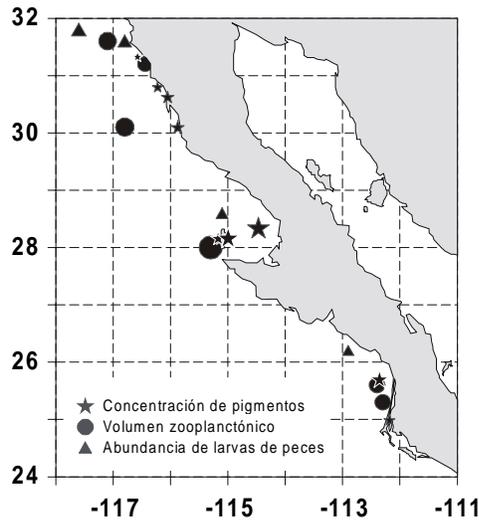
en tanto que en GU se extiende por más de 80 km. El área de difusión de SV alcanza aproximadamente 160 km a lo largo del año.

También el comportamiento temporal del núcleo costero de mayor concentración pigmentaria, un área que corresponde a la dimensión de los píxeles del CZCS (unos 20 km por lado) es diferente en cada zona (Fig. 10); permanece en valores altos (por arriba de 2) a lo largo de todo el año en SV, mientras que en GU los valores altos (que equivalen al doble de cualquiera de las otras) persisten únicamente durante tres meses. Una situación intermedia se presenta en PB, con aproximadamente la mitad del año manteniéndose en valores altos. Estos altos valores de concentración están claramente relacionados con la intensificación de las surgencias en GU, ocurren a valores intermedios de surgencia en PB y no parecen estar relacionados con el ciclo anual de surgencias en SV.

Restringiéndose a la zona costera y a la resolución permitida por la distribución de las muestras, los índices de abundancia relativa de macrozooplancton y de larvas de peces revelan áreas cuya densidad es mayor que en el resto de la zona (Fig. 11). Estas áreas de abundancia anormalmente



**Figura 10.** Concentración pigmentaria mensual promedio en el núcleo de cada una de las áreas de alta abundancia.



**Figura 11.** Areas de alta concentración pigmentaria promedio (★), alta abundancia de macrozooplancton (●) y de larvas de peces (▲). El tamaño del símbolo es proporcional al valor.

alta están claramente relacionadas con las áreas de alta concentración pigmentaria descritas arriba, pero nuevamente presentan algunas diferencias. Tanto en SV como en GU, las altas abundancias de macrozooplancton están prácticamente en las propias áreas de alta concentración pigmentaria, lo que permite suponer una transferencia trófica muy inmediata; sin embargo, la

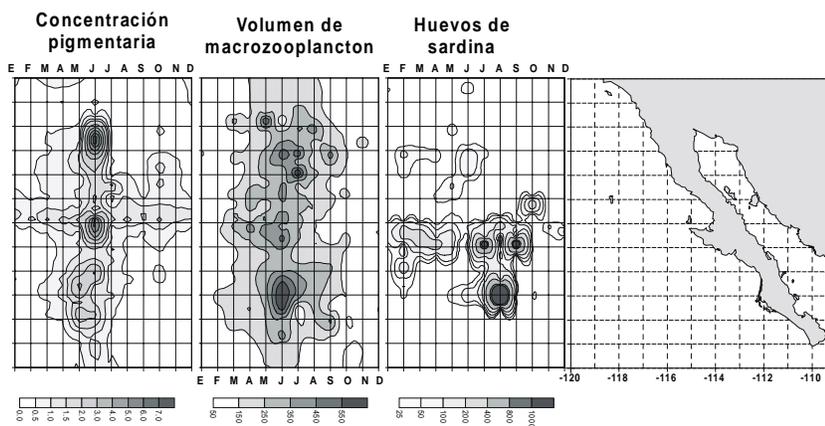
distancia entre las zonas de alta concentración pigmentaria y las de abundancia de macrozooplancton de PB es mucho mayor y estas últimas se encuentran muy afuera de la costa. Adicionalmente, hay que recordar que la influencia de la advección de la CC en esta área es mayor que en las del sur.

Por otra parte, las áreas de alta abundancia de larvas de peces aparecen muy cercanas a los núcleos de alta concentración pigmentaria en SV, menos en GU y francamente alejados en PB. Esto podría resultar de procesos de retención y concentración en las dos primeras; si se tiene en cuenta la temporalidad del proceso de enriquecimiento en GU, esta potencial retención podría ocurrir únicamente en una parte del año, en tanto que sería esperable que los mecanismos de retención operasen a lo largo de todo el ciclo anual en SV. La Figura 12 muestra esta condición con respecto a la abundancia de huevos de sardina.

### El Centro de Actividad Biológica

El concepto de Centro de Actividad Biológica tiene un significado muy intuitivo; cualquier especialista en algún grupo biológico marino reconoce de inmediato que hay áreas, aun dentro de la zona costera, que presentan mayor concentración de organismos que el resto.

Si bien es fácil comprender en el ambiente bentónico este tipo de distribución contagiosa dada la asociación de determinados grupos con el tipo de fondo, la existencia de estas áreas de alta densidad biológica en el ambiente pelágico precisa de otro tipo de mecanismos para ser explicado. En principio, debiera esperarse que tales áreas se localizaran en las inmediaciones de puntos de alta concentración de productores primarios, como una respuesta ecológica a la abundancia de alimento. Áreas similares han sido descritas como "celdas de surgencia" (Lutjeharms, 1987), en frentes de marea (Cushing, 1995) o en zonas de concentración de larvas de peces (Iles & Sinclair, 1982). Bakun (1996)



**Figura 12.** Isolíneas de concentración pigmentaria y abundancia de macrozooplancton y huevos de sardina, promedios mensuales.

describió la "tríada" de procesos que favorecen la alta abundancia biológica: enriquecimiento, concentración y retención; evidentemente éstos no ocurren con la misma intensidad a lo largo de toda la zona costera.

El primer punto a definir es qué causa la alta concentración de productores; hay dos posibles mecanismos generales que podrían causarlo: el enriquecimiento local y la concentración. El primero implicaría la existencia de un flujo concentrado de agua con mayor cantidad de nutrientes disueltos, como el que sucede en la desembocadura de un río o si las surgencias se canalizaran mayormente -posiblemente por configuración costera- hacia áreas relativamente pequeñas. El segundo mecanismo podría consistir en la existencia de frentes, en remolinos de mesoescala (eddies) de giro anticiclónico o en procesos de surgencia costera.

Indudablemente, todos los tipos anteriores (y posiblemente otros más) deben encontrarse en uno u otro punto a lo largo de las costas de todos los océanos; sin embargo, en la costa occidental de Baja California podemos descartar algunos de tales mecanismos como muy poco probables. No hay ríos considerables, por lo que el enriquecimiento sólo podría presentarse por flujo concentrado de surgencias. Por otra parte, si la existencia de las áreas de alta concentración pigmentaria descritas en la primera parte de este trabajo se deben a concentración, debiéramos poder descartar los eddies (puesto que los núcleos de mayor concentración se encuentran inmediatamente en la costa) y los procesos de surgencia, ya que en la zona se presentan surgencias a lo largo de todo el año, sean de mayor o menor intensidad y, al menos en PB y GU el periodo de alta concentración ocurre cuando las surgencias son más intensas.

Para que las áreas de concentración fuesen causadas por frentes se requeriría que la dirección de los mismos fuesen perpendiculares a la costa, lo que generalmente no sucede de ese modo. Normalmente, el frente en las zonas de surgencia se presenta donde el área surgida y enriquecida se hunde bajo una corriente de menor densidad.

Por estas razones, podemos plantear que el enriquecimiento costero se debe probablemente a flujos concentrados de surgencia, lo que habrá de ser verificado *in situ*.

El siguiente punto a considerar es qué pasa con el agua enriquecida con alta concentración de productores primarios. En las condiciones generales de surgencia costera por vientos, sería esperable que se dirigiese mar adentro, formando un frente al contacto con una corriente o masa de agua menos densa. Por otra parte, podría incorporarse a un eddie o moverse a lo largo de la costa.

El mejor indicador con que contamos por ahora son los núcleos de alta abundancia de macrozooplancton, y la localización de éstos en la zona costera de Baja California presenta lo que parecen ser los tres casos: en PB, la abundancia de macrozooplancton se encuentra considerablemente fuera de la costa, en lo que quizá sea el frente que se forma con la Corriente de California. Tanto en SV como en GU, los altos volúmenes de macrozooplancton parecen estar muy estrechamente relacionados con los núcleos de alta concentración de pigmentos, quizá retenidos por un eddie (temporal en el caso de GU; permanente

probablemente en el de SV). La distancia a que se encuentra el núcleo de alta abundancia de larvas de peces en el caso de GU podría sugerir un desplazamiento de la zona enriquecida hacia el norte, a lo largo de la costa. En el caso de SV, por otro lado, también el núcleo de larvas de peces se encuentra cercano.

Definir formalmente un Centro de Actividad Biológica puede resultar complicado a la luz de la variabilidad arriba descrita, pero es evidente que existen. La comparación del área y las abundancias relativas promedio de diferentes organismos en toda la zona, en el mar abierto, en la zona costera y en las zonas de alta abundancia permite, sin embargo, enfocar la cuestión (Tabla 1). Alrededor del 1% del área total (la que rodea las zonas de alta concentración pigmentaria) presenta una abundancia que es de 6 a 13 veces mayor que en la zona total. Incluso referido a la zona puramente costera, menos del 5% del área de la misma presenta abundancias relativas que son 4-10 veces mayores.

Es obvio que la respuesta ecológica a la existencia de zonas de alta concentración de productores primarios es la mayor abundancia relativa de los grupos de consumidores. Si esta concentración persiste a lo largo del ciclo anual, representa una zona de refugio en la que pueden mantenerse mayores biomásas, especialmente significativa a lo largo de la época del año menos productiva, los meses de pobres surgencias; éste es el caso ideal de Centro de Actividad Biológica (BAC, por sus siglas en inglés), y se encuentra en Bahía Sebastián Vizcaíno. Es una zona en que hay permanente enriquecimiento superficial, con la consecuente alta abundancia de productores primarios, que son concentrados y retenidos dando lugar a mayores abundancias relativas de consumidores. Es una zona de refugio en la que las poblaciones de sardina se mantienen y reproducen a lo largo del año y, hasta donde los datos permiten conocer, lo ha sido de manera continua (Lluch-Belda *et al.*, 1991).

La permanencia del BAC de SV tiene importantes consecuencias ecológicas y pesqueras. Por una parte, es una zona que amortigua la invasión generalizada

**Tabla 1.** Extensión de las áreas consideradas y abundancia relativa de organismos.

	área total	área oceánica	área costera	áreas de alta concentración
<b>Extensión de las áreas</b>				
extensión (km <sup>2</sup> )	664,700	518,200	146,500	
porcentaje del área total	100	78	22	
<b>Concentración pigmentaria</b>				
área muestreada (km <sup>2</sup> )	561,600	416,800	144,800	3,600
porcentaje del área muestreada	100.0	74.2	25.8	0.6
concentración pigmentaria promedio anual	0.359	0.258	0.649	2.687
<b>Volumen de desplazamiento de macrozooplancton</b>				
número de áreas muestreadas de 0.1°	1358	1010	348	7
porcentaje de las áreas muestreadas	100	74.4	25.6	0.5
volumen promedio anual de macrozooplancton	146	126	201	1,882
<b>Abundancia de huevos y larvas de peces pelágicos</b>				
número de áreas muestreadas de 0.1°	319	157	162	6
porcentaje de áreas muestreadas	100.0	49.2	50.8	1.9
abundancia promedio anual de huevos	331.3	219.5	439.7	2,398.0
abundancia promedio anual de larvas	300.7	161.7	435.3	2,925.7
<b>Abundancia de larvas de peces costeros</b>				
número de áreas muestreadas de 0.1°	1,294	962	332	11
Porcentaje de áreas muestreadas	100.0	74.3	25.7	0.9
abundancia promedio anual de larvas	23.2	22.6	24.8	127.4

de agua subtropical que debe abatir significativamente la productividad de toda la zona, permitiendo la sobrevivencia de biomasa importantes de algunas especies de afinidad más templada como la sardina.

Una consecuencia importante de este hecho es que la mayoría de la población que se expande durante la temporada de surgencias a otras latitudes debe encontrarse concentrada en el BAC durante el periodo de calmas, con dos resultantes que habría que tener en cuenta: primero, la población total podría no ser mucho mayor que lo que pueda sustentar el BAC durante el periodo pobre; segundo, la población podría ser más fácilmente evaluada en el BAC durante el periodo de calmas que en toda el área de expansión durante la temporada de surgencias. Algo similar debe ocurrir en la región de las grandes islas del Golfo de California, que parece ser la zona de refugio de la población de sardina a lo largo del verano.

### **Los Centros Estacionales de Actividad Biológica**

Si bien el enriquecimiento costero en PB y GU sucede a lo largo del año manteniendo un núcleo de mayor concentración pigmentaria que el resto de la zona costera, al igual que sucede con SV, su concentración difiere marcadamente entre la temporada de surgencias y la de calmas. Seguramente durante esta última no es suficiente para sostener poblaciones significativas de consumidores, comparadas con SV. Adicionalmente, es posible que durante la temporada de calmas no existan los mecanismos de concentración y retención adecuados.

No obstante, la disponibilidad temporal de alta abundancia de alimento tiene una respuesta ecológica indudable en la forma de abundancias mayores de consumidores; si bien en el caso del zooplancton esto puede ocurrir por simple presencia, habría que esperar que otros grupos de mayor nivel trófico presenten estrategias congruentes con la presencia regularmente periódica de alta concentración de alimento en un área determinada. Estas estrategias pueden traducirse en movimientos geográficos estacionales, desoves preferenciales, etc. como parecen estar sugeridos por los núcleos de alta abundancia de huevos y larvas de peces.

Si los mecanismos de concentración y retención funcionan, aun temporalmente como parece ser el caso de GU, un CEAB representa mucho más que un aporte considerable de biomasa para el ecosistema. Es un área de concentración de adultos desovantes, que de esta manera elevan considerablemente las posibilidades de supervivencia de sus larvas. Forman áreas de tránsito que comunican temporalmente BAC, mayormente aislados durante el resto del año. En este sentido, GU debe ser una importante área de acceso desde y al Golfo de California, mientras que PB seguramente funciona como conexión entre SV y la Cuenca de Santa Bárbara.

En términos muy pragmáticos, los CEAB concentran temporalmente especies, por lo que debiera ser mucho más fácil encontrarlas en estas zonas que en cualquier otra.

## **La importancia estratégica de los Centros de Actividad Biológica**

Indudablemente, las áreas de alta abundancia descritas arriba son estructuras oceánicas importantes e interesantes en sí mismas, que justifican sobradamente el dedicarles esfuerzo de investigación. Su importancia ecológica, discutida anteriormente, presenta relevantes cuestiones científicas que debieran ser confirmadas o corregidas y que tienen implicaciones mayores acerca de nuestros conceptos tradicionales.

Es claro que el estudio de estas áreas no debiera, ni podría, substituir el conocimiento profundo de toda la extensa zona marítima. Hay muchos aspectos que no es posible conocer concentrando el esfuerzo de investigación en extensiones que representan menos del 1% de la total; hay muchas especies que no debiéramos esperar que estén representadas siquiera en esta mínima fracción y la mayor parte de los procesos oceánicos de meso y macroescala no podrían comprenderse de manera adecuada examinando tan sólo sus efectos en una porción tan restringida.

Empero, hay características propias de estas zonas que las hacen objeto de estudio ideal de algunos aspectos particularmente relevantes. Tan sólo uno de ellos es el efecto de los cambios climáticos y oceánicos de gran escala sobre la productividad de la zona costera. Ya que su tamaño es comparativamente pequeño, es posible estudiarlos con mucho mayor detalle espacial y temporal que el que puede lograrse en la extensión total. Los instrumentos y plataformas oceánicas que se requieren son considerablemente más accesibles que los indispensables para trabajar en áreas profundas fuera de la costa.

Ya que su estructura y funcionamiento parece estar estrechamente relacionado con la conformación costera específica, debiera ser comparativamente más accesible estudiar con detalle la dinámica oceánica que resulta en enriquecimiento superficial y sus variaciones estacionales. Lógicamente debiera también resultar mucho más factible conocer las desviaciones de la normal y relacionarlas con eventos de mayor escala que se miden de manera rutinaria, lo que nos daría una idea seguramente apropiada, a un costo y esfuerzo muchísimo menor que definirlo para zonas muy extensas.

Si bien definir, por ejemplo, la desconocida distribución de una cierta especie requiere de verificar su presencia de manera extensa en toda la zona, la abundancia relativa, presencia o ausencia de una especie indicadora conocida en áreas de concentración a diferentes latitudes nos daría información extremadamente valiosa con un esfuerzo mínimo.

Determinar de manera adecuada la biodiversidad de las zonas requiere de una labor de intensa toma de muestras en toda el área, pero la determinación de tendencias de variación de la biodiversidad puede fácilmente basarse en el estudio de un conjunto conocido de especies, que podrían recolectarse más fácil y eficientemente en las áreas de concentración biológica.

Finalmente, no hay que olvidar que las áreas de alta concentración biológica son, por su naturaleza, zonas de primera importancia pesquera. El conocimiento

adecuado de las mismas puede ser crucial para administrar de manera adecuada recursos que hasta ahora han demostrado ser difíciles de manejar con los procedimientos y técnicas tradicionales.

El estudio de los BAC parece ser una estrategia interesante, en especial para las zonas de surgencia costera. El proyecto ha sido denotado proyecto piloto del Panel de Recursos Vivos del Mar del Sistema Global de Observación de los Océanos, y está en proceso de ser aplicado en la costa de Sudáfrica y en la Corriente de Humboldt.

### AGRADECIMIENTOS

La mayor parte de los conceptos expuestos se han derivado del trabajo y los planteamientos del Proyecto BAC, esencialmente con la participación original de Warren Wooster, Andrew Bakun y Daniel Ware; sin embargo, mucha de la forma actual es consecuencia de prolongadas discusiones con Daniel B. Lluch-Cota y Salvador E. Lluch-Cota, quienes han sido excelentes críticos de los planteamientos originales. Jon Elorduy revisó cuidadosamente el manuscrito e hizo valiosas aportaciones. Este trabajo es un resultado parcial del proyecto CGEPI 988004 del Instituto Politécnico Nacional. El autor es becario de COFAA-IPN.

### BIBLIOGRAFÍA

- Bautista-Romero, J.J. 1999. Distribución de larvas de peces en la Corriente de California, en los dominios temporal, espacial y térmico. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S. México, Instituto Politécnico Nacional: 75.
- Bernal, P.A. 1979. Large-Scale biological events in the California Current. Rep. Calif. Coop. Fish Invest. 20: 89-101.
- Cushing, D. 1995. Population production and regulation in the sea. A fisheries perspective. Cambridge, Cambridge Univ. Press.
- Huyer, A. 1983. Coastal Upwelling in the California Current System. Prog. Oceanog. 12(259-284).
- Iles, T.D. & M. Sinclair. 1982. Atlantic Herring. Stock Discreteness and Abundance. Science 215: 627-633.
- Lluch-Belda, D., S. Hernández & R.A. Schwartzlose. 1991. A hypothetical model for the fluctuation of the California sardine population (*Sardinops sagax caerulea*), 293-300. En: Kawasaki, T.S.T., Y. Toba & A. Tamiguchi (Eds.). Long-term variability of pelagic fish populations and their environment. New York, Pergamon Press.
- Lutjeharms, J.R.E. & J.M. Meeuwisa. 1987. The extent and variability of south-east Atlantic upwelling. S. Afr. J. Mar. Sci. 5: 51-62.
- Lynn, R.J. & J.J. Simpson. 1987. The California Current System: The Seasonal

Variability of its Physical Characteristics. J. Geophys. Res. 92(C12): 12, 947-12, 966.

Tran, A.V., J. Hyon, R. Evans, O. Brown & G. Feldman. 1993. Satellite-derived multichannel sea surface temperature and phytoplankton pigment concentration data: A CD-ROM set containing monthly mean distributions for global oceans USA\_NASA\_JPL\_PODAAC\_A001-A005, Jet Propulsion Laboratory.

# 5

## EL CENTRO DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE LA BAHÍA DE SEBASTIÁN VIZCAÍNO, UNA PRIMERA APROXIMACIÓN

*Martín E. Hernández-Rivas, Sylvia Patricia Jiménez-Rosenberg, René Funes-Rodríguez & Ricardo J. Saldierna-Martínez*

Departamento de Plancton. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional. Apdo. Postal 592. La Paz, B.C.S. 23000, México

### RESUMEN

A partir de trabajos previos, se describe la dinámica física y biológica de la Bahía de Sebastián Vizcaíno, bajo el enfoque de un Centro de Actividad Biológica, que puede por si mismo sostener poblaciones de diversos organismos. La alta productividad de la bahía, inducida por procesos físicos (giros y surgencias), le confiere características únicas como zona de retención, alimentación y crianza de múltiples especies de peces, sobre todo de pelágico costeras de gran valor comercial. Este BAC es de particular importancia pues está definido como la zona limítrofe entre dos provincias biogeográficas.

**Palabras clave:** Centro de Actividad Biológica, Corriente de California, El Niño, Sebastián Vizcaíno, Giros, Producción, Ictioplancton.

### ABSTRACT

The physical and biological dynamics of the Sebastián Vizcaíno Bay is described using results and data gathered from previous works. This is done from the point of view of a Biological Activity Center that can sustain by itself populations of distinct organisms. The high productivity of the bay, induced by physical processes (gyres and upwelling), gives it unique characteristics as a retention, feeding, and nourishment area for multiple species of fishes, mainly coastal pelagic ones of high commercial value. This BAC is of particular importance because it is defined as the limit zone between two biogeographical provinces.

**Key words:** Biological Activity Center, California Current, El Niño, Sebastián Vizcaíno, Gyres, Production, Ichthyoplankton.

## INTRODUCCIÓN

Durante una reunión realizada en La Paz, B.C.S., en 1997, se intentó dar respuesta a una serie de preguntas planteadas sobre un nuevo concepto en el ámbito de las ciencias marinas: los Centros de Actividad Biológica o BAC (Biological Action Centers, por sus siglas en inglés). Los BAC son pequeñas áreas costeras del océano, generalmente de mil a diez mil km<sup>2</sup>, fijas en el espacio y caracterizadas claramente por alta y recurrente actividad biológica, como se evidencia por la alta producción y/o biomasa de plancton y altos niveles tróficos de especies de importancia comercial.

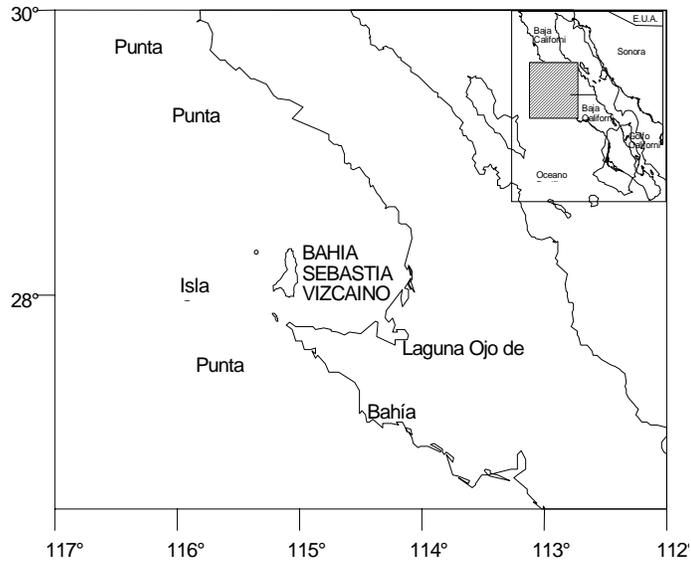
Las preguntas centrales eran el cómo se podría diferenciar un BAC de las áreas que lo circundan y que básicamente eran las siguientes: ¿Cuáles son los mecanismos físicos que permiten la existencia de un BAC? ¿Cómo son los cambios de los procesos, de las escalas estacionales hasta las escalas de centurias? ¿Cómo son las características del ecosistema del BAC en todos sus niveles tróficos y sus cambios con el tiempo? ¿Cuáles son las características de los sistemas pesqueros asociados y sus cambios en el tiempo? y, finalmente ¿Cuáles son las consecuencias asociadas de las variaciones, y el cambio en el funcionamiento de un sistema de BAC, con las actividades humanas sociales, culturales y de importancia económica?.

También en esa reunión se propuso la existencia de los siguientes Centros de Actividad Biológica: el Mar de Bering Oriental, el Estrecho de Shelikofit, la costa oeste de la Isla de Vancouver, la boca del Río Columbia, la Bahía de Monterey, el canal de Santa Bárbara, Punta Eugenia, Bahía Magdalena y la parte central del Golfo de California. Con esta contribución, pretendemos dar respuestas a algunas de las dudas que fueron planteadas para el caso de la Bahía de Sebastián Vizcaíno (Punta Eugenia).

### Características físicas

La región de la Bahía de Sebastián Vizcaíno se encuentra entre los estados de Baja California y Baja California Sur, en las costas del Pacífico mexicano. Tiene una extensión de 35 678 km<sup>2</sup>, se ubica sobre la Placa del Pacífico y presenta una plataforma ancha y fondo conformado en su mayoría por rocas ígneas. Presenta zonas de marismas, dunas costeras, tres lagunas -Laguna Manuela, Laguna Guerrero Negro y Laguna Ojo de Liebre-, playas, tres islas -Isla Natividad, Isla Cedros e Isla San Benito- y una zona oceánica (Arriaga-Cabrera *et al.* 1998). Dos canales, separados por la Isla Natividad, se abren al mar en la porción sudoeste de la bahía: el canal Kellet, el cual tiene 8 mn de ancho y de 40 a 45 m de profundidad, y el Canal Dewey, el cual tiene 4 mn de ancho y de 25 a 30 m de profundidad. Las lluvias son escasas y no tiene aportes de agua dulce (Wyllie, 1960). La Bahía Sebastián Vizcaíno está localizada dentro de la región de la Corriente de California (CC), donde los vientos predominantes del noroeste dan lugar a una de las principales regiones de surgencia costera (Bakun & Nelson, 1977) (Fig. 1).

La bahía recibe el aporte de siete masas de agua y las que resultan de su mezcla:



**Figura 1.** Localización y Toponimia de Bahía Sebastián Vizcaíno.

la masa de agua proveniente de la CC, con parámetros físicos característicos, aporta agua fría y de baja salinidad; el agua de surgencia de Punta Canoas, usualmente de temperaturas frías; la masa de agua central de la bahía, que al igual que la anterior es resultado de condiciones locales y sus valores característicos no pueden ser definidos, es agua de mezcla, relativamente caliente y con presencia de varios giros; la masa de agua característica de la laguna, la cual se mezcla dentro de la bahía a lo largo de su periferia sur, con temperaturas y salinidades altas; el agua de surgencia de Punta Eugenia, con características parecidas a las del área de Punta Canoas, pero con aportes poco importantes; el agua oceánica superficial del sur, caracterizada por altas temperaturas y salinidades, influyendo en la bahía principalmente en los meses de verano y otoño; y el agua costera profunda, con máximos de salinidad, altas temperaturas y bajo contenido de oxígeno, la cual es una extensión de la masa de agua Pacífico Ecuatorial (Wyllie, 1960; Husby & Nelson, 1982).

En general, la temperatura del agua de la bahía es relativamente baja de enero a junio, y la salinidad variable. La temperatura del agua se atribuye al patrón predecible de las temperaturas del agua en estas latitudes y a la presencia de surgencias, más persistentes durante este período, que tienden a mantener el agua fría. La salinidad variable se explica por la presencia o ausencia de surgencias, del agua proveniente de la CC, o de ambas. En julio y agosto el agua tiende a calentarse y presenta baja salinidad, esto se atribuye al incremento de la radiación solar, al debilitamiento de las surgencias y a la presencia de agua proveniente de la CC, con bajas salinidades. De septiembre a diciembre la bahía presenta tanto temperaturas como salinidades más altas. Las salinidades son

resultado de la advección de masas de agua de las regiones costeras del sur de la bahía (Wyllie, 1960).

Más al sur, cerca de Punta Eugenia la influencia de la masa de agua ecuatorial se nota en el agua cálida, más salina (~34.5 ppm) en un intervalo de profundidad de 200-500 m en los primeros cuatro cuadrantes de 1 grado por lado adyacentes a la costa. Las masas de agua indican el flujo hacia el polo norte del agua del Pacífico Ecuatorial, por debajo del flujo superficial hacia el ecuador de la CC. Esta contracorriente cálida y salina ha sido localizada hasta la costa de Washington. Los efectos de la surgencia costera son evidentes en las aguas superficiales mucho más frías durante junio en los dos cuadrantes adyacentes a la costa. Excluyendo estos dos cuadrantes costeros durante los meses de máxima surgencia (los vientos favorables para surgencia se presentan durante todo el año frente a Baja California, y el máximo de surgencia se presenta en abril y mayo), la estructura T-S en los 100 m superiores está caracterizada por una salinidad relativamente constante o un decrecimiento en la salinidad con la profundidad hasta alcanzar valores mínimos a los 75-100 m, y está asociada con un perfil de temperatura fuertemente estratificado. El mínimo de salinidad subsuperficial, que está bien definido en enero en la costa, puede ser el resultado del anómalo flujo superficial hacia el norte, el cual transporta agua del sur, alta en salinidad, a la región (Husby & Nelson, 1982).

Fiedler (1988), al analizar la estructura térmica superficial de la CC, encuentra que en promedio la capa de mezcla se hunde y la termoclina se debilita de la costa hacia mar afuera, ambas características son más someras cerca de la costa entre Punta Concepción, California, y Punta Eugenia, B.C.S. Menciona que la termoclina es más fuerte en dos áreas cercanas a la costa: la Cuenca del sur de California y al sur de Punta Eugenia. La elevación de la termoclina puede estar asociada a enfriamientos o calentamientos por: (1) calentamiento estacional y estratificación de la capa superficial; o (2) surgencia de agua fría profunda, causada por el transporte hacia mar adentro del agua cálida superficial

La fuerza de la termoclina está muy correlacionada con la temperatura superficial en la cuenca del sur de California, en aguas costeras someras al norte y al sur de Punta Eugenia, y en una banda paralela a la costa aproximadamente de 200 km frente a Punta Eugenia. La circulación en la cuenca del sur de California está dominada por el giro semicerrado de California del sur. Bahía Sebastián Vizcaíno, al norte de Punta Eugenia, está igualmente aislada del flujo de gran escala de la CC y de la contracorriente costera. De esta manera, el forzamiento local en la superficie puede tener un gran efecto en la estructura subsuperficial de estas regiones costeras (Fiedler, 1988)

### **Mecanismos físicos**

La banda costera de Punta Eugenia está caracterizada por meandros complejos en el núcleo de la CC y por un giro anticiclónico recurrente cerca de la Isla de Guadalupe (Lynn *et al.*, 1982).

Husby & Nelson (1982), al presentar las distribuciones de la velocidad del

viento al cubo, fuerza de la termoclina y profundidad de la capa de mezcla para el invierno (diciembre-febrero) y el verano (junio-agosto), ilustran los rasgos característicos de las localidades y periodos del pico de desove para las subpoblaciones central y sureña de la anchoveta (desovadores de invierno-primavera) y norteña (desovadores de verano), indicando que durante el invierno una producción de baja turbulencia, de moderadas a fuertes estratificaciones térmicas en la capa superior y una profundidad de la capa de mezcla poco profunda caracterizan (1) la región cercana a la costa (desde la costa hasta 100 km mar adentro) en la Cuenca del Sur de California y (2) un área amplia que se extiende hacia el suroeste desde Baja California Sur. Ambas regiones corresponden a las áreas generales de desove para los stocks central y sureño.

Un máximo de la velocidad del viento al cubo cerca de la costa justo, al sur de Punta Baja (cerca de los 30°N los valores son cercanos a  $500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-3}$ ), corresponde a una región permanente de rotacional del esfuerzo del viento negativo (el esfuerzo del viento se calcula multiplicando la densidad del aire, el coeficiente de arrastre y la velocidad del viento al cuadrado, se hace para cada componente de tal forma que, el resultado es un vector; el rotacional, es el producto de cruz de este vector, cuando es negativo significa que hay tendencia a giro anticiclónico o a favor de las manecillas del reloj) que alcanza la costa en las vecindades de Punta Eugenia (Nelson, 1977).

Por lo que respecta a la variabilidad estacional de la velocidad del viento al cubo y la fuerza de la termoclina dentro de ciclos anuales entre los 25-28°N, la velocidad del viento al cubo fluctúa alrededor de un valor nominal de  $300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-3}$  desde septiembre hasta febrero; los valores promedio exceden los  $400 \text{ m}^3 \text{ s}^{-3}$  después del comienzo de los vientos favorables para surgencia en marzo y abril (Bakun & Nelson, 1977). Durante este periodo, la fuerza de la termoclina decrece desde un máximo en octubre ( $6^\circ\text{C}$ ) hasta un mínimo en enero ( $\sim 0-1^\circ\text{C}$ ) (Husby & Nelson, 1982).

Husby & Nelson (1982), a partir de un examen de distribuciones de frecuencias selectas de la velocidad del viento, concluyen que los valores promedio de  $200-400 \text{ m}^3 \text{ s}^{-3}$  son totalmente consistentes con la moda de las velocidades del viento en el intervalo de  $3-5 \text{ ms}^{-1}$ . Este intervalo de valores está justo por debajo del umbral de la velocidad del viento ( $\sim 5 \text{ ms}^{-1}$ ) que Therriault & Platt (1981) utilizaron para distinguir el control biológico (baja turbulencia) del físico (alta turbulencia) de los manchones de fitoplancton.

Owen (1980) señaló que los giros –tanto libres como estacionarios– son la regla, más que la excepción, en el Sistema de la Corriente de California (SCC). Propone que los giros de más de 10 km de diámetro y con más de una semana de duración tienen el papel principal en la sustentabilidad de la alta producción biológica, la cual es característica de los primeros 200 km de la costa en el SCC. Apunta que, con la excepción del giro detectado a la sombra del viento de la Isla de Cedros por Scripps Institution of Oceanography (SIO), los giros oceánicos inducidos por el viento no se presentan en la región del SCC, sin embargo es posible que ocurran.

En el caso del giro definido en 1969 por las trayectorias de anclajes cerca de Isla de Cedros, probablemente fue ocasionado por el esfuerzo del viento; los vientos del noroeste chocaron con la Isla de Cedros y la Bahía Sebastián Vizcaíno durante el periodo de la medición. Este giro de 30 km fue localizado sobre el lado donde el viento tiene sombra (etiquetado como “área calma”), puede ser el único caso documentado en el SCC del papel que tiene el viento en la génesis de giros (Owen, 1980).

Para la latitud comprendida entre 28-31° N, Owen reporta en promedio 24.8 giros anticiclónicos y 17.9 giros ciclónicos para periodos de 10 años, siendo mayor el número (en ambos casos) en primavera y verano y con longitudes que van desde 20-100 km hasta más de 200 km, puntualizando que los gradientes de la tensión del viento favorecen la formación de giros ciclónicos en todos los meses del año para cada sector examinado, con la consistente excepción de la porción media al sur de la latitud mencionada arriba, resaltando la importancia de esto para explicar la reducida incidencia de giros ciclónicos en estas latitudes.

Por otro lado, Hewitt (1981) menciona los grandes y persistentes giros costeros al sur de Punta Concepción y Punta Eugenia, anotando que el flujo superficial de la CC parece desviarse hacia mar adentro en estos lugares, donde los giros semipermanentes son aparentes al sur de estos promontorios.

Amador-Buenrostro *et al.* (1995) coinciden que, para septiembre de 1992, la característica más destacada de la circulación en Sebastián Vizcaíno es la presencia de un giro superficial anticiclónico de aguas cálidas, que se encuentra en estrecha relación con la intensificación o relajamiento de la surgencia al norte de la bahía frente a Punta Baja y que el diámetro del giro fluctuó entre 55 y 75 km y se extendió hasta una profundidad entre 40 y 55 m; otro rasgo sobresaliente fue la presencia de una lente de aguas cálidas (22°C) en el centro de la bahía a 20 m de profundidad y que se localizó al este de la Isla de Cedros.

## Características biogeográficas

Ahlstrom (1965) observó que dentro de la región de Bahía Vizcaíno, Punta Eugenia marca el límite de distribución norte de especies de aguas cálidas (tropicales y subtropicales), así como el límite sur de especies de afinidad templada.

En Bahía Sebastián Vizcaíno se puede establecer el límite sur de la provincia Californiana, que a su vez es una zona de retención de especies de aguas cálidas provenientes del sur. Hacia el norte de Punta Eugenia se genera una surgencia semipermanente intensa, debido a los vientos que fluyen del noroeste a lo largo del año. Hacia el sur, hasta Bahía Magdalena se considera una zona de transición entre las especies de aguas templadas y las faunas tropicales del Pacífico este (Brusca & Wallerstein, 1979).

La latitud en la que se encuentra ubicada esta bahía ha sido descrita como una frontera provincial de varios grupos taxonómicos, incluyendo peces costeros (Hubbs, 1960), braquiuros (Garth, 1960), briozoarios (Soule, 1960) y moluscos (Hall, 1964; Valentine, 1966). También se han observado discontinuidades

morfológicas y fisiológicas para *Engraulis mordax* (Hubbs, 1925; McHugh, 1951), para *Sardinops sagax* (Clark, 1947; McHugh, 1950; Marr, 1957, 1960; Sprague & Vrooman, 1962; Vrooman, 1964), y para *Merluccius productus* (Vrooman & Paloma, 1977).

Sobrepuesta sobre la distribución de animales costeros está la distribución de especies de invertebrados asociadas con las masas de agua oceánicas. La distribución de los copépodos y eufáusidos oceánicos, indicadores de las aguas subártica, ecuatorial y central, tienen como término común a Punta Eugenia. La unión de estas distribuciones parece moverse al norte y al sur de acuerdo con las anomalías de temperatura, sin embargo las formas de aguas someras presentan una respuesta mucho más clara que las formas de profundidad (Hewitt, 1981).

El área norte de la Península de Baja California se caracteriza por tener una fauna de transición con marcadas variaciones norte-sur en la dominancia regional de peces rocosos y batilágidos a dominancias de gonostomátidos, peces planos y otros taxa de plataforma (Loeb *et al.*, 1983b). También presenta marcadas variaciones en la dominancia de especies subárticas, de aguas frías y provenientes del norte, a especies del Pacífico Tropical Este, de aguas calientes y provenientes del sur. Todo esto evidencia una naturaleza transicional del área (Loeb *et al.*, 1983a,b).

Otros trabajos adicionales, que incluyen la región de la Bahía de Vizcaíno dentro de su área de estudio, han generado información sobre este tópico con referencia al ictioplancton y otros grupos planctónicos, sus fluctuaciones a lo largo del año y distribución espacio-temporal (Smith & Ahlstrom, 1970; McGowan & Miller, 1980; Bailey, 1980; Ayala-Martínez & Chávez, 1985; Alvaríño, 1985,1992).

## Productividad primaria

Los valores de productividad primaria reportados para la zona se remontan a 1969. Para el bimestre de febrero-marzo, en un transecto frente a Punta Eugenia, el valor medio reportado es de  $588 \text{ mg Cm}^{-2}\text{día}^{-1}$ ; para mayo-junio es de  $514 \text{ mg Cm}^{-2}\text{día}^{-1}$ ; para agosto-septiembre el valor es de  $276 \text{ mg Cm}^{-2}\text{día}^{-1}$  y para noviembre-diciembre es de  $211 \text{ mg Cm}^{-2}\text{día}^{-1}$ , estos valores son integrados sobre la zona eufótica. Con respecto a los valores de clorofila reportados, éstos van desde  $0.4 \text{ mg m}^{-3}$  para el primer trimestre del año;  $0.5 \text{ mg m}^{-3}$  para el trimestre abril-junio;  $1.5 \text{ mg m}^{-3}$  de julio a septiembre; y para el último trimestre del año, los valores reportados han sido de  $0.1 \text{ mg m}^{-3}$ . Para las mismas épocas se presentan valores mucho mayores frente a Point Conception, alcanzando cifras de hasta  $6.2 \text{ mg m}^{-3}$ , en tanto que el valor medio de producción primaria para el bimestre de febrero-marzo fue de  $991 \text{ mg Cm}^{-2}\text{día}^{-1}$  (Owen, 1974). De manera general podemos deducir que la productividad más alta en la región se presenta durante el primer semestre del año y esto coincide con el periodo de surgencia reportado anteriormente para la zona.

## Zooplankton

Smith (1971), al analizar las tendencias espaciales y temporales de las medianas del volumen zooplanctónico en la CC para el periodo 1951-1960, observó que los valores pico se presentan comúnmente desde mayo hasta julio y los valores mínimos en octubre y en enero. Hace notar que los meses de agosto, septiembre, noviembre y diciembre no fueron muestreados adecuadamente como para hacer un resumen decenal. El mejor muestreo se hizo durante las épocas de desove de los peces pelágicos en esta región (enero-julio), cuando los volúmenes de zooplankton están en ascenso. Cuando la biomasa del zooplankton está descendiendo (agosto hasta enero), sólo los meses de octubre y enero estuvieron disponibles como para indicar un decrecimiento.

Para el área de Sebastián Vizcaíno se observa en la Tabla 4 de Smith (1971) que los mayores valores de volumen de zooplankton se alcanzan de marzo a julio con un pico en mayo, mientras que para el resto del año los valores son similares. Lavaniegos *et al.* (1998) hacen un análisis retrospectivo de volúmenes de zooplankton durante el periodo de 1951 a 1996 en el área entre Punta Baja y Punta Abrejos, observan que, durante El Niño 1982-1983, los datos al norte de Punta Eugenia mostraban anomalías negativas, mientras que el área sur presentaba valores cercanos al promedio y algunos muy elevados con anomalías positivas durante los primeros cuatro meses de 1984.

Por lo que respecta a la producción del eufáusido *Nyctiphanes simplex* en Bahía Vizcaíno, la producción debida al crecimiento de esta especie en 1996 fue estimada en  $1,297 \text{ mg m}^{-2}\text{a}^{-1}$  o  $21.26 \text{ mg m}^3 \text{ a}^{-1}$  (tomando una profundidad promedio de arrastre de 61 m). Ésta es 15 veces más alta que la producción de *N. conchii* en el Atlántico Norte. Sin embargo, es sólo el 27% de la estimada para *N. australis* en Storm Bay, Tasmania, durante 1979-1981, cuando esta especie produjo  $78.29 \text{ mg m}^3 \text{ a}^{-1}$  (Lavaniegos, 1995).

La producción de huevos de *N. simplex* fue de  $32.89 \text{ mg m}^{-2}\text{a}^{-1}$  ( $0.54 \text{ mg m}^{-3} \text{ a}^{-1}$ ). El otoño fue el pico de la estación reproductiva para *N. simplex*. Si bien la estación reproductiva en Bahía Vizcaíno puede estar relacionada con el calentamiento fuera de la bahía, las áreas del talud y el cambio en la circulación del agua dentro de la bahía, el número de larvas que están siendo producidas, *in situ* o inmigrantes, es variable. La primavera fue la estación reproductora más pobre de 1966, pero en otros periodos de primavera se han registrado altas abundancias de larvas (Lavaniegos, 1995).

Gómez *et al.* (1997), al analizar la variabilidad diaria y la dinámica de la capa de dispersión como una función de la estructura de la comunidad de eufáusidos a lo largo de la península de Baja California, encuentran cambios latitudinales en la densidad y en la composición específica; Ensenada contribuyó con el 55% de la densidad total registrada hidroacústicamente, Punta Eugenia con el 32% y Bahía Magdalena con el 13%. En Ensenada y Punta Eugenia los manchones de zooplankton fueron grandes y densos sobre la plataforma continental (las longitudes medias fueron de 10 km y 7 km), dominados por la especie nerítica *Nyctiphanes simplex* y las especies templadas *Nematoscelis difficilis*, *Euphausia pacifica* y *Thysanoessa spinifera* (grupo templado). En el área sur,

los manchones fueron pequeños y dispersos (tamaño promedio de 5 km) y se encontraron en el área fuera de la costa dominados por especies tropicales, tales como *Euphausia eximia*, *E. tenera* y *E. distinguenda* (grupo tropical), las cuales presumiblemente no forman enjambres, y *N. simplex* en baja abundancia. Reportan que la dinámica de agregación de la capa de dispersión es diferente a lo largo de la costa oeste de Baja California durante el otoño, indicando que los cambios norte-sur en la estructura de los manchones fueron ocasionados por fuertes cambios latitudinales en la oceanografía física los cuales afectaron el éxito de las especies en cada región.

### Ictioplancton

Los estudios sobre ictioplancton en la región de la CC fueron iniciados en respuesta al colapso de la pesquería de sardina del Pacífico, *Sardinops sagax*. Durante un periodo de más de 22 años la California Cooperative Fisheries Investigations (CalCOFI) condujo investigaciones biológico-oceanográficas sobre una red que se extendió más de un millón de km<sup>2</sup> desde California, E.U.A., hasta Cabo San Lucas, B.C.S., México. Posteriormente, en 1982, el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) inició su programa de muestreo sobre el ictioplancton y que hasta la fecha continua dentro del programa Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California (IMECOCAL).

Derivado de esto, es posible establecer la comunidad ictioplanctónica del litoral de la Península de Baja California y, conjuntándolo con el avance de la tecnología en la toma de imágenes por satélite de la productividad en la zona, nos permite reconocer zonas pequeñas de gran actividad biológica como la Bahía de Sebastián Vizcaíno y el Golfo de Ulloa.

Si bien es muy abundante el material ictioplanctónico obtenido en las campañas oceanográficas realizadas prácticamente desde 1951 a la fecha, el número de publicaciones ictioplanctónicas que incluyen el área de Bahía Vizcaíno es muy escaso, limitándose en gran parte a reportes y listados taxonómicos. Dentro de estos reportes se da preferencia a la información referente a las especies de pelágicos menores; se establece y confirma que en las cercanías de Isla Cedros, B.C. y Punta Eugenia, B.C.S. se encuentra uno de los dos centros más importantes de desove de sardina en la costa occidental (Anónimo, 1950). En 1951 este centro de desove fue con mucho el más productivo, obteniéndose en esta zona el 90% del total de huevos y larvas de sardinas recolectados (Anónimo, 1951). En las colectas realizadas entre 1952 y 1953 se observó que en el área central de la Península de Baja California no se presentó un descenso notable en la abundancia de huevos y larvas de sardina, como la observada frente a las costas de California (Anónimo, 1953), mientras que en 1956 el 57% del desove total del año se concentró en esta área (Anónimo, 1956).

También se reconoce a la parte central de Baja California como la segunda área en importancia en desove de anchoveta y macarela, presentando desoves a

lo largo de todo el año (Anónimo, 1953, 1956, 1958). Hernández-Vázquez (1994) encuentra que, durante el periodo de 1951 a 1989, las larvas y huevos de sardina tuvieron su mayor abundancia desde el sur de Punta Baja, B.C. hasta el norte de Bahía Magdalena, B.C.S. coincidiendo con lo encontrado por Ahlstrom (1960) y Kramer & Smith (1971), quienes observaron que en la región de Punta Eugenia y frente a la Bahía del Sur de California hay importantes centros de desove de esta especie. Moser *et al.* (1993) también muestran que el área de Sebastián Vizcaíno tiene las mayores concentraciones de huevos y larvas de esta especie en el SCC. Para el mismo periodo, Hernández-Vázquez (1994) observó que el principal centro de desove de anchoveta se encuentra claramente localizado en la Cuenca del Sur de California, pero existe un centro secundario en el área de Punta Eugenia.

A partir de 1952, se amplió el estudio del ictioplancton colectado en la región de la CC hacia otras especies de importancia comercial, además de la sardina y la macarela. En los muestreos de 1954 se ratifica al área cercana a Isla de Cedros y Punta Eugenia como la segunda en importancia en cuanto a desoves de especies de importancia comercial (Anónimo, 1955, 1960). Moser & Watson (1990) observan que, para el lenguado de California (*Paralichthys californicus*), el promedio de incidencia dentro de toda la serie de tiempo entre 1951 y 1981 en colectas de la CC, fue mayor en la zona de Bahía Sebastián Vizcaíno, al igual que el promedio de las abundancias y los máximos picos de desove. Las máximas abundancias en esta zona ocurren, además, cuando las temperaturas son las mayores, los promedios de volumen zooplanctónico son menores y las larvas están restringidas a la superficie de la columna de agua, por encima de los 30 m de profundidad. También encuentran abundancias relativamente altas para el lenguado cola de abanico (*Xystreurys liolepis*) dentro de la bahía y en las cercanías de Punta Eugenia.

Del análisis realizado por Loeb *et al.* (1983a) al ictioplancton obtenido en 1975 en el área CalCOFI, en la zona comprendida entre Point Concepción, California y Punta Eugenia, B.C.S., el 80% de las larvas fueron de *E. mordax*, que es una especie pelágica, y Bahía Vizcaíno, en particular, aportó los promedios de abundancia más elevados del resto de los grupos larvales, principalmente compuesto de peces planos. Moser *et al.* (1987) y Moser & Smith (1993), efectuaron análisis de las asociaciones ictioplanctónicas en la región de la Corriente de California e identifican entre otros, un complejo sureño de la plataforma costera, integrado por las especies demersales *Synodus* spp., *Prionotus* spp., *Symphurus* spp. y *Ophidion scrippsae* y por la especie epipelágica *Etrumeus teres*, junto con dos familias de percoideos, Carangidae y Serranidae, y otros integrantes del orden Ophidiiformes como grupos asociados. Los miembros de este complejo tienen amplia distribución tropical-subtropical y se asocian claramente a la Bahía Sebastián Vizcaíno y a la región entre Punta Abreojos y Cabo San Lázaro, B.C.S., donde presentan sus mayores abundancias, excepto *Prionotus* spp. que se encuentra en abundancias muy bajas.

Según Ahlstrom (1965), las especies más abundantes en el área de influencia de la CC en 1958 fueron: *Diogenichthys atlanticus*, una especie moderadamente

común, restringida a la Corriente de California y cuya distribución se encontró en aguas oceánicas fuera de la costa frente a California y al norte cerca de Punta Eugenia; y otras especies del Pacífico Oriental Tropical *Triphoturus mexicanus*, *Vinciguerria lucetia* y *Diogenichthys laternatus* fueron encontradas en gran abundancia frente a California del sur y Baja California.

Para la región de Bahía Vizcaíno se tiene, por parte del programa CalCOFI, un abundante número de colectas ictioplanctónicas realizadas entre 1951 y 1981 (Hewitt, 1988), del que se ha obtenido información referente a su taxonomía, hábitat y afinidad, presencia durante las estaciones del año y picos de abundancia (Tabla 1). Muchos de estos huevos y larvas pertenecen a especies de peces de importancia comercial. Otras investigaciones realizadas en la zona fueron hechas por el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR), quien cuenta con la información ictioplanctónica de esta región, perteneciente a 23 cruceros oceanográficos realizados entre 1982 y 1995 (Esqueda-Escárcega *et al.*, 1984; Esqueda-Escárcega, 1995; Esqueda-Escárcega & Hernández Trujillo, 1995; Funes-Rodríguez & Hernández-Trujillo, 1985, 1988; Funes-Rodríguez & Esquivel-Herrera, 1985, 1988; Funes-Rodríguez *et al.*, 1991, 1995, 1998; Funes-Rodríguez, 1993a,b; Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1995; Haro-Garay & Esqueda-Escárcega, 1989), y la de los cruceros realizados por el programa Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California (IMECOCAL) entre 1997 y 2000 (Hernández-Rivas *et al.*, 2000), lo que constituye el conocimiento sistemático del ictioplancton más grande del país.

A partir del análisis del ictioplancton de la región (174 especies), se ha podido establecer el tipo de comunidades de peces que utilizan la bahía, al menos como zona de reproducción y/o crianza de larvas. El 52% del total de las especies identificadas pertenecen a peces de hábitat demersal, es decir, asociadas al fondo; el 36% son peces mesopelágicos y/o batipelágicos; y sólo el 12% son especies cuyos adultos pertenecen al ambiente epipelágico, básicamente recursos de importancia comercial, como sardinas, anchovetas, macarela, charrito, atún, dorado y barracudas (Fig. 2). En cuanto a su afinidad, el 48% de los peces cuyas larvas están presentes en la bahía son considerados como organismos de transición entre las aguas templadas y subtropicales. Esto es de esperarse, considerando que Bahía Vizcaíno se encuentra ubicada dentro de las aguas de transición entre las aguas subárticas y centrales del Pacífico Norte. El 24% de las especies presentes son organismos con una amplia distribución en el Océano Pacífico, ubicándose en ambientes tanto de aguas cálidas (tropicales y subtropicales) como de aguas templadas, el 13% de las larvas pertenecen a especies exclusivas de aguas templadas, el 15% son especies de aguas cálidas, de éstas el 2% son exclusivas de aguas tropicales y otro 2% son subtropicales (Fig. 3).

## LA APROXIMACIÓN

Los estudios comparativos de la climatología del hábitat de los peces tienden a identificar tres clases principales de procesos físicos que, en combinación, dan un hábitat reproductivo favorable para peces pelágicos costeros y también para

Tabla 1. Ictioplancton colectado entre 1951 y 1984 en Bahía Sebastian Vizcaino

Datos cuatrimestrales proporcionados en promedio de huevos y/o larvas por 10 m<sup>2</sup> de superficie marina. Se muestran también las épocas y picos de reproducción (1), los hábitats (2), y las afinidades biogeográficas (3).

ESPECIES	FAMILIA	REPRODUCCIÓN				EPOCA	PICO	HABITAT	AFINIDAD
		ENE-MAR	ABR-JUN	JUL-SEP	OCT-DIC				
	Agonidae	0.01-0.04	0.05-0.09	0.01-0.04	0			D	TM
	Orden Anguilliformes	-0.01	-0.01	0.01-0.09	0.01-0.09			D	TR-SBTR-TM
<i>Argentina sialis</i>	Argentinidae	4.0-4.6	2.0-3.9	0.1-0.9	1.0-1.9	TA		D	TM-SBTR
<i>Auxis</i> spp.	Scomberidae	0	0	0.1-0.9	0	TA	AGO/SEP	D	TR-SBTR-TM
<i>Bathylagus ochotensis</i>	Bathylagidae	-1	-1	0	0	I-P	FEB/MAR	M-E	TM-SBTR
<i>Bathylagus pacificus</i>	Bathylagidae	0	-0.1	0	0	I	FEB/MAR	M-E	TM-SBTR
<i>Bathylagus wesethi</i>	Bathylagidae	0.1-0.9	1.0-9.9	1.0-9.9	0.1-0.9	P-V	MAY/AGO	M-E	TM-SBTR
<i>Brosomphycis marginata</i>	Bythitidae	0.01-0.04	0.01-0.04	0.01-0.04	0	P-O	MAY	D	TM-SBTR
	Carangidae	-0.1	0	0.1-0.9	-0.1			E	TM-SBTR
	Suborden Ceratioidei	0	0	0.01-0.09	0.01-0.09			M-B	TR-SBTR-TM
<i>Ceratoscopelus townsendi</i>	Myctophidae	-0.1	-0.1	0.1-0.9	0.1-0.9	TA	AGO	M	TR-SBTR-TM
<i>Citharichthys fragilis</i>	Paralichthyidae	5.0-9.9	5.0-9.9	10.0-17.5	0.1-0.9	TA	AGO	D	TR-SBTR-TM
<i>Citharichthys sordidus</i>	Paralichthyidae	0.10-0.24	0.25-0.49	0.25-0.49	0.10-0.24	TA	ENE/FEB	D	TR-SBTR-TM
<i>Citharichthys stigmatius</i>	Paralichthyidae	0.1-0.9	1.0-1.9	2.0-2.9	3.0-5.6	TA	OCT	D	TM-SBTR
<i>Citharichthys xanthostigma</i>	Paralichthyidae	2.0-2.9	3.0-9.7	3.0-9.7	1.0-1.9	TA	JUL/AGO	D	TR-SBTR-TM
	Clinidae	0.1-0.4	0.1-0.4	0.01-0.09	0.1-0.4			D	TM-SBTR
<i>Cololabis saira</i> (huevos)	Scomberosocidae	0.1-0.9	1.0-2.9	0.1-0.9	1.0-2.9	TA	P	E	TM-SBTR
<i>Cololabis saira</i> (larvas)	Scomberosocidae	0.01-0.14	0.15-0.34	0.01-0.14	0	TA	P	E	TM-SBTR
	Cottidae	0.01-0.09	0.1-0.4	0.1-0.4	0.01-0.09			D	TR-SBTR-TM
<i>Cyclothone</i> spp.	Gonostomatidae	0.1-0.9	0.1-0.9	0.1-0.9	1.0-4.9	V-O		M-E	TR-SBTR-TM
<i>Chauliodes macouni</i>	Chauliodontidae	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	TA	FEB	M	TM
	Chiasmodontidae	0.01-0.09	0.01-0.09	0.01-0.09	0.01-0.09				
<i>Chilara taylora</i>	Ophidiidae	0.01-0.04	0	0.20-0.26	0.10-0.19	V-O	SEP	D	TM-SBTR
<i>Chromis punctipinnis</i>	Pomacentridae	0	-0.01	1.0-1.9	0.1-0.9	V		D	TM-SBTR
<i>Danaphos oculatus</i>	Sternoptychidae	0	0.01-0.09	0.01-0.09	0	TA	ENE-AGO	M	TM-SBTR
<i>Diaphus</i> spp.	Myctophidae	-0.1	-0.1	0.1-0.9	-0.1	TA		M	TM-SBTR
<i>Diogenichthys atlanticus</i>	Myctophidae	0.1-0.9	0.1-0.9	-0.1	0.1-0.9	TA	ABR y NOV	M	TM-SBTR
<i>Diogenichthys laternatus</i>	Myctophidae	-0.1	0.1-0.9	1.0-9.9	1.0-9.9	TA	FEB/ABR y AGO	M	TR
<i>Diplophos taenia</i>	Gonostomatidae	0	0	0.01-0.09	0	TA	OCT-NOV	M-E	TM
<i>Engraulis mordax</i> (huevos)	Engraulidae	500-1001	300-499	10-99	10-99	TA	I-P	E	TM-SBTR
<i>Engraulis mordax</i> (larvas)	Engraulidae	500-827	300-499	10-99	10-99	TA	I-P	E	TM-SBTR
<i>Etrumeus teres</i>	Clupeidae	0	-0.1	1.0-1.9	0.1-0.9	V-O		E	TR-SBTR-TM
<i>Genyonemus lineatus</i>	Sciaenidae	0.01-0.09	0.01-0.09	0	0.01-0.09	O-I	MAR	D	TM
	Gerresidae	-0.01	0	0.10-0.24	0.01-0.09	V-O	AGO/SEP	D	TR-SBTR-TM
	Gobiesocidae	0	0	0.05-0.09	0.01-0.04			D	TR
	Gobiidae	0.1-0.9	0.1-0.9	0.1-0.9	0.1-0.9	TA		D	TM-SBTR
<i>Gonichthys tenuiculus</i>	Myctophidae	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	TA	INV	M	SBTR
	Haemulidae	0	-0.01	0.5-0.9	0.01-0.09	V		D	TR-SBTR-TM
<i>Haliocoeres</i> spp.	Labridae	0	0	0.10-0.99	0.10-0.99	V-O		D	SBTR
<i>Hippoglossina stomata</i>	Paralichthyidae	0.1-0.4	0.1-0.4	0.5-0.9	0.1-0.4	TA	AGO	D	TM-SBTR
<i>Hygophum atratum</i>	Myctophidae	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	TA	NOV	M	TR-SBTR
<i>Hygophum reinhardtii</i>	Myctophidae	-0.1	0	0	0	TA	V-O	M	SBTR
<i>Hypsoblennius</i> spp.	Blenniidae	-0.1	-0.1	0.1-0.9	0.1-0.9			D	TM-SBTR
<i>Ichthyos lockingtoni</i>	Centrolophidae	-0.1	-0.1	-0.1	0	TA	MAR/JUL	E	TM-SBTR
<i>Ichthyococcus</i> spp.	Phosichthyidae	0.01-0.09	0.01-0.09	0.01-0.09	0.01-0.09	TA		M	TM-SBTR
<i>Idiacanthus antrostomus</i>	Idiacanthidae	-0.1	0	-0.1	-0.1	V-O	AGO/NOV	E-B	TR-SBTR-TM
	Labridae	0	0.1-0.4	0.5-0.9	0.5-0.9			D	TM-SBTR
<i>Lampadena urophaos</i>	Myctophidae	0	-0.1	-0.1	-0.1	TA	V-O	M-E	TM-SBTR
<i>Lampantycus</i> spp.	Myctophidae	-1	-1	-1	-1	TA		M	SBTR
<i>Lestidiops ringens</i>	Paralepididae	0.01-0.09	0.01-0.09	0.01-0.09	0.01-0.09	TA		E-B	TM-SBTR
<i>Leuroglossus stibius</i>	Bathylagidae	10-29	1-9	-1	-1	I-P	ENE/ABR	E-M	TM-SBTR
<i>Lyopsetta exilis</i>	Pleuronectidae	0.1-0.9	2.0-2.9	0.1-0.9	0.01-0.09	TA	ABR	D	TM
<i>Melamphaes</i> spp.	Melamphaidae	-0.1	0.1-0.9	0.1-0.9	-0.1	TA	MAR/JUN	E-M	TM-SBTR
<i>Merluccius productus</i>	Merlicidae	40-79	-10	-10	-10	P-V	ENE/FEB	M	TM-SBTR
<i>Microstoma</i> sp.	Microstomatidae	0.01-0.09	0.01-0.09	0.01-0.09	0.01-0.09	TA	AGO	M	TM-SBTR
<i>Microstoma pacificus</i>	Pleuronectidae	0	0.01-0.09	0.01-0.09	0.01-0.09	TA	MAY/JUN	D	TM
<i>Myctophum nitidulum</i>	Myctophidae	0.01-0.09	0.01-0.09	0.01-0.09	0.01-0.09	TA	V-O	M	TR-SBTR
<i>Nannobranchium regalis</i>	Muctophidae	0	0.01-0.09	0	0	TA	P-V	M	TM-SBTR
<i>Nannobranchium ritteri</i>	Myctophidae	0.1-0.9	0.1-0.9	0.1-0.9	0.1-0.9	TA	I-P	M	TM-SBTR
<i>Nansenia candida</i>	Microstomatidae	0	-0.1	0	0	TA	FEB	M	TM
<i>Nansenia crassa</i>	Microstomatidae	0.01-0.14	0.01-0.14	0.01-0.14	0.01-0.14	TA	FEB	M	TM
<i>Notolychnus valdiviae</i>	Myctophidae	0	0	-0.1	0	TA	P-V	M	TR-SBTR-TM
<i>Notoscoelus resplendens</i>	Myctophidae	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	V-O	AGO	E-M	TR-SBTR-TM
	Orden Ophidiiformes	-0.1	0.1-0.9	2.0-2.9	2.0-2.9			D	TR-SBTR-TM
<i>Ophidion scrippsae</i>	Ophidiidae	0	0.01-0.09	2.0-2.6	0.1-0.9	V-O		D	TR-SBTR
<i>Oxyulius californica</i>	Labridae	0.01-0.09	-0.01	0.1-0.4	0.01-0.09	P-O	JUL/SEP	D	TM
	Paralepididae	0.01-0.09	0.01-0.09	0.01-0.09	0.01			M	TR-SBTR-TM
<i>Paralichthys californicus</i>	Paralichthyidae	0.5-0.9	1.0-1.7	1.0-1.7	0.1-0.4	TA	ENE/ABR y JUN	D	TM
<i>Parophrys vetulus</i>	Pleuronectidae	0.1-0.9	0.1-0.9	0.1-0.9	0.1-0.9	TA	ABR	D	TM-SBTR
<i>Peprilus simillimus</i>	Stromateidae	1.0-1.4	2.0-2.7	1.5-1.9	0.1-0.9	TA	V	D	TM
<i>Pleuronichthys ritteri</i>	Pleuronectidae	0.05-0.09	0.01-0.04	0.20-0.38	0.20-0.38	TA	JUL/SEP	D	TM

Tabla 1. continuación

Datos cuatrimestrales proporcionados en promedio de huevos y/o larvas por 10 m<sup>2</sup> de superficie marina. Se muestran también las épocas y picos de reproducción (1), los hábitats (2), y las afinidades biogeográficas (3).

ESPECIES	FAMILIA	REPRODUCCIÓN							HABITAT	AFINIDAD
		ENE-MAR	ABR-JUN	JUL-SEP	OCT-DIC	EPOCA	PICO			
<i>Pleuronichthys verticalis</i>	Pleuronectidae	0.5-0.9	0.5-0.9	1.0-1.7	0.1-0.4	TA	MAR/AGO	D	TM-SBTR	
	Pomacentridae	0	0	0.25-0.49	-0.01	P-V		D	TR-SBTR-TM	
<i>Poromita</i> spp.	Melamphidae	0.01-0.09	0.01-0.09	0.01-0.09	0.01-0.09			M	TM	
<i>Pronotus</i> spp.	Triglidae	0	-0.1	0.1-0.9	0.1-0.9			D	TM-SBTR	
<i>Protomyctophum crockeri</i>	Myctophidae	-1	-1	-1	-1	TA	DIC	E-M	TM-SBTR	
<i>Sarda chilensis</i>	Scombridae	0	0.25-0.49	0.10-0.24	0	P		E	TM-SBTR	
<i>Sardinops sagax</i> (huevos)	Clupeidae	30-272	30-272	30-272	20-29	TA	P-V	E	TM-SBTR	
<i>Sardinops sagax</i> (larvas)	Clupeidae	10-19	10-19	30-35	10-19	TA	P-V	E	TM-SBTR	
	Sciaenidae	1.0-4.9	0.1-0.9	1.0-4.9	0.1-0.9			D	TM-SBTR	
<i>Scomber japonicus</i>	Scombridae	0.1-0.9	2.0-3.9	4.0-7.0	1.0-1.9	P-O	ABR y AGO	E	TR-SBTR-TM	
	Scopelarchidae	-0.01	0.01-0.09	0.01-0.09	0.01-0.09			M	TR-SBTR-TM	
<i>Scopelogadus bispinosus</i>	Melamphidae	0.01-0.09	0.01-0.09	0.01-0.09	0.01-0.09	TA	JUL-NOV	M	TR-SBTR	
<i>Scopelosaurus</i> spp.	Notosudidae	0	0.01-0.09	0.01-0.09	0	P-V		M	TM-SBTR	
<i>Scorpaena</i> spp.	Scorpaenidae	0	-0.01	1.0-1.9	0.1-0.9	V-O	AGO	D	TM-SBTR	
<i>Scorpaenichthys marmoratus</i>	Cottidae	0.01-0.09	0.01-0.09	0.01-0.09	0.01-0.09			D	TM	
<i>Sebastes jordani</i>	Scorpaenidae	-0.1	0	0	0	O-P	MAR	D	TM-SBTR	
<i>Sebastes macdonaldi</i>	Scorpaenidae	0.50-0.74	0.01-0.09	0	0	I-P	ABR	S	TM-SBTR	
<i>Sebastes paucispinis</i>	Scorpaenidae	-0.1	0	0	0	O-P	ENE	D	TM-SBTR	
<i>Sebastes</i> spp.	Scorpaenidae	20-39	10-19	-10	-10			D	TM-SBTR	
<i>Seniota lalandi</i>	Carangidae	0	0	0.50-0.99	0.10-0.49	P-O	AGO	D	TM-SBR	
	Serranidae	0	-0.1	1.0-4.9	0.1-0.9			D	TR-SBTR-TM	
<i>Sphyraena argentea</i>	Sphyracidae	0.01-0.09	0.01-0.09	0.50-0.99	0	TA	JUL/SEP	COST	TR-SBTR-TM	
<i>Stenobranchius leucopsaurus</i>	Myctophidae	-1	-1	-1	-1	TA	MAR	M	TM	
	Sternoptychidae	0.1-0.9	0.1-0.9	0.1-0.9	0.1-0.9	TA		M	TM-SBTR	
<i>Stomias atriventer</i>	Stomiidae	0.1-0.9	0.1-0.9	0.1-0.9	0.1-0.9	TA	FEB y SEP	M	TR-SBTR	
<i>Symbolphorus californiensis</i>	Myctophidae	-0.1	0.1-0.9	0.1-0.9	0.1-0.9	TA	P-V	M	TM	
<i>Symphurus</i> spp.	Cynoglossidae	-0.1	0	5.0-6.9	1.0-1.9	V-I	SEP	D	TM-SBTR	
<i>Synodus</i> spp.	Synodontidae	0.1-0.9	0.1-0.9	5.0-9.9	10.0-20.0	O-I	SEP/NOV	D	TM-SBTR	
<i>Tarletonbeania crenularis</i>	Myctophidae	-1	-1	-1	0	TA	FEB/MAR	M	TM	
<i>Tetragonurus cuvieri</i>	Tetragonuridae	-0.1	-0.1	0.1-0.9	-0.1	TA	OTO	E-M	TM-SBTR	
	Trachipteridae	-0.01	0	0	0			E	TR-SBTR-TM	
<i>Trachurus symmetricus</i>	Carangidae	1-9	1-9	-1	-1	I-V		E	TM-SBTR	
	Trichiuridae	0.01-0.09	-0.01	0.1-0.4	0.1-0.4	V-O		D	TR-SBTR-TM	
<i>Triphortus mexicanus</i>	Myctophidae	1-9	10-19	10-19	1-9	TA	AGO/SEP	M	TM-SBTR	
<i>Vinciguerra lucetta</i>	Phosichthyidae	-10	-10	10-49	10-49	TA	SEP/OCT	M-E	TM-SBTR	
<i>Xystreurus iolepis</i>	Paralichthyidae	0.01-0.09	0.10-0.24	0.50-0.60	0.10-0.24	TA	AGO	D	TM-SBTR	
<i>Aristostomias scintillans</i>	Malacosteidae	.0100-.0999	0	0	0	TA	ABR/MAY	M	TM	
	Atherinidae	.0750-.0999	-.0250	-.0250	.0250-.0749			D	TR-SBTR-TM	
<i>Bathophilus</i> spp.	Melanostomiidae	0	0	-0.100	0			M	TM-SBTR	
<i>Benthosema pterota</i>	Myctophidae	0	0	0	.0100-.0999			D	TR-SBTR-TM	
	Suborden Blennioidei	0	.0100-.099	.0100-.099	.0100-.099			D	TR-SBTR-TM	
<i>Brama</i> spp.	Bramidae	0	-0.100	-0.100	.0100-.0499			M	TM-SBTR	
<i>Caulolatilus princeps</i>	Malacanthidae	0	.1325-.1817	.1325-.1817	-.0125	V	JUL	D	TR-SBTR-TM	
<i>Coryphaena hippurus</i>	Coryphaenidae	-0.100	-0.100	.0100-.0999	.0100-.0999	TA	24 GRADOS	E	TR-SBTR	
	Cyclopteridae	-0.0100	.0500-.1499	.0100-.0499	0			D	TM-SBTR	
<i>Etopus</i> spp.	Paralichthyidae	0	-0.100	.1500-.2360	.1500-.2360	P-O	SEP	D	TR-SBTR	
	Exocoetidae	0	-0.100	.0250-.0499	-0.100			E	TR-SBTR-TM	
<i>Girella nigricans</i>	Kyphosidae	0	0	.0250-.0399	-0.100	P-O	JUN/JUL	D	TM-SBTR	
	Hemiramphidae	0	0	-0.100	0			E	TR-SBTR-TM	
<i>Hippoglossina</i> spp.	Paralichthyidae	0	0	0	-.0050	TA	AGO	D	TM-SBTR	
<i>Hypsopsetta guttulata</i>	Pleuronectidae	.0400-.0549	0	-.0100	.0250-.0399	TA	INV	D	TM-SBTR	
<i>Hypsopops rubicundus</i>	Pomacentridae	0	0	.1000-.2999	0	P-V		D	TM	
<i>Lepidopus fitchi</i>	Trichiuridae	0	0	.1000-.2499	.0100-.0499	V-O	AGO	D	TM-SBTR	
<i>Lowenia rara</i>	Myctophidae	0	-0.100	0	0	TA	MAY	M	TR-SBTR	
<i>Macroramphosus gracilis</i>	Centriscidae	0	0	-0.125	.0125-.0524	TA	OCT/MAR	E	TM-SBTR	
	Macrouridae	-0.100	0	0	-0.100			D	TM	
<i>Medialuna californiensis</i>	Kyphosidae	0	.0100-.0249	.0250-.0999	-0.100	P-O	JUL	D	TM-SBTR	
<i>Mugil</i> spp.	Mugilidae	0	0	-0.100	.0100-.0249	TA	AGO	D	TR-SBTR-TM	
<i>Myctophum aurolaternatum</i>	Myctophidae	0	0	0	-0.100	I-P y O		E	TR-SBTR	
	Nemidae	0	0	.0100-.0999	-0.100			E	TR-SBTR-TM	
<i>Arctozenus risso</i>	Paralepididae	0	0	-0.100	.0100-.0999	TA		M	TR-SBTR-TM	
<i>Oxylebius pictus</i>	Hexagrammidae	-0.100	-0.100	0	0	O-V		D	TM	
<i>Physiculus</i> spp.	Moridae	0	.0025-.0074	.0025-.0074	.0125-.0199			D	TR-SBTR-TM	
<i>Pleuronichthys coenosus</i>	Pleuronectidae	.0100-.0249	.0100-.0249	-0.100	-0.100	TA	ABR/JUL	D	TM-SBTR	
<i>Porichthys</i> spp.	Batrachoididae	0	0	0	.0175-.0235			D	TM	
<i>Psenes pelucius</i>	Nemidae	0	0	-0.100	0	V-I	SEP	E	TM-SBTR	
<i>Scomberomorus</i> spp.	Scombridae	0	0	-0.050	0			E	TM-SBTR	
<i>Scopelarchus</i> spp.	Scopelarchidae	.0125-.0524	0	.0125-.0524	.0125-.0524	TA		M	TM-SBTR	
<i>Syacium ovale</i>	Paralichthyidae	0	0	.0100-.099	0	V-I		D	TR-SBTR	
<i>Semicossyphus pulcher</i>	Labridae	0	-0.250	.1000-.1340	.0250-.0499	P-O	JUL/SEP	D	TM-SBTR	
	Sparidae	0	0	.0050-.0099	0			D	TR-SBTR-TM	

Tabla 1.continuación

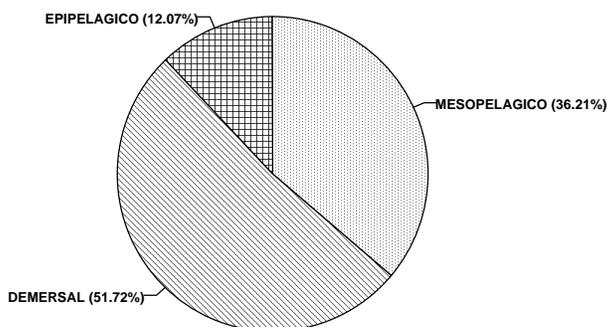
Datos cuatrimestrales proporcionados en promedio de huevos y/o larvas por 10 m<sup>2</sup> de superficie marina. Se muestran también las épocas y picos de reproducción (1), los hábitats (2), y las afinidades biogeográficas (3).

ESPECIES	FAMILIA	REPRODUCCIÓN				ÉPOCA	PICO	HÁBITAT	AFINIDAD
		ENE-MAR	ABR-JUN	JUL-SEP	OCT-DIC				
<i>Syngnathus</i> spp.	Syngnathidae	.0100	.0100-.0249	.0900-.1195	.0900-.1195			D	TR-SBTR-TM
<i>Zanolepis</i> spp.	Hexagrammidae	.0800-.1199	-.0400	-.0400	.0800-.1199	I-P		D	TM
<i>Paralichthys</i> spp.	Paralichthyidae					TA	IP		TM
	Alepocephalidae							M	TM-SBTR

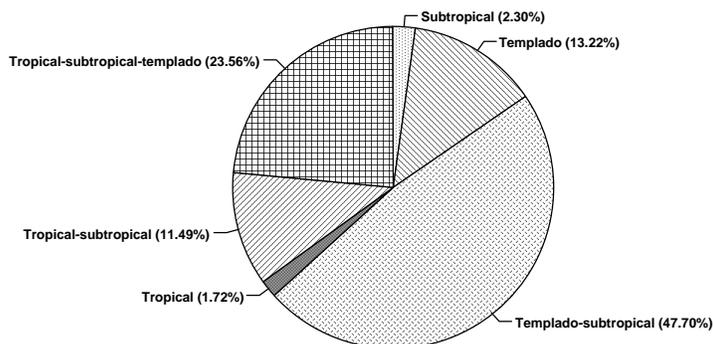
(1) TA: todo el año; I:invierno; P:primavera; V:verano; O:otoño.

(2) D:demersal; E:epipelágico; M:mesopelágico; B:batipelágico.

(3) TM:templado; SBTR:subtropical; TR:tropical.



**Figura 2.** Reparto de hábitats de larvas de peces presentes en Bahía Sebastián Vizcaíno, elaborado en función de los datos tomados desde 1951 hasta 1994.



**Figura 3.** Reparto de afinidades de larvas de peces presentes en Bahía Sebastián Vizcaíno, elaborado en función de los datos tomados desde 1951 hasta 1994.

muchos otros tipos de peces: (1) procesos de enriquecimiento (surgencia, mezcla, etc.); (2) procesos de concentración (convergencia, formación de frentes, estabilidad de la columna de agua) y; (3) procesos que favorecen la retención dentro (o derivan hacia) un hábitat apropiado, lo que se ha llamado la “tríada fundamental” (Bakun, 1997).

La región de Sebastián Vizcaíno es una de las zonas más productivas del SCC, al igual que la Cuenca del sur de California, esto aparentemente por la presencia de giros oceánicos ocasionados por el choque de corrientes, la presencia de islas, la topografía de la costa y el viento. Al parecer estos giros juegan un papel importante para mantener la producción del sistema, a través del enriquecimiento vía nutrientes y la respuesta del fitoplancton, zooplancton y stocks de necton pequeño (Owen, 1980). Uda & Ishino (1958) identificaron los patrones de enriquecimiento resultantes del sistema de giros frente a Japón, comparables en escala y persistencia con aquellos frente a California y Costa Rica. Se encontraron áreas de altas concentraciones de especies comerciales y ecológicamente importantes como peces, calamares, ballenas, plancton y fauna bentónica, coincidentes con áreas de alta actividad de giros; se distinguen sistemas de giros topográficos (aquellos afectados por la topografía) y sistemas de giros dinámicos (aquellos afectados por “colisión” de corrientes).

Owen (1981) concluye que la combinación de las características físicas de los frentes y giros con las características interactivas de los organismos lleva al siguiente catálogo de efectos ecológicos. Los frentes y giros pueden: afectar mecánicamente las concentraciones locales de organismos; yuxtaponer poblaciones de manera tal que no podrían interactuar; crear nuevas “comunidades”; conservar y traslocar conjuntos de especies selectas y concentrarlas; atraer y sostener grandes animales móviles; servir como refugio para la reproducción; mecánicamente limitar la dispersión de las poblaciones del meroplancton o neríticas; seleccionar patrones de componentes de poblaciones o comunidades (parches cuasiordenados); inducir/sostener alta producción local de organismos; modificar los patrones de migración tan diversos como el anual, movimientos transoceánicos de peces y migraciones diurnas verticales de fitoplancton móvil y coleccionar en la superficie sustancias activas y particuladas.

Dawson (1951, 1952) mencionó la importancia del giro de Vizcaíno como un refugio para especies tropicales de macroalgas. Al fin de la temporada de verano, el incremento de la temperatura dentro de la bahía parece estar relacionado con la maduración rápida de los eufáusidos adultos que son retenidos por el giro, incrementando así la probabilidad de un apareamiento de la población (Lavaniegos, 1995).

Loeb *et al.* (1983a) observaron que la región norte de la península de Baja California es uno de los dos centros de máximas abundancias de ictioplancton que se presentan en el noroeste del Pacífico. Esto es debido a la gran concentración de especies pelágicas migratorias en esta área, que se caracteriza por un mínimo de transporte de agua superficial hacia fuera de la costa. Parrish *et al.* (1981) sugieren que el desove de especies pelágicas en esta área puede ser

una estrategia reproductiva para minimizar la pérdida de estadios de huevo y larva en condiciones marinas menos favorables. Además, esta área marca la separación de las poblaciones desovantes de los peces pelágicos mayores (Hewitt, 1981) y separa áreas que tienen periodos significativamente diferentes de picos de abundancia estacionales de zooplancton e ictioplancton (Loeb *et al.*, 1983a). Sus regiones cercanas a la costa tienen concentraciones de especies zooplanctónicas características de mar abierto y agrupamientos extremos de zooplancton a lo largo del año (Arthur, 1977; Loeb *et al.*, 1983a), características relacionadas con la hidrografía única del área (Loeb *et al.*, 1983b).

Funes-Rodríguez *et al.* (1995) realizaron un análisis de larvas indicadoras de aguas de la Corriente de California observando que, a lo largo de los muestreos realizados durante 1983, 1984 y 1985, Punta Eugenia se convierte en el límite de distribución sur para algunas de estas especies, debido a la influencia de las aguas cálidas durante el evento “El Niño” 1982-1983. Sin embargo, en años de temperaturas anómalas, nosotros hemos realizado estudios sobre la composición y abundancia del ictioplancton y zooplancton en tres eventos “El Niño” (1958-59, 1983-84 y 1997-98) observando cambios tanto en distribución como en abundancia de estas especies.

Casi todos los grupos taxonómicos en el mar presentan larvas planctónicas y se ha propuesto que los giros costeros que se presentan en esta región pueden jugar un papel importante en el reclutamiento de las poblaciones adultas, al retener a una fracción de estas larvas, compensando esto con una dispersión extendida hacia el suroeste por vía de la Corriente de California (Hewitt, 1981). El giro de Vizcaíno podría jugar un papel importante en el mantenimiento de la subpoblación sureña de la anchoveta *Engraulis mordax* (Lavaniegos, 1995).

## CONCLUSIONES

La Bahía Sebastián Vizcaíno reúne las condiciones establecidas previamente para ser tipificada como un Centro de Actividad Biológica, de acuerdo a la propuesta original por:

- 1) Ser un lugar costero, fijo en el espacio con un área aproximada de 35,678 km<sup>2</sup>. No toda la zona presenta las mismas características por lo que el área debe ser menor.
- 2) La productividad es constante a lo largo del año.
- 3) Existe un gran número de especies de importancia comercial, básicamente pelágicos (masivos) y bentónicos.
- 4) Presenta procesos de enriquecimiento, concentración y retención, a través de una estructura de giros.
- 5) A pesar de los cambios de mediana y gran escala, mantiene estas características.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Ahlstrom, E.H. 1960. Distribution and abundance of eggs and larvae populations of the Pacific sardine. Fish. Bull., (56):83-140.
- Ahlstrom, E.H. 1965. Kinds and abundances of fishes in the California Current region based on egg and larval survey. CalCOFI Rep., (10):31-52.
- Alvariño, A. 1985. Las surgencias en la región de California-Baja California relaciones con el zooplancton y poblaciones de *Engraulis mordax* (Pisces). Inv. Mar. CICIMAR, (2):81-102.
- Alvariño, A. 1992. Distribución batimétrica, diurna y nocturna, de diecisiete especies de quetognatos, durante las cuatro estaciones del año 1969, en aguas de California y Baja California. Inv. Mar. CICIMAR, 7(esp 1):170.
- Amador-Buenrostro, A., M.L. Argote-Espinoza, M. Mancilla-Peraza & M. Figueroa-Rodríguez. 1995. Variaciones de periodo corto de la circulación anticiclónica en Bahía Sebastián Vizcaíno, B.C. Ciencias Marinas, 21(2):201-223.
- Anónimo. 1950. California Cooperative Sardine Research Program, Progress Report 1950. 54 p.
- Anónimo. 1952. California Cooperative Sardine Research Program, Progress Report, 1 January 1951 to 30 June 1952. 50 p.
- Anónimo. 1953. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations, Progress Report, 1 July 1952 to 30 June 1953. 44 p.
- Anónimo. 1955. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations, Progress Report, 1 July 1953 to 31 March 1955. 52 p.
- Anónimo. 1956. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations, Progress Report, 1 April 1955 to 30 June 1956. 44 p.
- Anónimo. 1958. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations, Progress Report, 1 July 1956 to 1 January 1958. 57 p.
- Anónimo. 1960. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations, Progress Report, 1 January 1958 to 30 June 1959. 217 p.
- Anónimo. 1985. California Cooperative Sardine Research Program, Reports January 1 to December 31, 1984. CalCOFI Repts. (26):183.
- Arriaga-Cabrera, L., E. Vázquez-Domínguez, J. González-Cano, R. Jiménez-Rosenberg, E. Muñoz-López & V. Aguilar-Sierra (Coords.) 1998. Regiones Prioritarias Marinas de México. CONABIO. 198 p.
- Arthur, D.K. 1977. Distribution, size, and abundance of microcopepods in the California Current system and their possible influence on survival of marine teleost larvae. Fish. Bull. (75):601-611.
- Ayala-Martínez, Y. & H. Chávez. 1985. Nota sobre la colecta de larvas y

- juveniles de langosta roja, *Panulirus interruptus* (Randall), en la costa occidental de Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 11(2):93-100.
- Bailey, K.M. 1980. Recent changes in the distribution of hake larvae: causes and consequences. *CalCOFI Rep.*, (21):167-179.
- Bakun, A. 1997. Radical interdecadal stock variability: recent bane but potential boom to scientific fisheries management. *En*: Pitcher, T.J., P.J.B. Hart & D. Pauly (Eds.). *Reinventing fisheries management*. Chapman and Hall.
- Brusca, R.C. & B.R. Wallerstein. 1979. Zoogeographic patterns of Idoteis Isopods in the Northeast Pacific, with a review of shallow water zoogeography of the area. *Bull. Biol. Soc. Wash.*, (3):67-105.
- Clark, F. 1947. Analysis of the populations of the Pacific sardine on the basis of vertebral counts. *Calif. Fish Game Bull.*, (65):26.
- Esqueda-Escárcega, G.M., A. Esquivel-Herrera, R. Funes-Rodríguez, A. Green-Ruiz, R. González-Armas, M.J. Haro-Garay, M.E. Hernández-Rivas, S. Hernández-Trujillo, R.J. Saldierna-Martínez, M. Sánchez-Hidalgo -y-Anda, C.A. Sánchez-Ortíz & G.R. Vera-Alejandre. 1984. Atlas de distribución y densidad de huevos y larvas de clupeidos y engráulidos en la Costa Pacífica de Baja California Sur. 1981-1984. Atlas CICIMAR (1):56.
- Esqueda-Escárcega, G.M. & S. Hernández-Trujillo. 1995. Características del hábitat de desarrollo larval de tres especies de peces batilágidos (Pisces: Salmoniformes). *Ciencias Marinas*. 21(4):427-438.
- Funes-Rodríguez R. & S. Hernández-Trujillo. 1985. Larvas de Mictófidis, Distribución y abundancia en seis cruceros en la Costa Occidental de Baja California Sur; Período: abril de 1982-mayo de 1983. CIBCASIO Transactions Volume X. Décima reunión. La Jolla, California agosto de 1985: 75-86.
- Funes-Rodríguez, R., M.J. Haro Garay & G.M. Esqueda-Escárcega. 1991. Atlas de Distribución y Abundancia de Larvas de peces Mesopelágicos en la Costa Occidental de B.C.S. México 1982-1984. Oceánides, Atlas (11).
- Funes-Rodríguez, R. 1993a. Abundancia de larvas de Myctophidae durante EL NIÑO (1982-1984) en la costa occidental de Baja California Sur. Ciencia Pesquera, (10): 79-88.
- Funes-Rodríguez, R. 1993b. Fluctuaciones del ictioplancton en el pacífico Oriental de Baja California Sur, México: abril 1982-enero 1984. Soc. Cienc. Nat. La Salle, tomo XLVIII. (3).
- Funes-Rodríguez, R., M.A. Fernández & R. González-Armas. 1998. Larvas de peces recolectadas durante dos eventos El NIÑO en la costa occidental de Baja California Sur, México 1958-1959 y 1983-1984. Oceánides.13 (1):67-75.
- Funes-Rodríguez, R., R. González-Armas & A. Esquivel-Herrera. 1995. Distribución y composición específica de larvas de peces durante y después

- de El Niño, en la costa del Pacífico de Baja California Sur (1983-1985). Hidrobiológica, 5 (1-2): 113-125.
- Funes-Rodríguez. R. & A. Esquivel-Herrera. 1985. Determinación de las principales características que permiten la identificación de las larvas de *Opisthonema* sp. en la costa occidental de Pacífico de Baja California Sur. Inv. Mar. CICIMAR, 1985. 2 (2):77-85.
- Funes-Rodríguez. R. & A. Esquivel-Herrera. 1988. Comparación de los caracteres merísticos, morfométricos y de pigmentación en las larvas del género *Opisthonema* Gill, 1861, en el Noroeste de México. Ciencias Marinas. 14 (3): 51-68.
- Funes-Rodríguez. R. & S.-Hernández-Trujillo. 1988. Larvas de Mictófidos y copépodos mesopelágicos: Distribución y Abundancia en la Costa Occidental de Baja California Sur. Ciencias Marinas. 14 (2): 69-84.
- Garth, J. 1960. Distribution and morphological divergence in American coastal-zone planktonic copepods of the genus *Labidocera*. Estuarine Res., (1):342-419.
- Gómez-Gutiérrez, J., S. Hernández-Trujillo & G.M. Esqueda-Escárcega. 1995. Community structure of euphausiids and copepods in the distribution areas of pelagic fish larvae off the west coast of Baja California, México. Scientia Marina. 59(3-4):381-390.
- Gómez-Gutiérrez J., G. González-Chávez, C.J. Robinson & V. Arenas-Fuentes 1997. Diel variability and dynamics of the scattering layer as a function of the euphausiid community structure along Baja California, October 1994. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Abstracts Annual Conference 1997. 13 p.
- Hall, C. 1964. Shallow water marine climates and molluscan provinces. Ecology, 45(2): 226-234.
- Haro-Garay, M.J. & G.M. Esqueda-Escárcega, 1989. Comparación de la mortalidad en larvas de *Vinciguerria lucetia*, *Sardinops sagax caerulea* y *Opisthonema libertate* en la Costa Occidental de Baja California Sur, México. Investigaciones Marinas CICIMAR 4(1):105-116.
- Hernández-Rivas, M.E., R. Funes-Rodríguez, S.P. Jiménez-Rosenberg & S. Camarillo-Coop. 2000. El uso del muestreador continuo de huevos de peces en la región sureña de la Corriente de California, 47-48. En: Ríos-Jara, E., E. Juárez-Carrillo, M. Pérez-Peña, E. López-Uriarte, E.G. Robles-Jarero, D.U. Hernández-Becerril & M. Silva-Briano (Eds.). Estudios sobre el Plancton en México y el Caribe. Sociedad Mexicana de Planctología y Universidad de Guadalajara. 147 p.
- Hernández-Vázquez, S. 1994. Distribution of eggs and larvae from sardine and anchovy off California and Baja California, 1951-1989. CalCOFI Rep., (35):107.
- Hewitt, R.P. 1981. Eddies and speciation in the California Current. CalCOFI Rep., (22):96-98.

- Hubbs, C. 1925. Racial and seasonal variation in the Pacific herring, California sardine and California anchovy. Calif. Fish Game. Fish Bull., (8):1023.
- Hubbs, C. 1960. The marine vertebrates of the outer coast. Symp: The Biogeography of Baja California and adjacent seas. Syst. Zool., 9(3 y 4):134-147.
- Husby, D.M. & C.S. Nelson. 1982. Turbulence and vertical stability in the California Current. CalCOFI Rep., (23):113-129.
- Kramer, D. & P. Smith. 1971. Seasonal and geographic characteristics of fishery resources. California Current Region-VII. Pacific sardine. Commer. Fish. Rev., 33(10):7-11.
- Lavaniegos, B.E. 1995. Production of the euphasiid *Nycthiphanes simplex* in Vizcaíno Bay, Western Baja California. J. Crustacean Biol., 15(3):444-453.
- Lavaniegos, B.E., J. Gómez-Gutiérrez, J.R. Lara-Lara & S. Hernández-Vázquez. 1998. Long-term changes in zooplankton volumes in the California Current System-The Baja California region. Mar. Ecol. Prog. Ser., (169):55-64.
- Loeb, V.J., P.E. Smith & H.G. Moser .1983(a). Ichthyoplankton and zooplankton abundance patterns in the California Current area, 1975. CalCOFI Rep., (24):132-151.
- Loeb, V.J., P.E. Smith & H.G. Moser. 1983(b). Geographical and seasonal patterns of larval fish species structure in California Current area, 1975. CalCOFI Rep., (24):132-151.
- Marr, J. 1957. The subpopulation problem in the Pacific sardine, *Sardinops caerulea*. U. S. Fish. Wildl. Serv., Spec. Sci. Rep., Fish., (208):108-120.
- Marr, J. 1960. The causes of the mayor variations in the catch of the Pacific sardine, *Sardinops caerulea* (Girard). Proc. Worl. Scientific Meeting on Biol. Sardines and related species. FAO/UN, (3):667-791.
- McGowan, J.A. & B.C. Miller. 1980. Larval fish and zooplankton community structure. CalCOFI Rep., 21:29-36.
- McHugh, J. 1950. Variations and populations in the clupeoid fishes of the North Pacific. Tesis de Doctorado, Univ. Calif. Los Angeles.
- McHugh, J. 1951. Meristic variations and populations of northern anchovy (*Engraulis mordax*). Scrps Inst. Oceanogr. Bull., 6(3):123-160.
- Moser, H.G. & P.E. Smith. 1993. Larval fish assamblages of the California Current Region and their horizontal and vertical distributions across a front. Bull. Mar. Sci., 53(2):645-691.
- Moser, H.G. & W. Watson. 1990. Distribution and abundance of early life history stages of the California halibut, *Paralichthys californicus*, and comparison with the fantail sole, *Xystreurus liolepis*. Fish Bull., (174):31-84.
- Moser, H.G., P.E. Smith & L.E. Eber. 1987. Larval fish assamblages in the

- California Current Region, 1954-1960, a period of dynamic environmental change. CalCOFI Rep., (28):97-127.
- Owen, R.W. 1974. Distribution of primary production, plant pigments and Secchi depth in the California Current region, 1969, 98-117. En: Fleminger, A. & J.G. Wyllie, (Eds.). CALCOFI Atlas, (20):99-117.
- Owen, R.W. 1980. Eddies of the California Current system: Physical and ecological characteristics, 237-263. En: Power, D. (Ed.). The California islands. Mus. Nat. Hist, Sta. Barbara, California.
- Owen, R.W. 1981. Fronts and eddies in the sea: Mechanisms, interactions and biological effects, 197-233. En: Longhurst, A.R. (Ed). Analysis of marine ecosystems. Academic Press, London.
- Parrish, R. H., C.S. Nelson & A. Bakun. 1981. Transport mechanisms and reproductive succes of fishes in the California Current. Biol. Oceanogr., (1):175-203.
- Smith, P.E. 1971. Distributional atlas of zooplankton volumes in the California Current region, 1951 through 1966. CALCOFI Atlas No. 13.
- Smith, P.E., E.H. Ahlstrom & D.C. Harold. 1970. The saury as a latent resource of the California Current. CalCOFI Rept., (14):88-130.
- Soule, J. 1960. The distribution and affinities of the littoral marine bryozoa (Ectoprocta). Simp: The Biogeography of Baja California and adjacent seas, Syst. Zool. 9 (3 y 4):100-104.
- Sprague, L. & A. Vrooman. 1962. A racial analysis of the Pacific sardine (*Sardinops caerulea*) based on studies of erythrocyte antigens. N.Y. Acad. Sci., (97):131-138.
- Thomas, W.H. & D.L.R. Seibert, 1974. Distribution of nitrate, nitrite, phosphate and silicate in the California Current region. CalCOFI Atlas (20):125 p.
- Uda, M. & M. Ishino. 1958. Enrichment pattern rwsulting form eddy systems in relation to fishing grounds. J. Tokio Univ. Fish. (44):105-129.
- Valentine, J. 1966. Numerical analysis of marine molluscan ranges on the extratropical northeastern Pacific self. Limnol. Oceanogr., (11):198-211.
- Vrooman, A. 1964. Serologically differentiated subpopulations of the Pacific sardine, *Sardinops caeruleus*. J. Fish. Res. Board. Can., 21(4):691-701.
- Vrooman, A. & P. Paloma. 1977. Dwarf hake off the coast of Baja California, Mexico. CalCOFI Rep., (14):67-72.
- Wyllie, J.G. 1960. The water masses of Sebastian Vizcaino Bay. CalCOFI Rep., (8):907-917.
- Wyllie, J.G. 1966. Geostrophic flow of the California Current at the surface and at 200 meters. CalCOFI Atlas (4):288.

# 6

## EXPLORACIÓN DE LA CAPACIDAD PREDICTIVA DE LOS BAC EN ESPACIO Y TIEMPO: PUNTA EUGENIA Y EL SUR DE CALIFORNIA

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

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

### RESUMEN

En este trabajo se explora la factibilidad de utilizar algunas características biológicas como indicadores de comportamiento en el tiempo de los ecosistemas marinos y de utilizar los BAC como unidades funcionales de observación. Se construyeron series anuales de ocurrencia de las larvas de 22 especies de peces y se analizaron con funciones ortogonales empíricas. Se identificaron cinco componentes principales, que a su vez fueron analizadas mediante técnicas de regresión múltiple, en las escalas de variación temporal decenal y a largo plazo. Para el análisis espacial se seleccionaron: tres especies comerciales abundantes, con distribución preferente alrededor de las dos zonas estudiadas; el volumen zooplanctónico y de la temperatura superficial del mar. Las series de ocurrencia promedio mensual de estas variables, en cajas de 1x1 grado de latitud y longitud, se relacionaron con series que se consideraron representativas de grandes áreas. Los resultados del análisis en el tiempo indican que existe una gran variedad de respuestas a distintas escalas temporales, lo que dificulta fuertemente la selección de especies indicadoras y subraya la necesidad de mantener un enfoque ecosistémico. Por su parte, el análisis en el espacio sugiere que existen áreas pequeñas que pueden ser utilizadas como unidades de observación de grandes ecosistemas marinos (en este caso Punta Eugenia y el sur de California).

**Palabras clave:** BAC, Sistemas de observación, Decenal, Cambio global, CalCOFI.

## ABSTRACT

This work explores the feasibility of using some biological characteristics as indicators of behavior in time of marine ecosystems, and the use of BAC as functional units of observation. Annual series of occurrence of larvae from 22 species of fishes were constructed and analyzed with orthogonal empirical functions. Five principal components were identified which, in turn, were analyzed by multiple regression techniques in the temporal variation scales of decades and long term. For the spatial analysis was selected: three abundant commercial species with preferred distribution around the two areas of study; the zooplankton volume and the sea surface temperature. The series of monthly averages of occurrence of these variables, in boxes 1 x 1 degree of latitude and longitude, were related with series considered as representative of large areas. Results of the temporal analysis indicate that there is a large variety of responses at different time scales which strongly complicates the selection of indicator species and underlines the need to maintain an ecosystem approach. On the other hand, the spatial analysis suggests the existence of small areas that can be used as observation units of large marine ecosystems (in this case Point Eugenia and the south of California).

**Key words:** BAC, Observation systems, Decadal, Global change, CalCOFI.

## INTRODUCCIÓN

Las características de los océanos y el amplio volumen que ocupan, dificultan la evaluación del estado y de la variabilidad de los recursos vivos que en ellos habitan, que implica altos costos de operación y que representa un constante reto de incorporación de herramientas y metodologías. A diferencia del medio terrestre, en el cual se pueden delimitar de manera relativamente sencilla las fronteras de un área de estudio y la distribución de sus poblaciones naturales, en el medio marino existen limitantes ya que éste es un sistema tridimensional sin fronteras fisiográficas evidentes, en el cual nuestra capacidad de observación directa se limita a la superficie.

Adicionalmente, en el océano se presentan señales de variabilidad, más allá de la estacional, con las cuales no estamos tradicionalmente familiarizados y que hacen aún más complejo el estudio. A nivel interanual, la señal mejor documentada hasta la fecha es la relacionada con oscilaciones tropicales tipo ENOS (El Niño Oscilación del Sur). Esta oscilación, compuesta por una fase cálida (El Niño) y una fría (La Niña), genera efectos marcados en diversos aspectos de la atmósfera y el océano y representa, sin lugar a dudas, la mayor fuente de variabilidad en los ecosistemas después de la señal estacional. Sin embargo, existen otras escalas de variación de importancia, especialmente por su influencia para algunos recursos marinos.

La carencia de series largas y confiables de señales ambientales y biológicas, resulta en que las investigaciones respecto a escalas de variabilidad mayores a la interanual (i.e. decenal y mayores) son generalmente complicadas.

Adicionalmente, existen fuertes discrepancias entre las interpretaciones de los diversos autores respecto a cómo se presentan las variaciones; es decir, que no hay consenso de que se trate de procesos oscilatorios similares al mecanismo del ENSO (Mann *et al.*, en prensa), de cambios de estado bruscos de los ecosistemas (Kerr, 1992), de la combinación de diferentes señales globales (por ejemplo ciclos planetarios, Lluch-Belda, 2000) o de una tendencia sostenida de cambio global (Ahrens, 1994).

Uno de los ejemplos mejor documentados de variabilidad de baja frecuencia (entre décadas) de poblaciones biológicas, es la señal de fluctuaciones, aparentemente sincrónicas y relacionadas con el ambiente, de capturas de pelágicos menores en diferentes partes del mundo, en ciclos cercanos a los 60 años (Kawasaki, 1983), reconocida en la literatura como la señal del Régimen (Lluch Belda *et al.*, 1989, 1992; Lluch Cota *et al.*, 1997; Schwartzlose *et al.*, 1999). Este tipo de observaciones han sido complementadas con paleoregistros de escamas de sardinas y anchovetas en sedimentos laminados (Baumgartner *et al.*, 1992), registros históricos de amplia cobertura temporal (Alheit & Hagen, 1997) y por la presencia de este tipo de señales en otros recursos y en otras partes del mundo (Bakun, 1997; Spencer & Collie, 1997).

Otra línea que ha recibido intensa atención es el estudio de posibles consecuencias ecológicas del cambio global en ambientes marinos. Por ejemplo, Roemmich & McGowan (1995) reconocieron una tendencia decreciente de los volúmenes zooplanctónicos de una sección de la Corriente de California y concluyeron que existen fuertes evidencias de una disminución de la disponibilidad de nutrientes a consecuencia de una reubicación de la termoclina y una reducción de la capa de mezcla, como resultado de una tendencia al aumento global de la temperatura.

## Planteamiento

En las últimas décadas se han desarrollado herramientas tecnológicas que significan avances importantes para el desarrollo del conocimiento de las poblaciones marinas. Tal es el caso de la percepción remota, que permite una cobertura global con resoluciones temporales apropiadas de algunos parámetros ambientales, como son la temperatura superficial, el color del océano y la altimetría entre otras; boyas y estaciones con equipos sofisticados que miden con alta resolución una gran cantidad de variables relevantes (temperatura *in situ*, nivel del mar, etc.). Sin embargo, el desarrollo de técnicas para la observación de los recursos vivos es aún limitado y sus costos permanecen altos.

Debido al gran número de elementos que comprenden los ecosistemas marinos, y la complejidad de las relaciones entre ellos, resulta difícil evaluar las consecuencias de la variabilidad ambiental a nivel ecosistémico. Una alternativa por la cual han optado la mayor parte de las investigaciones en este campo, ha sido la de investigar el comportamiento de una o unas cuantas especies o componentes tróficos, generalmente aquellas para las cuales existen registros históricos de niveles poblacionales (por ejemplo series de capturas, que en

muchos casos son buenos indicadores de abundancia) o aquellas que pueden ser observadas con sistemas de amplia cobertura (por ejemplo las observaciones de biomasa fitoplanctónica derivada de color del mar medido desde satélite) y asumir que éstas reflejan cambios en el sistema completo. En este sentido, resulta indispensable probar hasta qué punto estas observaciones sistemáticas y de costo relativamente bajo reflejan los cambios a nivel de ecosistema.

Por otro lado, existen algunos resultados de exploraciones preliminares que permiten suponer que, a pesar de representar una fracción muy pequeña del área total (en algunos casos menos del 1%), es factible extrapolar información recabada en los BAC para predecir la variabilidad de los sistemas completos. Por ejemplo, Lluch Belda *et al.* (en proceso) encontraron que la distribución de varias especies marinas de distintos niveles tróficos están mejor representadas cerca de estas áreas que en el resto de la zona y enfatizaron que las altas concentraciones de organismos en estos centros se mantienen constantes durante todo el año, a diferencia del resto de la zona costera. Por otra parte, si estos puntos concentran tanto poblaciones de organismos que se desarrollan localmente (fitoplancton y zooplancton), como poblaciones de especies de mayores niveles tróficos (incluidos recursos pesqueros), es factible asumir que aquí se puede obtener información valiosa respecto a variaciones espaciales y temporales de diversos componentes ecológicos. De comprobarse estas premisas, estas cualidades podrían permitir concentrar los esfuerzos de investigación en zonas oceánicas restringidas, en lugar de abarcar el área total, lo que disminuiría en gran medida los costos de adquisición de información.

En el presente trabajo se consideran datos históricos de distribución y de abundancia de larvas de peces de una región de la Corriente de California, con la finalidad de describir los tipos y patrones de variación de estas especies, en diferentes escalas temporales, y explorar si es factible agruparlos como respuestas similares. Asimismo, se reportan resultados parciales de análisis basados en datos históricos de variables biológicas y físicas, con el fin de determinar si es factible utilizar a los BAC como centros de muestreo biológico.

## METODOLOGÍA

### Análisis en el tiempo

A partir de la base de datos CalCOFI (California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations) que abarca toda la Corriente de California, se seleccionó la zona alrededor del sur de California y norte de Baja California, para la cual se cuenta con la mayor cobertura temporal. Posteriormente, se seleccionaron las 22 especies ictioplanctónicas con mayor porcentaje de abundancia y de aparición (Morales Zárata & Muñoz Mejía, 1998) y se construyeron series de probabilidad de ocurrencia (número de ocurrencias sobre número total de muestras por año) para cada especie y para el periodo de 1951 a 1984. Se extrajo la variabilidad común mediante un análisis de componentes principales (Cp), con el objetivo de explicar una alta proporción de la variancia

con un número reducido de variables, seleccionando los componentes principales con base en el criterio de Kaiser y se maximizó la proporción de variancia extraída mediante la técnica de rotación varimax (Tabachnik & Fidell, 1996). Las series de las especies fueron asociadas a los Cp de acuerdo a una matriz de correlación, y los Cp se analizaron en las escalas temporales decenal y de tendencia de largo plazo, mediante la comparación de betas parciales en una regresión múltiple entre los modelos ajustados y los Cp. Para la escala decenal se utilizó un modelo cíclico de un armónico y dos ciclos, en el cual el número de ciclos fue determinado sobre la base de la señal de baja frecuencia de temperatura superficial en la Corriente de California (Lluch-Belda *et al.*, 1999) en la que se observan dos periodos cálidos (1957-1961 y 1976-1983) y dos fríos (1952-1956 y 1971-1975). La tendencia de largo plazo se resolvió mediante ajustes de modelos de regresión lineal simple. Adicionalmente, se suavizaron las series mediante polinomios de cuarto grado para comparar visualmente las señales filtradas con la forma de los modelos cíclicos.

### **Análisis en el espacio**

Para el análisis espacial se seleccionaron tres especies abundantes y con alto porcentaje de aparición, con distribución preferencial alrededor de las dos zonas consideradas (Punta Eugenia y el sur de California) y de importancia comercial: la sardina monterrey (*Sardinops caeruleus*), la anchoveta norteña (*Engraulis mordax*) y la merluza del Pacífico (*Merluccius productus*). Adicionalmente, se incluyeron en el análisis las estimaciones del volumen zooplanctónico, como un indicador de la producción secundaria, y de la temperatura superficial del mar asociada al muestreo CalCOFI, que fue el indicador ambiental. Se calculó la ocurrencia promedio mensual en cajas de 1x1 grados (número de ocurrencias sobre número total de muestras por mes en cada cuadrante para el periodo 1951-1984). En el caso del volumen zooplanctónico y de la temperatura se utilizó el valor promedio mensual por cuadrante para el mismo periodo. Estas series (las tres especies, el volumen zooplanctónico y la temperatura superficial) fueron correlacionadas con las series promedio de toda la zona alrededor de los BAC.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Para el análisis en el tiempo, se extrajeron cinco componentes principales de las 22 especies que explican el 82.4% de la variancia total. Las correlaciones entre las especies y cada uno de los Cp se presentan en la Tabla 1.

En la Figura 1 se muestran las series de los Cp con los ajustes de los modelos cíclico y de tendencia de largo plazo, y en la Tabla 2 los valores correspondientes de las regresiones múltiples. Se aprecia que existe una fuerte señal de tendencia negativa en los dos primeros componentes, mientras que el modelo cíclico no proporciona explicación significativa a la variabilidad de las series. Para el tercer componente se aprecia que ambos modelos tienen correlaciones significativas y positivas, mientras que para los Cp4 y Cp5 ninguno de los modelos

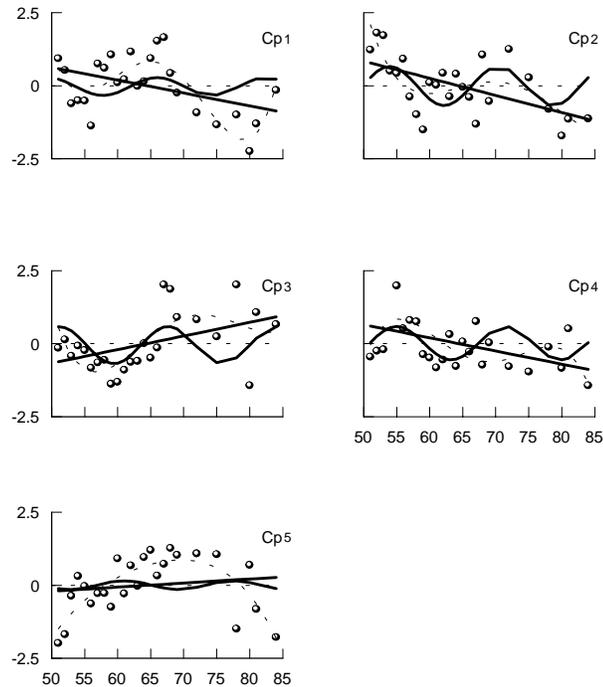
**Tabla 1.** Correlación especies – componentes principales. Se señala para cada serie el índice máximo de correlación **con caracteres más marcados** y con \* los valores de  $r$  que indican correlación con  $P < 0.05$ .

Especies	Nombre común	Cp1	Cp2	Cp3	Cp4	Cp5
<i>Triphoturus mexicanus</i>	Linternilla	<b>0.925</b>	-0.132	0.017	0.108	0.057
<i>Lampanyctus ritteri</i>	Linternilla	<b>0.795</b>	0.371	-0.140	0.212	0.259
<i>Vinciguerria lucetia</i>	Pez foco	<b>0.731</b>	-0.606*	0.115	-0.131	-0.260
<i>Trachurus symmetricus</i>	Charrito	<b>0.724</b>	0.345	0.189	0.484*	0.371
<i>Ceratoscopelus townsendi</i>	Linternilla	<b>0.720</b>	-0.490*	0.319	-0.242	-0.232
<i>Symbolophorus californiensis</i>	Linternilla	<b>0.646</b>	0.106	0.601*	-0.130	0.086
<i>Tarletonbeania crenularis</i>	Linternilla	-0.101	<b>0.869</b>	-0.072	-0.115	0.447*
<i>Stenobranchius leucopsarus</i>	Linternilla	0.078	<b>0.819</b>	0.162	0.393	0.159
<i>Leuroglossus stilbius</i>	Esperlan	-0.011	<b>0.799</b>	0.094	0.392	0.321
<i>Icichthys lockingtoni</i>	Pez medusa	0.165	<b>0.711</b>	0.447*	0.334	0.449*
<i>Merluccius productus</i>	Merluza norteña	-0.352	<b>0.549</b>	-0.351	0.403*	0.387
<i>Diogenichthys laternatus</i>	Linternilla	0.410*	<b>-0.467</b>	0.440*	0.408*	-0.084
<i>Bathylagus ochotensis</i>	Esperlan	-0.263	0.329	<b>0.839</b>	0.020	-0.041
<i>Protomyctophum crockeri</i>	Linternilla	0.271	-0.030	<b>0.820</b>	-0.106	0.237
<i>Diogenichthys atlanticus</i>	Linternilla	0.465*	0.096	<b>0.669</b>	-0.279	0.196
<i>Bathylagus wesethi</i>	Esperlan	0.606*	0.064	<b>0.613</b>	0.357	0.276
<i>Sardinops sagax</i>	Sardina monterrey	0.111	0.218	-0.196	<b>0.913</b>	-0.058
<i>Citharichthys stygmaeus</i>	Lenguado manchado	-0.001	0.551*	0.032	<b>0.735</b>	0.170
<i>Scomber japonicus</i>	Macarela	-0.030	-0.290	0.196	<b>0.594</b>	-0.544*
<i>Engraulis mordax</i>	Anchoveta norteña	0.099	0.371	0.255	-0.180	<b>0.840</b>

**Tabla 2.** Ajuste de los modelos con los componentes principales. Se remarcan los valores significativos de las betas parciales a  $P < 0.05$ . Se incluye entre paréntesis el signo de la relación entre el ajuste lineal y cada componente.

	Cp1	Cp2	Cp3	Cp4	Cp5
Modelo lineal	<b>(-)0.517</b>	<b>(-)0.443</b>	<b>0.435</b>	(-)0.315	0.116
Modelo cíclico	0.359	0.321	<b>0.454</b>	0.272	0.083

proporciona explicación significativa. Las fuertes diferencias entre las respuestas de los Cp a las dos escalas de variación, sugieren que, al menos a estas escalas, no es factible optimizar la observación de ecosistemas marinos y sus respuestas ante la variabilidad ambiental mediante la observación de uno o pocos componentes (especies indicadoras). En otras palabras, si se desea conocer y mantener en observación el ambiente marino, es necesario mantener un enfoque a nivel de ecosistema. Vale la pena señalar que estos resultados deben ser considerados con precaución debido a que el número de datos utilizados es



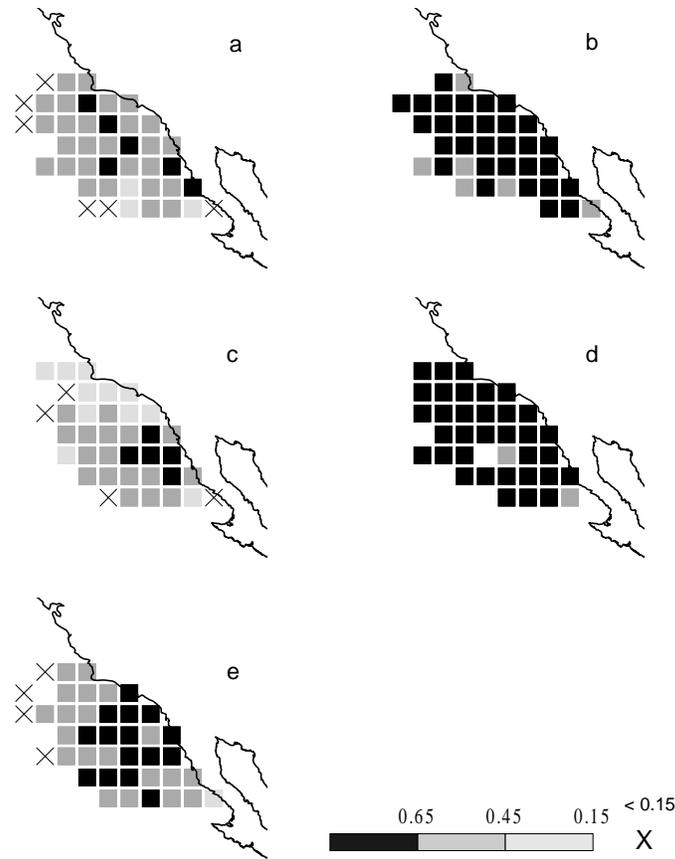
**Figura 1.** Caracterización de los componentes principales (Cp) con los modelos, en línea punteada se muestra el ajuste de los componentes a una polinomial de orden cuatro para observar su comportamiento.

menor al mínimo formalmente señalado (MaCall & Prager, 1988); sin embargo, se considera que son suficientemente claros para las conclusiones a las que se llega en este trabajo.

En las Figuras 2 y 3 se puede observar que, a pesar de que la mayoría de los cuadrantes presenta valores de correlación significativos (P) existen algunos cuadrantes que tienen valores de coeficiente de regresión ( $r$ ) por encima de 0.65 para todas las especies, el indicador de producción secundaria y el ambiental (Tabla 3). De entre estos, resaltan dos por su cercanía con los BAC: Punta Eugenia (116°W 28°N) y la cuenca del sur de California (117°W 31°N). Estos dos cuadrantes presentan ventajas por su ubicación (cerca de la costa y por lo tanto mayor facilidad y menores costos de observación) y porque se encuentran entre aquellos con mayor cantidad de datos históricos (lo que facilitaría los estudios retrospectivos y la búsqueda de señales de baja frecuencia).

## CONCLUSIONES

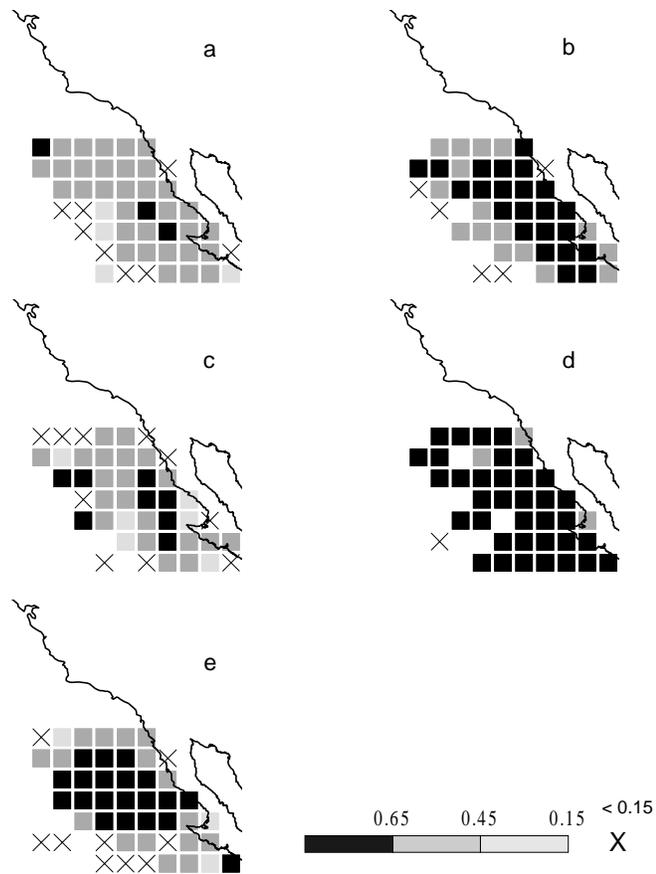
1. Se exploró la factibilidad de disminuir los costos y dificultades de observación de recursos vivos del mar mediante dos posibles estrategias: el uso de especies indicadoras y el uso de zonas de pequeña escala espacial.



**Figura 2.** Valores de regresión ( $r$ ) entre la zona de muestreo (cuadrantes de  $1^\circ \times 1^\circ$ ) y el área total de Punta Concepción, EU.

**Tabla 3.** Valores de  $r$  para los cuadrantes en donde la relación con el área total es la mayor.

	Punta Eugenia 116°W 28°N	Punta Concepción 117°W 31°N
	$r$	$r$
Anchoqueta	0.67	0.65
Merluza	0.81	0.85
Sardina	0.75	0.65
Temperatura	0.79	0.74
Zooplancton	0.71	0.70



**Figura 3.** Valores de regresión ( $r$ ) entre la zona de muestreo (cuadrantes de  $1^\circ \times 1^\circ$ ) y el área total de Punta Eugenia, México.

2. Los resultados del análisis en el tiempo indican que existe una gran variedad de respuestas a distintas escalas temporales, lo que dificulta fuertemente la selección de especies indicadoras y subraya la necesidad de mantener un enfoque ecosistémico.
3. El análisis en el espacio sugiere que existen áreas pequeñas que pueden ser utilizadas como unidades de observación de grandes ecosistemas marinos (en este caso Punta Eugenia y el sur de California).
4. Los resultados del presente trabajo deben ser considerados como una exploración, y debido a las fuertes implicaciones de estas preguntas, se deben realizar estudios más específicos y profundos para establecer plenamente tanto la dificultad de utilizar especies indicadoras como la bondad de enfocar el esfuerzo de observación en pequeñas áreas.

Se agradece a los proyectos CIBNOR AYCG7 y CONACYT R29374B. EMMM y MVMZ son estudiantes de postgrado del CIBNOR, S. C. (Num. exp. 1000010032 y 1000010031) y becarios CONACYT (Reg. 144429 y 144436).

## BIBLIOGRAFÍA

- Ahrens, C.D. 1994. Meteorology today, an introduction to weather, climate, and the environment. West Publishing Company, St Paul, Minnesota, USA. 592 pp.
- Alheit, J. & E. Hagen. 1997. Long-term climate forcing of european herring and sardine populations. Fish. Oceanogr., 6(2):130-139.
- Baumgartner, T. R., A. Soutar & V. Ferreira-Bartrina. 1992. Reconstruction of the history of pacific sardine and northern anchovy populations over the past two millennia from sediments of the Santa Barbara basin, California. CalCOFI Rep., 33:24-40.
- Kawasaki, S.T. 1983. Why do some fishes have wide fluctuations in their numbers? Biological basis of fluctuation from the viewpoint of the evolutionary ecology. FAO Fish. Rep., 291 (3):1065-1080.
- Kerr, R.A. 1992. Unmasking a shifty climate system. Science, 255:1058-1510.
- Lluch-Belda, D., R.J.M. Crawford, T. Kawasaki, A.D. MaCall, R.H. Parrish, R.A. Schwartzlose & P.E. Smith. 1989. Worldwide fluctuations of sardine and anchovy stocks: the Regimen problem. S. Afr. J. Mar. Sci., 8:195-205.
- Lluch-Belda, D., D.B. Lluch-Cota, S. Hernández-Vázquez & C.A. Salinas-Zavala. 1992. Sardine population expansion at the eastern boundary systems of the Pacific Ocean, as related to sea surface temperature. S. Afr. J. Mar. Sci., 12:147-155.
- Lluch-Belda, D., S.E. Lluch-Cota, D.B. Lluch-Cota & S. Hernández-Vázquez. 1999. La variabilidad oceánica interanual y su impacto sobre las pesquerías. Rev. Soc. Mex. Hist. Nat., 49:219-227.
- Lluch-Belda, D. 2000. Scales of interannual variability in the California Current System as revealed by some environmental and biological indices. En: Beyond ENSO: a conference on Pacific Climate variability and marine ecosystem impacts, from the tropics to the Arctic. Marzo 23-26, La Jolla, California, U.S.A.
- Lluch-Cota, D.B., S. Hernández-Vázquez & S.E. Lluch-Cota. 1997. Empirical investigation on the relationship between climate and small pelagic global regimes and El Niño-Southern Oscillation (ENSO). FAO Fisheries Circular, 934. 48 pp.
- MaCall, A.D. & M.H. Prager. 1988. Historical changes in abundance of six fish species off Southern California, based on CalCOFI egg and larvae samples. CalCOFI Rep., 37:100-110.
- Mann, M.E., R.S. Bradley & M.K. Hughes. En prensa. Long-term variability in

- the El Niño Southern Oscillation and associated teleconnections. En: Díaz, H. F. & V. Markgraf (Eds.). El Niño and the Southern Oscillation: Multiscale variability and its impacts on natural ecosystems and society.
- 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 pp.
- Roemmich, D. & J. McGowan. 1995. Climatic warming and the decline of zooplankton in the California Current. Science, 267:1324-1326.
- Schwartzlose, R.A., J. Alheit, A. Bakun, T.R. Baumgartner, R. Cloete, R.J.M. Crawford, W.J. Fletcher, Y. Green-Ruíz, E. Hagen, T. Kawasaki, D. Lluch-Belda, S.E. Lluch-Cota, A.D. McCall, Y. Matsuura, M.O. Nevárez-Martínez, R.H. Parrish, C. Roy, R. Serra, K.V. Shust, M.N. Ward & J.Z. Zuzunaga. 1999. Worldwide large-scale fluctuations of sardine and anchovy populations. S. Afr. J. Mar. Sci., 21:289-347.
- Spencer, P.D. & J.S. Collie. 1997. Patterns of population variability in marine fish stocks. Fish. Oceanogr. 6:188-204.
- Tabachnik, B.G. & L.S. Fidell. 1996. Using multivariate statistics. Harper Collins College Publishers. USA. 80 pp.

# 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:

$X_{ij}$  = 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

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

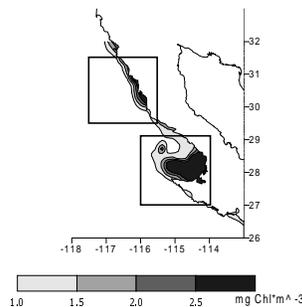
$$|X_{ij}| = \sqrt{(X_i)^2 + (X_j)^2}$$

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  $0.5 \text{ mg Chl m}^{-3}$ .

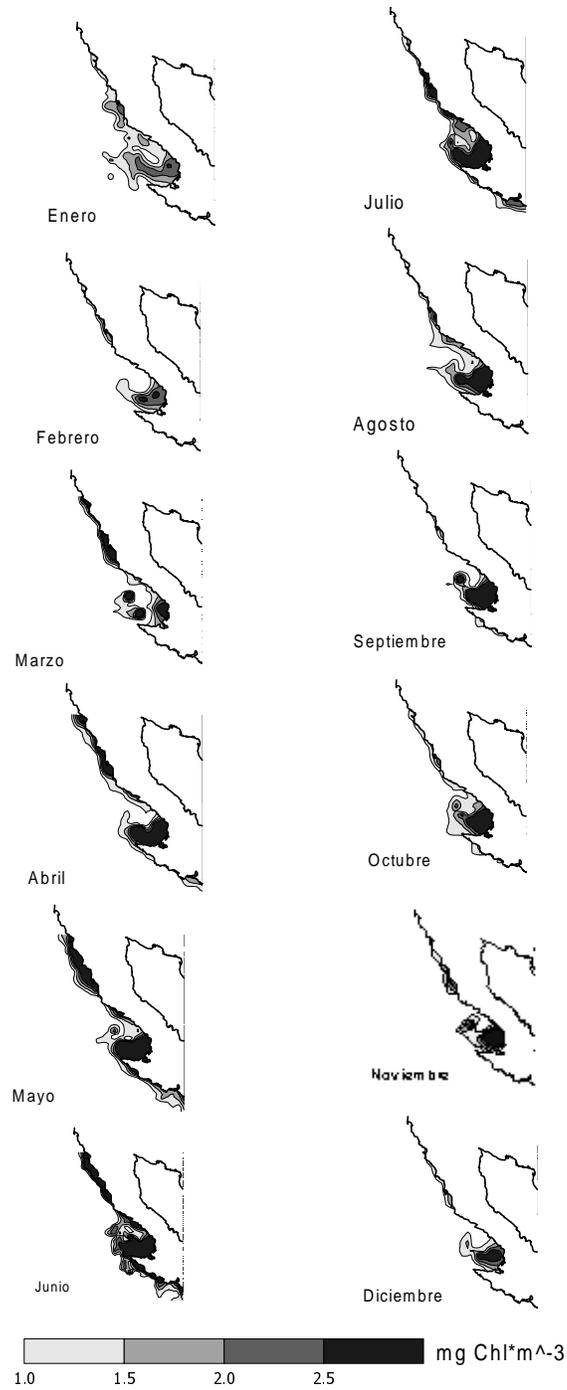
Adicionalmente, se realizó un análisis de distribución de frecuencias de valores de concentración de pigmentos en cuadrantes de dos por dos grados (de  $114^\circ$  a  $116^\circ$  W y  $27^\circ$  a  $29^\circ$  N para Punta Eugenia y de  $115.5^\circ$  a  $117.5^\circ$  W y  $29.5^\circ$  a  $31.5^\circ$  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.

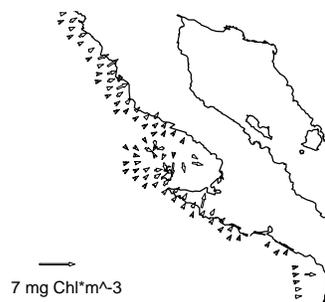
En términos generales existe un gradiente de concentración que va del océano al continente (Fig. 3). Esta condición es clara para la región de Punta Baja, mientras que en el área de Punta Eugenia los vectores apuntan hacia dentro de Bahía Vizcaíno en una zona separada de la costa. La distribución promedio 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).

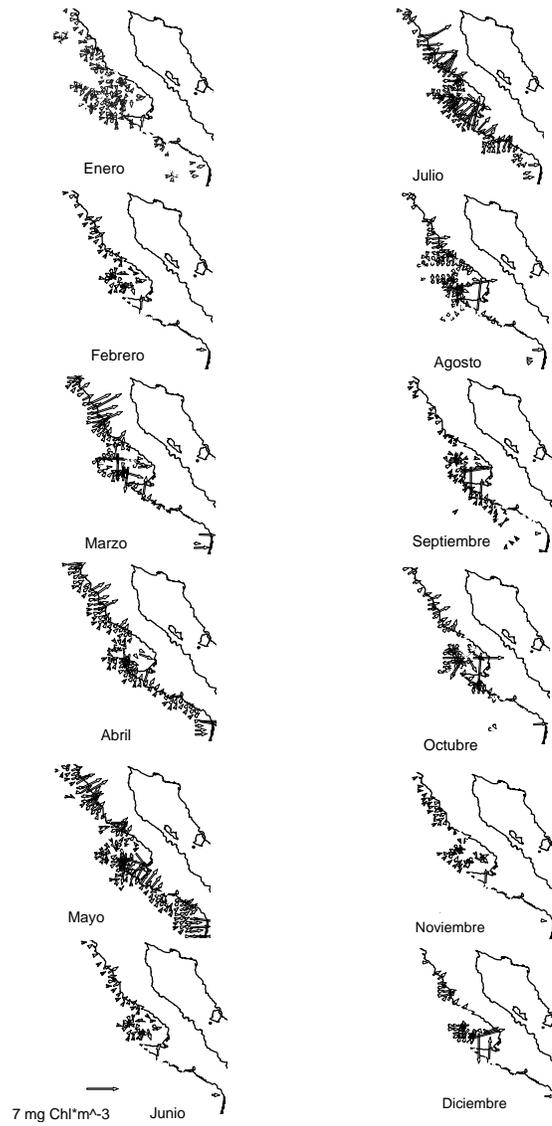
## DISCUSIÓN

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.

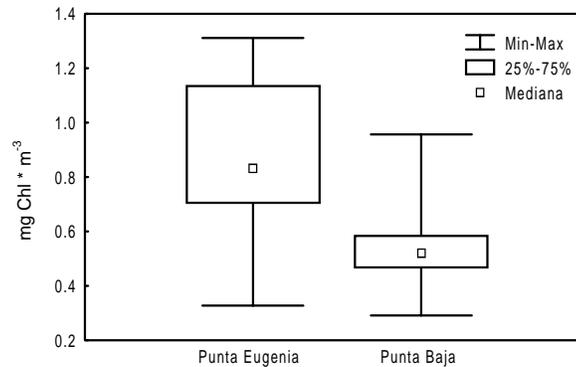
Sin embargo, a pesar de que ambas zonas reciben un aporte continuo de nutrientes, Punta Eugenia presenta una mayor concentración de pigmentos fotosintéticos durante todo el año. La forma de los campos de vectores, que convergen hacia el centro en el área de Punta Eugenia y que se dirigen hacia la



**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.

# 8

## ASPECTOS DE LA GEOQUÍMICA DEL MATERIAL ORGÁNICO EN EL BAC DEL GOLFO DE ULLOA, B.C.S.

*Sergio Aguñiga*<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, A. P. 592, La Paz, B.C.S., México C.P. 23000.

<sup>2</sup> Becario COFAA.

### RESUMEN

Dentro del Sistema de la Corriente de California existen zonas de alta productividad que exhiben una gran actividad biológica y han sido caracterizadas como Centros de Actividad Biológica (BAC por sus siglas en inglés). Establecer cuál es el origen y variabilidad temporal de los componentes orgánicos que interactúan biogeoquímicamente en estos BAC permitirá determinar las características de los reservorios de carbono y nitrógeno que sustentan la trama trófica en estos ecosistemas. La producción nueva, basada en los nutrientes aportados por los fenómenos de surgencias, y la producción regenerada, basada en los productos del ciclo microbiano, pueden tener mayor o menor importancia durante la presencia y ausencia de eventos de oligotrofia intra-anual (estacional) e inter-anual como el fenómeno ENSO. Tradicionalmente se ha considerado que el reservorio energético que sustenta la trama trófica está basado en la producción nueva. Sin embargo, recientemente se han encontrado más fijaciones de carbono que las concentraciones de NO<sub>3</sub> (nitratos) lo que desmiente que la producción nueva sea equivalente al flujo vertical del material orgánico particulado. Las otras fuentes de especies nitrogenadas son el NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (amonio) como producto del ciclo microbiano y el N<sub>2</sub> (nitrógeno molecular) que puede ser fijado directamente por las cianofitas y cianobacterias. Dentro de este contexto, en el BAC del Golfo de Ulloa la importancia de la producción nueva basada en nutrientes nitrogenados oxidados (NO<sub>3</sub>) sería más relevante en el primer semestre de cada año, cuando los vientos dominantes de norte a sur generan frecuentes surgencias. Sin embargo, es factible considerar que las otras fuentes de nutrientes (evaluadas como NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y N<sub>2</sub>) siempre estuvieran ahí. Tomarían una mayor importancia durante el segundo semestre de cada año (con el debilitamiento de las surgencias) y durante los períodos ENSO (cuando el ciclo microbiano sería más relevante), produciendo material orgánico con valores promedio d<sup>15</sup>N 11 característicos

del nitrógeno orgánico particulado de aguas oligotróficas. Es poco factible que en esta área las contribuciones de *Trichodesmium* al NOP fueran importantes ya que los  $d^{15}N$  promedio tendrían que estar muy cerca del valor isotópico del  $N_2$  atmosférico (0) y son justamente los valores opuestos (11) los encontrados.

**Palabras clave:** Geoquímica, Producción nueva, ENSO, BAC.

### ABSTRACT

Within the California Current system there are areas of high productivity that exhibit large biological activity which have been characterized as Biological Activity Centers. The establishment of the origin and temporal variability of the organic components that interact biogeochemically in these BACs will allow the determination of the characteristics of the carbon and nitrogen reservoirs that support the trophic web in these ecosystems. The new production, based on the nutrients contributed by the upwelling processes, and the regenerated production, based on the products of the microbial cycle, could have more or less importance during the presence and absence of intraannual (seasonal) and interannual oligotrophic events like the ENSO phenomenon. Traditionally, it has been considered that the sustaining energetic reservoir for the trophic web is based on the new production. However, recently more carbon fixations have found than the concentration of  $NO_3$  (nitrates) which disprove that the new production should be equivalent to the vertical flux of particulate organic material. The other sources of nitrogen species are the  $NH_4^+$  (ammonium) as a product of the microbial cycle and the  $N_2$  (molecular nitrogen) that can be directly fixed by cyanophytes and cyanobacteria. In this context, within the BAC of the Gulf of Ulloa the importance of the new production based on oxidized nitrogen nutrients ( $NO_3$ ) would be more relevant in the first semester of each year, when the dominant winds from north to south generate frequent upwellings. Nevertheless, it is possible to consider that the other sources of nutrients (evaluated as  $NH_4^+$  and  $N_2$ ) would be always there. They would have a greater importance in the second semester of each year (with the weakening of upwellings) and during the ENSO periods (when the microbial cycle would be more relevant), producing organic material with mean values of  $d^{15}N$  11 characteristic of the particulate organic nitrogen of oligotrophic waters. It is unlikely that in this area the contribution of *Trichodesmium* to the PON were important because the mean  $d^{15}N$  values would have to be very close to the isotopic value of atmospheric  $N_2$  (0), and are just the opposed values (11) which are found.

**Key words:** Geochemistry, New production, ENSO, BAC.

### INTRODUCCIÓN

La dinámica física y biológica de la Corriente de California es sensible a la variabilidad climática natural en escalas temporales (semanas a períodos interdecenales) y espaciales (locales hasta cuencas oceánicas). Esto resulta en

una estructura del ecosistema muy sensible a los cambios climáticos (U.S. GLOBEC, 1994).

Dentro del Sistema de la Corriente de California existen zonas de alta productividad que favorecen el reciclamiento de materiales y energía (Walsh *et al.*, 1977). Las características físicas y los procesos de estas áreas favorecen la acumulación y mantenimiento de elevadas biomásas en un área geográfica limitada. Lluch-Belda *et al.* (datos no publicados) usando datos históricos de la red CalCOFI y cálculos de pigmentos a partir de sensores remotos detectaron zonas de altas concentraciones espacialmente persistentes. Estas pequeñas áreas que exhiben una alta actividad biológica han sido caracterizadas como Centros de Actividad Biológica (BAC por sus siglas en inglés). La zona del Golfo de Ulloa, B.C.S. (25 11.9 N; 112 39 W), mantiene sistemáticamente magnitudes tan altas como 1000 huevos de sardina  $\text{ml}^{-1}$ , 550 ml  $1000 \text{ m}^{-3}$  de volumen de macrozooplankton y 2 - 3 mg Cla  $\text{m}^{-3}$  de concentración de pigmentos (Lluch-Belda *et al.*, datos no publicados). Una de las preguntas centrales que surge del estudio de los Centros de Actividad Biológica es determinar cuál es el origen y la variabilidad temporal de los componentes orgánicos que interactúan biogeoquímicamente en estas zonas costeras. Responder estas preguntas permitirá determinar las características del reservorio de carbono y nitrógeno que sustentan la trama trófica en este ecosistema.

Considerando que los procesos biológicos y fisicoquímicos integran su variabilidad temporal en el material que finalmente se sedimenta (Lee & Wakeham, 1992), el área del Golfo de Ulloa es propicia para el estudio de flujos de materiales y energía que pueden ser evaluados por los materiales orgánicos particulados suspendidos en la columna de agua y depositados en registros sedimentarios naturales y trampas de sedimentos. Dentro del Golfo de Ulloa, la Cuenca San Lázaro es un área anóxica donde se pueden monitorear los cambios temporales de la composición de la materia orgánica particulada. Las aguas profundas de la Cuenca San Lázaro tienen su origen en la capa de mínimo de oxígeno, donde los cambios temporales de las partículas en vías de depositarse son poco afectados por pastoreo del ictioplancton y zooplancton ("swimmers", Altabet, 1988).

Las evaluaciones geoquímicas del material orgánico permiten determinar las fuentes y sumideros de la materia orgánica particulada que pudiera definir la transferencia energética a otras áreas y niveles tróficos. En este ensayo se examinan las posibles fuentes orgánicas que conforman el reservorio de carbono y nitrógeno en el BAC del Golfo de Ulloa. Se discute en el contexto de la posible variación de las fuentes orgánicas durante presencia/ausencia del fenómeno El Niño (ENSO).

Entre los estudios más recientes realizados en latitudes de 24 y 25 N en la costa occidental de Baja California se incluyen: la composición y abundancia del zooplancton (Cota-Meza *et al.*, 1999), la caracterización taxonómica del fitoplancton y zooplancton (Martínez-Lopez *et al.*, 2000; Palomares, 1992). Sin embargo, las caracterizaciones bioquímicas del material orgánico particulado (MOP), basadas en proteínas y carbohidratos (Martínez-Lopez *et al.*, 2000), no

permiten distinguir la fuente orgánica, los procesos diagenéticos y su importancia biogeoquímica relativa.

La caracterización química de la materia orgánica particulada es de gran importancia dentro de los ciclos biogeoquímicos globales (Hedges, 1992; Hedges & Prahl, 1993; Lee & Wakeham, 1992; Peterson *et al.*, 1994), ya que éstos controlan la redistribución de elementos bioactivos en el océano (Wakeham *et al.*, 1997), los sitios de regeneración de nutrientes (Colombo *et al.*, 1996) y los flujos energéticos en las relaciones tróficas (Morales-Zamorano *et al.*, 1991). Sin embargo, pocos son los estudios que evalúan fuentes autóctonas (fitoplancton y microheterótrofos) y alóctonas (aportes terrígenos) del reservorio energético que sustenta la trama trófica en ecosistemas costeros (Aguñiga, 1999).

Las variaciones temporales de la composición del material orgánico disuelto y particulado determinan las diferentes vías energéticas que sustentan la trama trófica. La producción nueva basada en los nutrientes aportados por los fenómenos de surgencias, y la producción regenerada basada en los productos del ciclo microbiano, pueden entonces tener mayor o menor importancia durante la presencia y ausencia de eventos de oligotrofia intraanual (estacional) e interanual, como el fenómeno ENSO. Esto implica que diferentes reservorios (de carbono y nitrógeno), particulados y disueltos, autóctonos y alóctonos, tendrían diferente importancia estacional e interanual para mantener altas biomásas espacialmente persistentes.

Sin embargo, es difícil demostrar estas hipótesis sin estudios que involucren la caracterización geoquímica del material orgánico particulado, de los materiales disueltos y la determinación del origen isotópico de los nutrientes nitrogenados. Variables tan comunes como la productividad primaria, el contenido de oxígeno del agua y la tasa de acumulación de sedimentos se interrelacionan de una manera confusa, lo que dificulta describir cómo esta materia orgánica se degrada y es preservada en el sedimento (Hedges & Keil, 1995; Hedges *et al.*, 1997).

Tradicionalmente se ha considerado que el reservorio energético que sustenta la trama trófica está basado en la producción nueva. Sin embargo, recientemente se han encontrado más fijaciones de carbono que las concentraciones de  $\text{NO}_3$  (nitratos), lo que desmiente que la producción nueva sea equivalente al flujo vertical del material orgánico particulado (Michaels *et al.*, 2000). Las otras fuentes de especies nitrogenadas son el  $\text{NH}_4^+$  (amonio) como producto del ciclo microbiano (Azam *et al.*, 1983), y el  $\text{N}_2$  (nitrógeno molecular) que puede ser fijado directamente por las cianofitas y cianobacterias (Karl *et al.*, 1995).

Por otra parte, los aportes orgánicos disueltos y particulados de origen continental hacia los mares adyacentes frecuentemente no son considerados como posibles fuentes de carbono y nitrógeno que se incorporen al reservorio energético de los ecosistemas. En medios ambientes modernos, los márgenes continentales y los mares adyacentes son importantes sitios de preservación de carbono (Hedges, 1992) ya que, globalmente, reciben  $1 \times 10^5$  g C de materia orgánica alóctona (Killops & Killops, 1993). No obstante, estudios recientes han

demostrado que más del 70% del material particulado terrígeno no se deposita en los sedimentos y se encuentra asociado al material inorgánico suspendido, que puede ser transportado por procesos físicos (Keil *et al.*, 1997).

El problema se acrecienta ya que la completa caracterización de la materia orgánica presenta limitaciones analíticas (Wakeham *et al.*, 1997) y el entendimiento de los procesos que transforman la materia orgánica aún representa un reto dentro de la biogeoquímica marina (Canuel & Martens, 1993; Lee & Wakeham, 1992; Sun *et al.*, 1997).

El sistema de la Corriente de California recibe materiales orgánicos terrígenos, particulados y disueltos, en cantidades prácticamente no evaluadas. Aunque se desconoce la magnitud de estos aportes, es posible suponer que al menos la mitad de estos aportes no se quedan en las áreas costeras inmediatas. Keil *et al.* (1997) calcularon que las descargas orgánicas del Amazonas son del orden de  $0.67 \text{ mg C m}^{-2}$ , sin embargo, en los sedimentos deltaícos sólo se encontró  $0.35 \text{ mg C m}^{-2}$ , implicando que en el ámbito global se pierden  $0.1 \times 10^{15} \text{ g C y}^{-1}$  de material orgánico particulado de origen ribereño. Por otro lado, el material orgánico disuelto terrígeno de alto peso molecular puede estar biodisponible para microheterótrofos, indicando que es una importante fuente de carbono y energía para bacterias y, por tanto, un componente reactivo mayor del ciclo del carbono en el océano (Amon & Benner, 1994, 1996; Azam *et al.*, 1983).

En la costa del Pacífico Oriental existe una gran cantidad de lagunas costeras que intercambian materiales disueltos y particulados con la Corriente de California. Bahía Magdalena puede ser considerada un sistema dependiente del aporte de nutrientes en forma oxidada de las aguas costeras adyacentes, donde se desarrolla el ciclo de oxidación de los nutrientes reducidos que son exportados por la boca de Bahía Magdalena (Guerrero *et al.*, 1988) y seguramente por la boca de La Soledad. De esta manera, en la época de agosto a diciembre, con la intensificación de la Corriente de Davison (Walsh *et al.*, 1977), los materiales particulados y disueltos que se exportan de los sistemas lagunares serían ecológicamente relevantes. Asimismo, durante los períodos ENSO se intensifica el transporte de agua afuera de la costa, forzado por la intensificación de los vientos debido a un incremento en la diferencia térmica entre tierra y mar (Barber & Chávez, 1983). Esto implica que para el área del Golfo de Ulloa, un valor del índice de Bakun de hasta  $200 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$  por cada 100 metros de costa durante el ENSO 1998 (<http://www.cdc.noaa.gov>), pudiera ser otro factor de exportación de material orgánico de origen continental a los mares adyacentes.

En el ecosistema del Golfo de Ulloa puede existir un componente orgánico refractario no evaluado que se mezcla con los aportes orgánicos de origen fitoplanctónico y heterotrófico. Lo anterior da lugar a la existencia de un gran reservorio de materia orgánica que define la base energética trófica. Conocer y caracterizar este material orgánico es esencial para el entendimiento de cómo es asimilado y reciclado el carbono orgánico dentro de un ecosistema (Peterson *et al.* 1985, 1994; Peterson & Fry, 1987)

En la última década se ha reconocido la importancia del ciclo microbiano como "secuestrador" de carbono dentro de la bomba biológica. Actualmente se

reconoce a las bacterias como un elemento activo y esencial del ecosistema marino y es por tanto un componente de las investigaciones o modelación de los flujos de carbono y nitrógeno (Newell & Turley, 1987; Ducklow, 1991; Moloney & Field, 1991). Cualquier factor que afecte significativamente la estimación de abundancia bacteriana, biomasa y composición isotópica, puede por tanto afectar nuestra concepción del flujo de carbono en ecosistemas oceánicos (Turley & Huges, 1992).

Los organismos microheterótrofos son los principales agentes que producen cantidades sustanciales del reservorio de carbono orgánico disuelto (COD) (Ducklow, 1991). Los microheterótrofos son un importante reservorio de carbono, que frecuentemente presenta mayor biomasa que cualquier otro grupo de organismos (con la excepción del fitoplancton) (Williams, 1981, Turley, 1985, Sugimura & Suzuki, 1988, 1992) y que está biodisponible para el resto de la estructura trófica a través de los organismos que se alimentan de bacterias, particularmente los flagelados (Fenchel, 1982; Azam *et al.*, 1983 Gray *et al.*, 1984; Caron *et al.*, 1985; Newell & Turley, 1987).

Si consideramos que la composición orgánica determina su reactividad (Colombo *et al.*, 1996), entonces la materia orgánica que se produce por degradación heterotrófica y producción primaria, variaría en su composición orgánica de acuerdo a: el sustrato y matriz orgánicos, el origen de los nutrientes y; los mecanismos de transporte de materiales definidos por el patrón hidrodinámico dominante. Esta reactividad diferencial afecta los compuestos bioquímicos de manera diferente por los mismos procesos (Cowie & Hedges, 1992; Colombo *et al.* 1996, 1997), además el patrón de reactividad no es predecible en forma consistente (Wakeham *et al.* 1997).

Una excelente aproximación a esta complejidad es una aplicación múltiple de isótopos estables y biomarcadores moleculares en material de trampas de sedimentos. Éstas pueden registrar no sólo la magnitud vertical del flujo de carbono (Colombo *et al.*, 1996), sino también la composición química de las partículas (Hayakawa *et al.*, 1996; Wakeham *et al.*, 1984, 1997), que pueden estar relacionadas con el estado fisiológico y de crecimiento del fitoplancton (Handa *et al.*, 1992). La caracterización de la materia orgánica en la escala temporal permite identificar fuentes, flujos, reactividad y diagénesis temprana de la materia orgánica (Farrington, 1992).

Los isótopos estables y la composición elemental de nitrógeno y carbono han sido utilizados para inferir la fuente, composición y flujos de la materia orgánica (Cranwell *et al.*, 1982; Wilson *et al.*, 1985; Hedges *et al.*, 1984; Wolaver *et al.*, 1986; Fry & Sherr, 1988), así como para evaluar compuestos orgánicos de diferentes pesos moleculares en un gradiente espacial (Benner *et al.*, 1997), por lo que es posible evaluar las implicaciones ecológicas de la transferencia energética evaluada como carbono y nitrógeno (Fry & Wainright, 1991; Burton & Koch, 1999). Otros autores han reportado índices de variación de fuentes orgánicas basadas en ácidos grasos e hidrocarburos (Colombo *et al.*, 1997; Wakeham *et al.*, 1991).

La magnitud de estos cambios intra- e interanuales implican cambios

sustantivos en la composición orgánica del material que se produce en la zona eufótica y que se hunde rápidamente para alcanzar aguas anóxicas donde puede ser preservado. Si el área del Golfo de Ulloa mantiene interanualmente los mismos procesos físicos básicos, la diferente naturaleza del material orgánico sedimentario sería un reflejo de los procesos biogeoquímicos de la columna de agua suprayacente. El origen de los nutrientes oxidados y reducidos, las interacciones diagenéticas y de transferencia trófica se reflejarían en los valores  $^{15}\text{N}$  del MOP, con valores de 6 para zonas de surgencias (Libes & Deuser, 1988) donde la especie nitrogenada predominante son los nitratos. Benner *et al.* (1997) reportaron 7 para nitrógeno orgánico particulado (NOP) de las áreas de surgencias ecuatoriales; mientras que para áreas oligotróficas se encontraron valores  $d^{15}\text{N}$  más pesados (11-15). Los valores ligeros de  $d^{15}\text{N}$  (1-2) son característicos de contribuciones importantes de nitrógeno recientemente fijado por cianofitas como *Trichodesmium* (Karl *et al.*, 1995), mientras que valores más positivos generalmente implican procesos diagenéticos o aumento en el nivel trófico (Altabet & Francois, 1994; Voss *et al.*, 1996).

Debido a al fraccionamiento isotópico del nitrógeno orgánico particulado por los procesos de remineralización, el  $d^{15}\text{N}$  aumenta con la profundidad (Saino & Hattori, 1987); aún así, son claras las diferencias de  $d^{15}\text{N}$  en condiciones de producción nueva y regenerada. Benner *et al.* (1997) reportaron  $d^{15}\text{N} = 8.5$  como valor máximo para NOP a 400m de profundidad en zonas de surgencia, mientras que en zonas oligotróficas encontraron valores de 10.5 para la misma profundidad.

Aguíñiga *et al.*, (datos no publicados) con estudios de isótopos estables en material particulado de una trampa de sedimentos en la Cuenca San Lázaro, encontraron valores positivos de  $^{15}\text{N}$  análogos a áreas oligotróficas, que estuvieron asociados a  $d^{13}\text{C}$  positivos característicos de un florecimiento fitoplanctónico durante el período ENSO 1998. Silverberg *et al.* (1999) encontraron un florecimiento fitoplanctónico anómalo (a pesar del efecto de El Niño) en la columna de agua, para el mismo período y área geográfica. Estas evidencias implican que esta productividad primaria evidente pudiera estar sustentada por nutrientes regenerados (amonio). En este caso, el ciclo microbiano pudiera tener un papel más relevante del estimado en la regulación de la composición y concentración de la materia orgánica y los nutrientes en esta zona.

Aunque estas evidencias geoquímicas sugieren un gran reciclamiento de la materia orgánica en la zona de mezcla del Golfo de Ulloa, los aportes terrígenos de nitrógeno, particulados y disueltos, al área pudieran ser considerados como otra fuente energética. Éstos son probablemente de menor importancia en la Cuenca San Lázaro que en otras áreas más costeras. Estos aportes, si efectivamente entran en la estructura trófica planctónica, podrían provocar el enriquecimiento del  $^{15}\text{N}$  en el material particulado (Rau *et al.*, 1990). El nitrógeno orgánico de origen terrestre (proveniente de ríos) puede estar considerablemente enriquecido en  $^{15}\text{N}$  (Wada *et al.*, 1975). Cabe señalar que

durante el ENSO 1998 aumentó el índice de precipitación, lo que aumentaría la posibilidad de aportes alóctonos.

El patrón hidrodinámico estacional debe tener un importante papel en la composición de la materia orgánica producida en esta área. Al sur de los 30° N del Pacífico Oriental, el océano se caracteriza por una estratificación térmica relativamente fuerte de agosto a noviembre, con influencia de la Corriente Superficial de Davison (Husby & Nelson, 1982). Es lógico esperar que en condiciones estratificadas la materia particulada aumente su tiempo de residencia en la columna de agua, implicando una mayor eficiencia de reciclamiento dentro de la zona eufótica. Estas condiciones de biomasa y productividad nueva disminuidas, y que están asociadas con aguas menos frías, bajas en nutrientes y en clorofilas (Walsh *et al.*, 1977) son consistentes con un aumento de la importancia relativa de la producción regenerada, que implica ciclaje de carbono y nitrógeno y el subsecuente fraccionamiento isotópico dentro de las cadenas tróficas microbianas.

En este contexto, en el BAC del Golfo de Ulloa la importancia de la producción nueva basada en nutrientes nitrogenados oxidados ( $\text{NO}_3$ ) sería más relevante en el primer semestre de cada año, cuando los vientos dominantes de norte a sur generan frecuentes surgencias (Hayward *et al.*, 1999). Sin embargo, es factible considerar que las otras fuentes energéticas (evaluadas como  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{N}_2$ ) siempre estuvieran ahí y que tomaran una mayor importancia durante el segundo semestre de cada año (con el debilitamiento de las surgencias) y durante los períodos ENSO (cuando el ciclo microbiano sería más relevante), produciendo material orgánico con valores promedio  $\delta^{15}\text{N}$  11, característicos del nitrógeno orgánico particulado de aguas oligotróficas. Es poco factible que en esta área, las contribuciones de *Trichodesmium* (Karl *et al.*, 1995) al NOP fueran importantes, ya que los  $\delta^{15}\text{N}$  promedio tendrían que estar muy cerca del valor isotópico del  $\text{N}_2$  atmosférico (0) y son justamente los valores opuestos (11) los encontrados por Aguñiga *et al.* (datos sin publicar).

Sobre la base de las investigaciones recientes en esta zona, la composición de la materia orgánica particulada refleja las contribuciones relativas de  $\text{NO}_3$  y  $\text{NH}_4^+$  que resultan en producción nueva y regenerada. La evidencia de intensa diagénesis en la columna de agua sugiere que el proceso de mineralización en la zona eufótica pudiera ser un proceso más conspicuo que la pérdida por sedimentación del material orgánico particulado (Aguñiga *et al.*, datos sin publicar).

Es necesario evaluar la composición isotópica en los nutrientes para determinar qué especies nitrogenadas ( $\text{NO}_3$  y  $\text{NH}_4^+$ ) sustentan la productividad en las diferentes condiciones oceanográficas. Asimismo, las evaluaciones isotópicas en materiales particulados, considerando las diferentes fracciones de tamaño, permitirán estimar el flujo energético que siguen estas especies nitrogenadas oxidadas y reducidas. De esta manera se podrá determinar la importancia relativa de los reservorios energéticos que efectivamente sustentan la trama trófica en estos Centros de Actividad Biológica.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Aguñiga-García, S. 1999. Geoquímica de la cuenca estuarina del río Colorado:  $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$  y biomarcadores lipídicos en sedimentos superficiales. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Baja California. 300 p.
- Altabet, M.A. 1988. Variations in nitrogen isotopic composition between sinking and suspended particles: implications for nitrogen cycling and particle transformation in the open ocean. Deep-Sea Research, 35(4):535-554.
- Altabet, M.A. & R. Francois. 1994. Sedimentary nitrogen isotopic ratio as a recorder for surface ocean nitrate utilization. Global Biochemical Cycles, 8:103-116.
- Amon, R.M.W. & R. Benner. 1994. Rapid cycling of high-molecular-weight dissolved organic matter in the ocean. Nature, 369:549-552.
- Amon, R.M.W. & R. Benner. 1996. Bacterial utilization of different size classes of dissolved organic matter. Limnology and Oceanography, 41:41-51.
- Azam, F., T. Fenchel, J.G. Fields, J.S. Gray, L. Meyer-Reil & F. Thingstad. 1983. The ecological role of water-column microbes in the sea. Marine Ecology Progress Series, 10:257-263.
- Benner, R., B. Biddanda, B. Black & M. McCarthy. 1997. Abundance, size distribution, and stable carbon and nitrogen isotopic compositions of marine organic matter isolated by tangential-flow ultrafiltration. Marine Chemistry, 57:243-263.
- Burton, R.K. & P.L. Koch. 1999. Isotopic tracking of foraging and long-distance migration in northeastern Pacific pinnipeds. Oecologia, 119:578-585.
- Canuel, E.A. & C.S. Martens. 1993. Seasonal variations in the sources and alteration of organic matter associated with recently-deposited sediments. Organic Geochemistry, 20(5):563-577.
- Cervantes-Duarte, R., S. Aguñiga-García & S. Hernández-Trujillo. 1993. Condiciones de surgencia asociadas a la distribución de zooplancton en San Hipólito, B.C.S. Ciencias Marinas, 19(1):117-135.
- Colombo, J.C., N. Silverberg & J.N. Gearing. 1996. Biogeochemistry of organic matter in the Laurentian Trough. II. Bulk composition of the sediments and relative reactivity of major components during early diagenesis. Marine Chemistry, 51:277-293.
- Colombo, J.C., N. Silverberg & J.N. Gearing. 1997. Lipid biogeochemistry in the Laurentian Trough III. Changes in composition of fatty acids, sterol and aliphatic hydrocarbons during early diagenesis. Organic Geochemistry, 26 (2/4): 257-274.
- Colombo, J.C., N. Silverberg & J.N. Gearing. 1998. Amino acid biogeochemistry in the Laurentian Trough: vertical fluxes and individual reactivity during early diagenesis. Organic Geochemistry, 29 (4):936-945.

- Cota-Meza M.S., N. Romero-Ibarra, N. Silverberg & R. Funes-Rodríguez. 1999. Composition and abundance of zooplankton in San Lazaro Basin, Baja California Sur during the El Niño event of 1997-1998. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations, Fiftieth Anniversary Conference Memories, 26-28 october 1999. 7 p.
- Cowie, G.L. & J.I. Hedges. 1992. Sources and reactivities of aminoacids in coastal marine environment. Limnology and Oceanography, 37:703-724.
- Cranwell, P.A. 1982. Lipids of aquatic sediments and sediments particulates. Progress Lipid Research, 21:271-308.
- Farrington, J.W. 1992. Marine organic geochemistry: review and challenges for the future. Marine Chemistry, 39:1-4.
- Fry, B. & E.B. Sherr. 1984.  $^{13}\text{C}$  measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. Contributions to Marine Science, 27:13-27.
- Fry, B. & S.C. Wainwright. 1991. Diatom sources of  $^{13}\text{C}$ -rich carbon in marine food webs. Marine Ecology Progress Series, 76:149-157.
- Guerrero, G.R., D.R. Cervantes & I.A. Jiménez. 1988. Nutrient variation during a tidal cycle at the mouth of a coastal lagoon in the northwest of Mexico. Indian Journal of Marine Sciences, 17:235-237.
- Handa, N., T. Nakatsuka, M. Fukuchi, H. Hattori & T. Hoshiai. 1992. Vertical fluxes and ecological significance of organic materials during the phytoplankton bloom during austral summer in Breid Bay, Antarctica. Marine Biology, 112:469-478.
- Hayakawa, K., N. Handa, N. Ikuta & M. Fukuchi. 1996. Downward fluxes of fatty acids and hydrocarbons during a phytoplankton bloom in the austral summer in Breid Bay, Antarctica. Organic Geochemistry, 24(5):511-521.
- Hayward, T.L., T.R. Baumgartner, D.M. Checkley, R. Durazo, G. Gaxiola-Castro, K.D. Hyrenbach, A.W. Mantyla, M. Mullin, T. Murphree, F.B. Schwing, P.E. Smith & M.J. Tegner. 1999. The state of the California Current in 1998-1999: transition to cool-water conditions. CalCOFI Rep., 40:29-62.
- Hedges, J.I. 1992. Global biogeochemical cycles: progress and problems. Marine Chemistry, 39:67-93.
- Hedges, J.I. & R.G. Keil. 1995. Sedimentary organic matter preservation: an assesment and speculative synthesis. Marine Chemistry, 49:81-115.
- Hedges, J.I., R.G. Keil & R. Benner. 1997. What happens to terrestrial organic matter in the ocean?. Organic Geochemistry, 27(5-6):195-212.
- Hedges, J.I., H.J. Turin, & J.R. Ertel. 1984. Sources and distribution of sedimentary organic matter in the Columbia River drainage basin, Washington and Oregon. Limnology and Oceanography, 29:35-46.

- Husby, D.M. & C.S. Nelson. 1982. Turbulence and vertical stability in the California Current. CalCOFI Report, 19:128-137.
- Jeffrey, A.W.A., R.C. Pflaum, J.M. Brooks & W.M. Sackett. 1983. Vertical trends in particulate organic carbon 13:12C ratios in upper water column. Deep-Sea Research, 30:971-983.
- Karl, D.M., R. Leteller, D. Hebel, L. Tupas, J. Dore, J. Christian & C. Winn. Ecosystem changes in the North Pacific subtropical gyre attributed to the 1991-92 El Niño. Nature, 373:230-234.
- Keil, R.G., L.M. Mayer, P.D. Quay, J.E. Richey & J.I. Hedges. 1997. Loss of organic matter from riverine particles deltas. Geochimica et Cosmochimica Acta, 61(7):1507-1511.
- Killops, S.D. & V.J. Killops. 1993., Production and fate of organic matter, 1-18. En: Killops, S. D. & V.J. Killops (Eds.). An introduction to organic geochemistry. Longman Scientific & Technical, New York. 265 p.
- Lee, C. & S.G. Wakeham. 1992. Organic matter in the water column: future research challenges. Marine Chemistry, 39:95-118.
- Libes, S.M. & W.G. Deuser. 1988. The isotope geochemistry of particulate nitrogen in the Peru upwelling area and the Gulf of Maine. Deep-Sea Research, 35(4):517-533.
- Martínez-López, A., J.R. Hernández-Alfonso, C. Band-Schmidt & R. Palomares-García. 2000. Cambios de corto plazo de la comunidad del fitoplancton en Bahía Magdalena durante el verano de 1998, 67-68. En: Ríos-Jara, E., E. Juárez-Carrillo, M. Pérez-Peña, E. López-Uriarte, E.G. Robles-Jarero, D.U. Hernández-Becerril & M. Silva-Briano (Eds.). Estudios sobre plancton en México y el Caribe. Sociedad Mexicana de Planctología y Universidad de Guadalajara, México. 147 p.
- Michaels, A.F., D.M. Karl & A.H. Knap. 2000. Temporal studies of biogeochemical dynamics in oligotrophic oceans, 392-413. En: Hanson, R.B., H.W. Ducklow & J.G. Field (Eds.). The changing ocean carbon cycle: A midterm synthesis of the Joint Global Ocean Flux Study. Cambridge University Press, Reino Unido.
- Morales-Zamorano, L.A., R. Cajal-Medrano, E. Orellana-Cepeda & L.C. Jiménez-Pérez. 1991. Effect of tidal dynamics on a planktonic community in a coastal lagoon of Baja California, Mexico. Marine Ecology Progress Series, 78:229-239.
- Palomares-García, R. 1992. Analysis of the taxocenosis of copepods in the lagoon complex Magdalena-Almejas bay, B.C.S., in 1985-1986. Ciencias Marinas, 18:71-92.
- Peterson, B.J., R.W. Howarth, & R.H. Garrit. 1985. Multiple stable isotopes used to trace the flow of organic matter in estuarine food webs. Science, 227:1361-1363.

- Peterson, B.J. & B. Fry. 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. Annual Review of Ecology and Systematics, 18:293-320.
- Peterson, B., B. Fry, M. Hullar, S. Saupe & R. Wright. 1994. The distribution and stable carbon isotopic composition of dissolved organic carbon in estuaries. Estuaries, 17(1B):111-121.
- Rau, G.H., J.L. Teyssie, F. Rassoulzadegan & S.W. Fowler. 1990.  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  variations among size fractionated marine particles: implications for their origin and trophic relationships. Marine Ecology Progress Series, 59:33-38.
- Saino, T. & A. Hattori. 1980.  $^{15}\text{N}$  natural abundance in oceanic suspended particulate matter. Nature, 283:752-754.
- Sun Ming-Yi, S.G. Wakeham & C. Lee. 1997. Rates and mechanisms of fatty acid degradation in oxic and anoxic coastal marine sediments of Long Island Sound, New York, USA. Geochimica et Cosmochimica Acta, 61(2):341-355.
- Silverberg, N., A. Martínez-López, N. Romero, G. Verdugo & S. Cota. 1999. Preliminary observations of the fluxes of sedimenting particulate matter in Cuenca San Lázaro (Soledad Basin) in the fall of 1996 and during the El Niño event of 1997-98. CalCOFI Conference, 26-28 oct. 1999, 34 p.
- U.S. GLOBEC. 1994. A science plan for the California Current, Report number 11. University of California. Berkeley, Ca. 134 p.
- Voss, M., M.A. Altabet & B.V. Bodungen. 1996.  $^{15}\text{N}$  in sedimenting particles as indicator of euphotic-zone processes. Deep Sea Research, 43(1):33-47.
- Wada, E., T. Kadonaga & S. Matsuo. 1975.  $^{15}\text{N}$  abundance in nitrogen of naturally occurring substances and global assesment of denitrification from isotopic viewpoint. Geochemical Journal, 9:139-148.
- Wakeham, S.G. & J.A. Beier. 1991. Fatty acid and sterol biomarkers as indicators of particulate matter source and alteration processes in the Black Sea. Deep Sea Research, 38(2):S943-S968.
- Wakeham, S.G., C. Lee; J.W. Farrington & R.B. Gagosian. 1984. Biochemistry of particulate matter in the oceans: results from sediment trap experiments. Deep Sea Research, 31(5):509-528.
- Wakeham, S.G., C. Lee, J.I. Hedges, P.J. Hernes & M.L. Peterson. 1997. Molecular indicators of diagenetic status in marine organic matter. Geochimica et Cosmochimica Acta, 61(24):5363-5369.
- Walsh, J.J., T.E. Whiteledge, J.C. Kelley, S.A. Huntsman & R.D. Pillsbury. 1977. Further transitions states of the Baja California upwelling ecosystem. Limnology and Oceanography, 22(2):264-280.
- Wilson, J.O., I. Valiela & T. Swain. 1985. Sources and concentrations of vascular plant material in sediments of Buzzards Bay, Massachusetts, USA. Marine Biology, 90:129-137.

Wolaver, T.G., S. Hutchinson & M. Marozas. 1986. Dissolved and particulate organic carbon in the North Inlet Estuary, South Carolina: what controls their concentrations? Estuaries, 9(1):31-38.

# 9

## COMPOSICIÓN Y DINÁMICA DEL FITOPLANCTON EN EL BAC DE BAHÍA MAGDALENA, B.C.S.

*Aída Martínez-López & Gerardo Verdugo-Díaz*

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR). Departamento de Plancton y Ecología Marina, Apdo. Postal 592, C.P. 23000, La Paz, Baja California Sur. E-mail: amartin@redipn.ipn.mx

### RESUMEN

Se presenta una revisión sobre la composición y dinámica del fitoplancton del Centro de Actividad Biológica (BAC) de Bahía Magdalena. Los cambios estacionales del fitoplancton indican que éstos están ligados a los cambios en los patrones de viento y circulación de gran escala. En general, se identifican tres procesos físicos que contribuyen a mantener una producción primaria relativamente alta a lo largo del año. Estos procesos son: a) las surgencias en Isla Margarita, principalmente durante marzo- junio; b) La presencia de frentes tanto térmicos como hialinos en el verano y c) la advección de agua con concentraciones elevadas de fitoplancton provenientes de la parte oceánica frente a Punta Eugenia durante verano-invierno. Se han registrado un total de 69 géneros y 330 especies de microfitoplancton. En comparación con otros sistemas similares, durante la temporada de surgencias se presentan las mayores abundancias y biomásas fitoplanctónicas, así como la dominancia de las diatomeas, las cuales presentan el mayor número de especies contenidas en los géneros *Chaetoceros*, *Rhizosolenia*, y *Coscinodiscus*. La proliferación y dominancia de diatomeas grandes durante esta época, influyen sobre la estructura de la comunidad microfitoplanctónica, llevándola a ser poco diversa, reflejándose ésto al encontrar durante esta época los valores mínimos de diversidad. Por el contrario, durante el periodo de transición se observa un comportamiento opuesto, dado que durante estos meses la comunidad presenta su máxima diversidad. Interanualmente, la fuente de mayor variabilidad es el ciclo del ENSO. Durante el Niño de 1982/1983, el fenómeno afectó la producción primaria así como la distribución de las especies del fitoplancton en esta región, debido a la reducción en la disponibilidad de nutrientes. La reducción en la densidad de células fue mayor al 90% en aguas superficiales.

**Palabras clave:** Fitoplancton, Producción primaria, ENSO, Bahía Magdalena.

### ABSTRACT

A revision is presented on the composition and dynamics of phytoplankton of the Biological Activity Center (BAC) of Magdalena Bay. The phytoplankton seasonal changes are linked to changes in wind patterns and large scale circulation. In general, three physical processes are identified that contribute to maintain a relatively high primary production all year long. These processes are: a) the upwelling at Margarita Island, mainly from March to June; b) the presence of fronts both thermal and hyaline in summer, and; c) the advection of water with high phytoplankton concentration coming from the oceanic area off-shore Point Eugenia during summer - winter. A total of 69 genera and 330 species of microphytoplankton have been registered. Compared to other similar systems, the higher phytoplanktonic abundance and biomasses occur during the upwelling season, as well as the dominance of diatoms, which have the higher number of species within the genera *Chaetoceros*, *Rhizosolenia*, and *Coscinodiscus*. The proliferation and dominance of "large" diatoms during this season influence the microplanktonic community structure, making it less diverse, which is reflected by the finding of the lower values of diversity in this season. On the contrary, during the transitional period the behavior is the opposite because during those months the community has the highest diversity. Interannually, the source of greater variability is the ENSO cycle. During the 1982 -1983 El Niño, the phenomenon affected the primary production and the distribution of phytoplankton species in this region due to the decrease in the availability of nutrients. The reduction in cell density was over 90% in surface waters.

**Key words:** Phytoplankton, Primary production, ENSO, Magdalena Bay.

### INTRODUCCIÓN

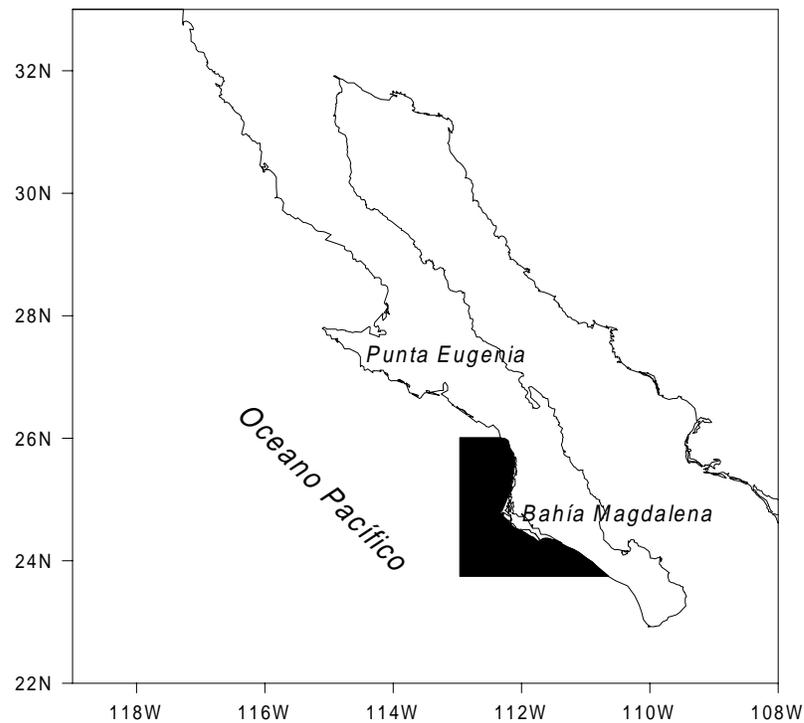
En la zona pelágica de los océanos, uno de los principales eventos ecológicos es la conversión de la energía radiante a energía bioquímica a través del fitoplancton; este proceso integral es llamado producción primaria. Dicho proceso es de vital importancia para la dinámica trófica del ecosistema marino y esta regido por una gran cantidad de variables. Sin embargo, es posible caracterizar zonas en las cuales, debido a sus condiciones medioambientales, la producción puede verse favorecida (Trevor *et al.*, 1984).

Dentro del ámbito de la Corriente de California, lo mismo que en otras regiones altamente productivas, existen áreas de escala espacial mucho menor las cuales al parecer soportan grandes biomásas de organismos a lo largo del año se les ha denominado como Centros de Actividad Biológica (BAC). La producción de estos BAC esta asociada con diferentes mecanismos físicos en los ecosistemas donde se presentan. En Baja California Sur se propone la

existencia de dos BAC, uno en el área aledaña a Bahía Magdalena y otro alrededor de Punta Eugenia.

En el Centro de Actividad Biológica (BAC) de Bahía Magdalena (Fig. 1), la presencia de florecimientos de fitoplancton, las altas densidades de zooplancton (incluyendo agregaciones altas de crustáceos como las langostillas), los productos de desove de sardinas y anchovetas, así como la presencia de mamíferos marinos, nos sugieren la existencia de una productividad alta así como relaciones tróficas cortas (Longhurst, 1967; Martínez, 1993; Saldierna *et al.*, 1989; Valles, 1998).

El BAC de Bahía Magdalena es complejo hidrodinámicamente y muestra una alta variabilidad en las escalas de tiempo y espacio. El patrón de circulación estacional genera una fuerte alternancia entre condiciones eutróficas y oligotróficas (Longhurst *et al.*, 1967a; Walsh *et al.*, 1977). Las condiciones eutróficas que ocurren entre marzo y junio están asociadas con vientos fuertes del noroeste, con la Corriente de California bien desarrollada y con los máximos índices de surgencias. Identificándose como punto principal de generación de surgencias a Isla Margarita (Lynn, 1967; Bakun & Nelson, 1977). Las condiciones oligotróficas entre septiembre-diciembre están vinculadas con la presencia de aguas más saladas provenientes del sudeste (Contracorriente



**Figura 1.** Ubicación geográfica del BAC de Bahía Magdalena.

Costera) y con la mínima actividad de surgencias. En tanto que julio, agosto, enero y febrero se consideran períodos de transición (Bakun & Nelson, 1977).

Desde el punto de vista de la estructura termohalina ésta es una de las regiones más complicadas en el Pacífico Norte, debido a la confluencia de diferentes masas de agua (subártica, subtropical y tropical), se considera que la región está dentro de una zona de transición, lo cual trae como consecuencia una mezcla de poblaciones de diferentes afinidades (Tibby, 1941; Roden, 1971). Desde el sudeste llega la corriente Norecuatorial, la cual en otoño y principios de invierno transporta agua cálida de mayor salinidad hacia el norte (Roden, 1971). Esta corriente, fluye por la costa occidental de Baja California hasta el norte de Cabo San Lázaro y, por ser de menor densidad pasa por encima del agua subártica que es mas pesada (Wyrki, 1967). Asimismo, durante esta temporada, el flujo principal de la Corriente de California puede presentarse con dirección hacia la costa, en algún lugar al norte de Bahía Magdalena, pero en este tiempo es frecuentemente indistinto y difícil de identificar (Wyllie, 1966).

A través del tiempo se han realizado propuestas de clasificación en las cuales se ha tratado de ubicar esta zona, pero dado la complejidad de la misma no existe un criterio uniformizado al respecto. Desde el punto de vista oceanográfico, el BAC estaría dentro una zona de transición subtropical que según Norton *et al.* (1985) se encuentra al sur de los 29° N representada por un paquete denso de isotermas. En tanto que de acuerdo con McLain *et al.* (1985), se ubicaría en una zona frontal entre el agua fría del norte y el agua caliente del sur localizada entre las latitudes 18° N y 28° N.

Desde el punto de vista biológico, Brinton (1962), basándose en la distribución de eufáusidos, reconoce el área de estudio como parte de la zona de transición ubicada entre los 40° y los 25° de Latitud Norte. Por otro lado, MacGowan (1974) define la zona de estudio no como un ecosistema verdadero sino como un ecotono, en el cual la inmigración y la emigración de individuos y los flujos de nutrientes alóctonos y autóctonos suceden a gran escala.

En la escala interanual, el clima de esta región puede estar influido por dos sistemas principales de circulación gobernados por los vientos; el sistema ecuatorial y el sistema del giro anticiclónico del Pacífico Norte (Baumgartner & Christensen, 1985).

Actualmente se conoce que, asociados con los patrones temporales y espaciales de circulación física, existen grandes cambios en la abundancia y distribución de organismos planctónicos, ya que están estrechamente ligados a la hidrografía y pueden reflejar las condiciones climáticas imperantes. Los estudios del fitoplancton en la Corriente de California iniciaron después de 1920 y fueron principalmente cualitativos (Allen, 1924, 1934, 1938; Cupp, 1930, 1934, 1943; Balech, 1960). Posteriormente, los estudios de series de tiempo de fitoplancton principalmente en la región central de la Corriente de California, han permitido identificar cambios en los patrones de circulación durante períodos anómalos de calentamiento asociados a cambios en la abundancia y predominancia de algunas especies (Bolin & Abbott, 1963; Tont, 1981; Rojas-de-Mendiola, 1981).

Parte de esta información se generó a través del programa estacional de muestreo de CalCOFI (California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations), el cual empezó en 1949. Sin embargo, esta información no es suficientemente adecuada para describir la dinámica del fitoplancton del BAC de Magdalena, dado que los cruceros CalCOFI generalmente cubrían solo una parte del área. Los primeros antecedentes de carácter más ecológico fueron realizados por: Longhurst *et al.*, 1967a; Blackburn, 1969; Gaxiola *et al.*, 1988; Martínez-López, 1993a, 1993b; Zuria *et al.*, 1995. Estudios publicados recientemente de carácter meramente taxonómico (Hernández-Becerril, 1991a, 1991b, 1993, 1996), en los cuales se describen nuevas especies de fitoplancton, nos permiten inferir que aún falta información básica del fitoplancton de la región. Sin embargo, los estudios mencionados aunque de manera aislada, han contribuido al conocimiento actual del fitoplancton y algunos de los principios de su dinámica en el BAC de Bahía Magdalena, por lo que el objetivo de este trabajo es sintetizar estos estudios con relación a los rasgos oceanográficos y climáticos más relevantes en la región.

### Producción primaria

La variabilidad en el medio ambiente físico se refleja en las comunidades del fitoplancton (Estrada & Blasco, 1985), de manera que cambios en los patrones de distribución de especies y en la estructura de la comunidad, indican cambios en las características físicoquímicas, la estructura hidrográfica y procesos dinámicos (Warburton, 1967; Rojas-de-Mendiola *et al.*, 1981). Así, en el BAC de Bahía Magdalena la principal actividad del fitoplancton ocurre entre abril y junio asociada con la producción de surgencias y se refleja en los valores altos de productividad primaria y concentración de clorofila en superficie, los cuales son del orden de  $0.31 \text{ gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$  y  $4.5 \text{ mgClam}^{-3}$  respectivamente (Longhurst *et al.*, 1967a; Martínez, 1993; Zuria *et al.*, 1995; Martínez-López, datos sin publicar). En tanto que durante la temporada de Contracorriente se han reportado valores menores de productividad y biomasa fitoplanctónica, los cuales fluctúan alrededor de  $0.08 \text{ gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$  y  $0.36 \text{ mgClam}^{-3}$  (Gaxiola & Alvarez, 1986; Hernández, 1993; Zuria *et al.*, 1995; Martínez-López, datos sin publicar). El BAC de Bahía Magdalena es menos productivo que otras áreas similares como Oregon (Peterson *et al.*, 1979), NW de Africa (Estrada, 1980) y NW de España (Casas *et al.*, 1997). Sin embargo, la concentración de la materia orgánica principalmente en forma detritica es relativamente importante durante la temporada en que se presenta agua oligotrófica (subtropical o tropical) en el BAC (Martínez *et al.*, 1995).

### Composición de especies

Se determinaron un total de 184 especies, correspondientes a 57 géneros (Tabla 1). Tanto las especies como la distribución del fitoplancton en la temporada de máxima intensidad de surgencias son similares a las encontradas en otras áreas de surgencia (Briand, 1976; Furuya *et al.*, 1986; Várela & Costas,

**Tabla 1.** Lista de especies del microfítotoplancton presentes durante 1982 en el BAC de Bahía Magdalena. Los asteriscos, señalan la presencia de las especies de las especies, distinguiendo entre las especies abundantes (\*) y las poco frecuentes (\*\*). Los encabezados de las columnas indican la fecha del crucero de colecta.

DIATOMEAS	C8204	C8207	C8208	C8212
<i>Actinocyclus octanarius var octanarius</i>		*		
<i>Actinoptychus sp</i>		**		
<i>Actinoptychus senarius</i>		**		
<i>Actinoptychus splendens</i>	**		**	
<i>Amphora sp</i>		**		
<i>Asterolampra gravillei</i>		*		
<i>Asterolampra marylandica</i>	**	*		**
<i>Asteromphalus brookei</i>		*		*
<i>Asteromphalus cleveanus</i>		*	**	
<i>Asteromphalus heptactis</i>	**	*	**	
<i>Azpeitia barronii</i>				*
<i>Azpeitia nodulifera</i>				*
<i>Bacteriastrium comosum</i>	*			
<i>Bacteriastrium delicatulum</i>	*	**	**	*
<i>Bacteriastrium elongatum</i>	*			*
<i>Bacteriastrium hyalinum</i>	*	**		
<i>Bacteriastrium sp</i>	*		*	
<i>Cerataulina pelagica</i>	**		**	*
<i>Chaetoceros affinis</i>	*		**	*
<i>Chaetoceros atlanticus</i>	*			*
<i>Chaetoceros brevis</i>		**		
<i>Chaetoceros concavicornis</i>	*	**		
<i>Chaetoceros coarctatus</i>			*	*
<i>Chaetoceros compressus</i>	*	*	*	*
<i>Chaetoceros constrictus</i>			**	
<i>Chaetoceros convolutus</i>		**	**	
<i>Chaetoceros costatus</i>		**		
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	*	*	*	
<i>Chaetoceros dadayi</i>		*		*
<i>Chaetoceros debilis</i>			**	
<i>Chaetoceros decipiens</i>	*			**
<i>Chaetoceros dicaeta</i>		**		
<i>Chaetoceros didymus</i>	*	**		*
<i>Chaetoceros difficilis</i>	*			**
<i>Chaetoceros laevis</i>				**
<i>Chaetoceros lascinosus</i>	*			**
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	*	*	*	*
<i>Chaetoceros messanensis</i>	*			*
<i>Chaetoceros pelagicus</i>				**
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	*	**		*
<i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i>	*			
<i>Chaetoceros teres</i>	**			
<i>Chaetoceros radicans</i>	*			
<i>Chaetoceros sp</i>	*			*
<i>Chaetoceros sp2</i>	*			
<i>Chaetoceros tetrastichon</i>				*
<i>Climacodium frauenfeldianum</i>	**	**	*	**
<i>Climacosphenia moniligera</i>		**		
<i>Corethron criophilum</i>	*			**
<i>Coscinodiscus centralis</i>	*	*	**	*
<i>Coscinodiscus concinus</i>				
<i>Coscinodiscus granii</i>		*		**
<i>Coscinodiscus marginatus</i>				**
<i>Coscinodiscus oculus iridis</i>			**	
<i>Coscinodiscus radiatus</i>		*		
<i>Coscinodiscus sp</i>		*	*	
<i>Coscinodiscus sp1</i>		**		
<i>Coscinodiscus wailesii</i>		*		
<i>Cylindrotheca closterium</i>	*		*	*
<i>Detonula pumila</i>				**
<i>Ditylum brighwellii</i>	*			**
<i>Eucampia cornuta</i>	*			
<i>Eucampia zodiacus</i>	*	*	*	
<i>Eunotia sp</i>			*	**
<i>Grammatophora marina</i>		*		

Tabla 1. Continuación.

DIATOMEAS	C8204	C8207	C8208	C8212
<i>Grammatophora oceanica</i>		**		
<i>Guinardia flaccida</i>	**	**	**	*
<i>Guinardia striata</i>		*	**	**
<i>Hemiaulus hauckii</i>		*	**	
<i>Hemiaulus membranaceus</i>	**	**	**	**
<i>Hemiaulus sinensis</i>	*	**	*	*
<i>Hemidiscus cuneiformis</i>				*
<i>Lauderia annulata</i>	*	**		
<i>Leptocylindrus danicus</i>	*	*	**	*
<i>Leptocylindrus mediterraneus</i>	**			*
<i>Licmophora abbreviata</i>	**		*	*
<i>Lioloma delicatulum</i>	*			*
<i>Lioloma pacificum</i>	*	*		*
<i>Meuneria membranacea</i>				**
<i>Navicula sp</i>	*			
<i>Odontella aurita</i>		*		**
<i>Odontella mobiliensis</i>		**		**
<i>Paralia sulcata</i>	**		**	**
<i>Planktoniella sol</i>	*		*	*
<i>Pleurosigma normanii</i>		**	**	
<i>Proboscia alata</i>	*	*	*	*
<i>Pseudoeunotia doliolus</i>				**
<i>Pseudonitzschia pacifica</i>	*		**	
<i>Pseudonitzschia pungens</i>	**			
<i>Pseudonitzschia seriata</i>	*			
<i>Pseudonitzschia sp</i>	*			*
<i>Pseudosolenia calcar avis</i>	**	**	*	*
<i>Rhizosolenia acuminata</i>				**
<i>Rhizosolenia bergonii</i>	**	**		*
<i>Rhizosolenia castracanei</i>		*		
<i>Rhizosolenia clevei</i>	*	*	**	*
<i>Rhizosolenia imbricata</i>		**	*	*
<i>Rhizosolenia robusta</i>	**	*	*	**
<i>Rhizosolenia setigera</i>	**	**	**	*
<i>Roperia tessellata</i>		*		
<i>Stauroneis sp</i>		**		
<i>Stephanopyxis turris</i>	**			
<i>Synedra ulna</i>				*
<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	*	**	*	*
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	*	*	**	*
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	**	**		**
<i>Thalassiosira leptopus</i>	*	**		
<i>Thalassiosira oestrupii</i>		*		
<i>Thalassiosira rotula</i>	*			
<i>Thalassiothrix longissima</i>	**	**		
<i>Triceratium favus</i>		**		
<i>Tropidoneis lepidoptera</i>		**		
DINOFLAGELADOS	C8204	C8207	C8208	C8212
<i>Actiniscus pentasterias</i>	*			
<i>Amphisolenia bidentata</i>			**	*
<i>Ceratium axiale</i>	**	**		
<i>Ceratium azoricum</i>		*		
<i>Ceratium biceps</i>		*	**	*
<i>Ceratium boehmii</i>		**		
<i>Ceratium breve</i>	**	**	*	**
<i>Ceratium buceros</i>		**		*
<i>Ceratium c.f. brachiceros</i>		*	*	**
<i>Ceratium candelabrum</i>	**	*	*	**
<i>Ceratium carriense</i>		**		**
<i>Ceratium concilians</i>		*	**	
<i>Ceratium contortum</i>		**	*	**
<i>Ceratium declinatum</i>		*		**
<i>Ceratium deflexum</i>				*
<i>Ceratium euarcuratum</i>		*		

Tabla 1. Continuación.

DINOFLAGELADOS	C8204	C8207	C8208	C8212
<i>Ceratium falciforme</i>		**	**	
<i>Ceratium furca</i>	*	*	*	**
<i>Ceratium fusus</i>	*	*	*	*
<i>Ceratium geniculatum</i>		**		
<i>Ceratium gibberum</i>		*		
<i>Ceratium gravidum</i>				**
<i>Ceratium hexacanthum</i>				**
<i>Ceratium horridum</i>		**		
<i>Ceratium incisum</i>		**		
<i>Ceratium inflatum</i>		**	**	
<i>Ceratium karstenii</i>		**	**	**
<i>Ceratium limulus</i>		**		
<i>Ceratium longirostrum</i>	**			**
<i>Ceratium longissimum</i>	**			
<i>Ceratium lunula</i>		**		
<i>Ceratium macroceros</i>	*	*	*	*
<i>Ceratium massiliense</i>	**	*	*	*
<i>Ceratium pentagonum</i>		*	*	**
<i>Ceratium pulchellum</i>		*		
<i>Ceratium reflexum</i>		**		
<i>Ceratium schrankii</i>		**	**	
<i>Ceratium sp</i>	**	**		
<i>Ceratium symmetricum</i>	**			
<i>Ceratium teres</i>		**	*	
<i>Ceratium trichoceros</i>	**	*	*	*
<i>Ceratium tripos</i>	**	*	*	*
<i>Ceratium vultur</i>		*	*	**
<i>Ceratocorys horrida</i>	**	*	*	*
<i>Dinophysis caudata</i>	**	*	*	**
<i>Dinophysis cuneus</i>		**	**	
<i>Dinophysis doryphorum</i>			**	
<i>Dinophysis hastata</i>	**	**		
<i>Dinophysis spherica</i>		**		
<i>Dinophysis tripos</i>			**	
<i>Diploneis c.f. ovalis</i>		**		
<i>Dissodinium elegans</i>				**
<i>Dissodinium gerbaultii</i>		**		
<i>Dissodinium lunula</i>	**			
<i>Gonyaulax brunii</i>		**		
<i>Gonyaulax digitale</i>		**		
<i>Gonyaulax kofoidii</i>		**		
<i>Gonyaulax poligramma</i>		*	*	
<i>Ornithocercus c.f. magnificus</i>	**			
<i>Ornithocercus skogsbergii</i>			**	
<i>Ornithocercus steinii</i>				*
<i>Oxytoxum parvum</i>			**	
<i>Podolampas bipes</i>			*	
<i>Podolampas sp</i>	**			
<i>Pronoctiluca pelagica</i>			**	
<i>Proocentrum micans</i>			**	
<i>Protoperidinium c.f. latissimum</i>	**		**	
<i>Protoperidinium c.f. tenuissimum</i>			*	
<i>Protoperidinium conicum</i>	**		**	
<i>Protoperidinium diabolus</i>	**			
<i>Protoperidinium divergens</i>			*	**
<i>Protoperidinium grande</i>			*	**
<i>Protoperidinium pacificum</i>	**			
<i>Protoperidinium sp</i>	**			
<i>Pyrocystis fusiformis</i>				**
<i>Pyrocystis noctiluca</i>			**	
<i>Pyrophacus steinii</i>	**	*	*	**
<i>Scrippsiella trochoidea</i>	**			
SILICOFLAGELADOS	C8204	C8207	C8208	C8212
<i>Dictyocha epidon</i>		*		
<i>Dictyocha messanensis</i>		**		
<i>Disthephanus pulchra</i>		*		

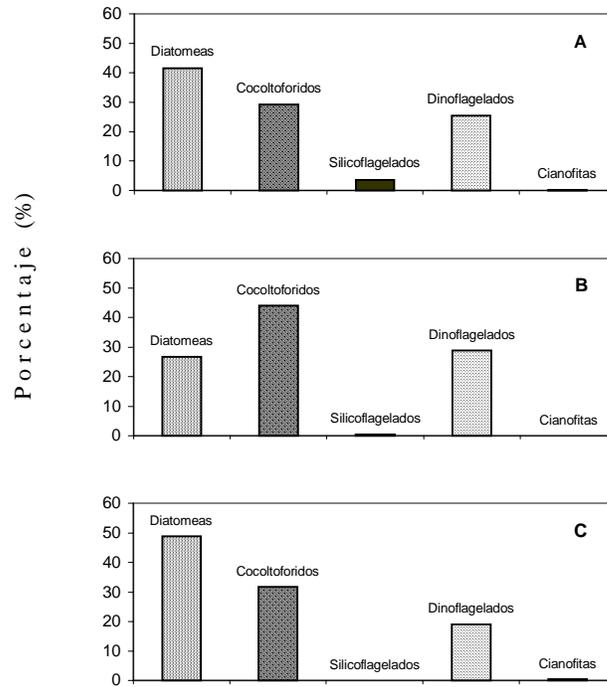
1987) en donde el fitoplancton silicio es el principal componente y su distribución en el sentido costa-océano confirma la anisotropía observada en este tipo de regiones (Estrada & Blasco, 1985). Los géneros dominantes están representados principalmente por: *Chaetoceros*, *Rhizosolenia*, y *Coscinodiscus*, seguidos de *Proboscia*, *Thalassiosira*, *Pseudonitzschia*, *Lioloma* y *Thalassionema*. Otros grupos del fitoplancton preceden a las diatomeas en el siguiente orden: cocolitoforidos, dinoflagelados y silicoflagelados.

La temporada cálida del año, o de contracorriente, se encuentra caracterizada por una comunidad en la que predominan los cocolitoforidos, seguidos de los dinoflagelados y diatomeas (Fig. 2A). El grupo de dinoflagelados en general es típico de aguas oceánicas estratificadas, con bajas concentraciones de nutrientes. Las especies más representativas de esta temporada son: *Ceratium massiliense*, *C. macroceros*, *C. fusus*, *C. tripos* y *C. candelabrum* (Fig. 2B). Asimismo, es notable en esta temporada la presencia de algunas asociaciones entre diatomeas y protozoarios, o bien, entre diatomeas y otras microalgas como son los casos entre *Chaetoceros coarctatus* y *Vorticella oceanica* y entre *Rhizosolenia clevei* y *Richellia intercelularis*. La temporada en donde imperan condiciones de transición presenta varias especies propias de ambientes parcialmente enriquecidos, congregadas en los géneros *Chaetoceros*, *Bacteriastrium* y *Rhizosolenia*, seguidas en orden de importancia por los cocolitoforidos y dinoflagelados (Fig. 2C).

Los índices de diversidad de especies y los patrones de abundancia relativa de las especies generalmente son usados para caracterizar y comparar comunidades biológicas (Whittaker, 1975; Washington, 1984). El índice de Shannon-Weiner ( $H'$ ) calculado para varios cruceros en el BAC de Magdalena señala la influencia de los diferentes tipos de agua que confluyen en la zona. Los valores máximos 2.5, se presentan en los meses de transición entre los dos patrones de circulación que dominan la zona, en tanto que el valor más bajo (1.0) se ha reportado en la temporada de surgencias. Estos valores máximos son consecuencia de la mezcla de flora de diferente afinidad con el encuentro y mezcla de diferentes tipos de agua, lo que produce un incremento pasivo de la diversidad (Margalef, 1980). Bajo la influencia del evento de El Niño, los valores típicos de la temporada de transición se incrementan hasta alcanzar valores de diversidad (4.5 bits/ ind.) semejantes a los de zonas oceánicas o de latitudes bajas (Margalef, 1980).

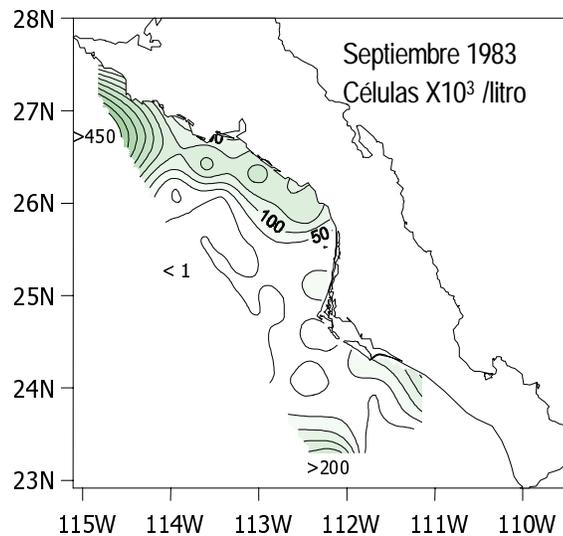
## Distribución espacial

Las condiciones hidrodinámicas del BAC modulan de manera importante los cambios de la comunidad fitoplanctónica durante el ciclo anual (Martínez, 1993). El afloramiento de agua generalmente se refleja en la producción de células y en la distribución de éstas, de manera que las mayores concentraciones, se han encontrado cerca de la costa alrededor de los sitios más importantes de generación de surgencias de esta región (Longhurst *et al.*, 1967a; Martínez, 1993a). Durante la temporada de Contracorriente se han registrado las menores concentraciones de células, distribuidas en un gradiente Norte-Sur (Martínez,



**Figura 2.** El gráfico muestra los porcentajes por grupos del fitoplancton presentes en superficie, en el centro de actividad biológica de Bahía Magdalena, cada temporada del año: surgencias (A); cálida o de contracorriente (B) y de transición (C).

1993a, 1993b), de acuerdo con Longhurst (1967), ocurre una reducción en la biomasa planctónica hasta de un 50% durante esta temporada. Sin embargo y a pesar de la estratificación que se presenta durante esta temporada, Martínez, (1993), reporta la presencia de núcleos de alta densidad fitoplanctónica tanto superficiales como subsuperficiales, asociados con la formación de frentes oceanográficos entre el agua de la Corriente de California y el agua tropical de la Contracorriente costera. La existencia y complejidad de estos frentes también ha sido señalada por La Fond (1963) y Lynn & Simpson (1987), en un análisis aplicado a la serie de datos (entre 1950-1978) del programa CalCOFI. Es notable asimismo que los procesos de advección de fitoplancton hacia el BAC de Bahía Magdalena parecen presentarse recurrentemente en esta temporada. La advección ocurre desde la zona oceánica frente a Punta Eugenia como lo señala la distribución del fitoplancton durante otoño de 1983 (Fig. 3). Esta producción de fitoplancton cuando las surgencias son mínimas pudiera estar originada por un giro ciclónico que al parecer existe en esta región (Schwartzlose & Reid, 1972; Wyllie, 1966).



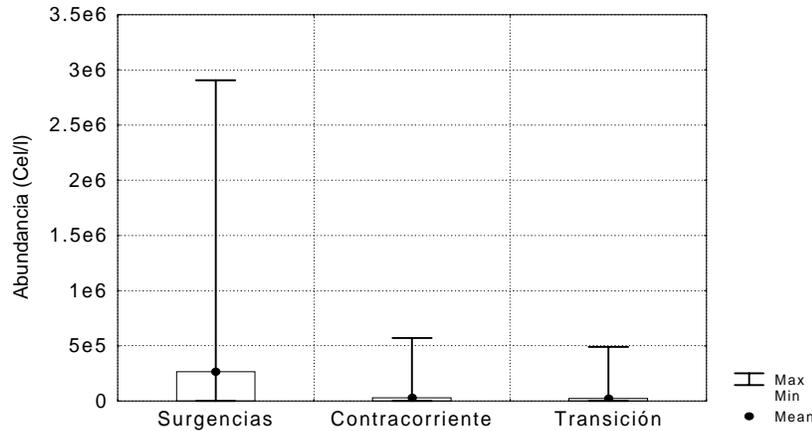
**Figura 3.** Distribución del fitoplancton en superficie durante septiembre de 1983.

### Variabilidad temporal

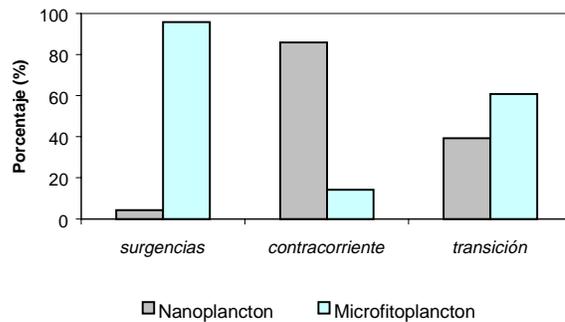
Las concentraciones han fluctuado entre valores excepcionales de  $49.5 \times 10^6$  cél/litro reportados por Longhurst *et al.* (1967a) en 1964 hasta abundancias menores de  $5 \times 10^3$  cél/litro, como las registradas durante la primavera de 1983. A excepción de las concentraciones estimadas por Longhurst *et al.* (1967a), las concentraciones máximas están dentro del intervalo reportado para otras áreas de surgencias (Reid *et al.*, 1970; Estrada & Blasco, 1979; Casas *et al.*, 1997). Las menores concentraciones de células, entre  $8 \times 10^3$  cél/litro y 800 cél/litro se han registrado durante la temporada de Contracorriente (Martínez, 1993a, 1993b).

En promedio, podemos señalar que durante la temporada de surgencias se presentan las concentraciones más altas de fitoplancton, con una distribución anisotrópica bien definida lo cual se refleja en sus valores extremos. Las temporadas de Contracorriente y de transición se caracterizan por presentar concentraciones medias muy similares y menores gradientes en su distribución (Fig. 4).

En cuanto a los cambios estacionales en las fracciones de tamaño se tienen registros del predominio del microfitoplancton durante la temporada de surgencias en 1982 y en años anteriores a este año, sin embargo, esta situación posiblemente ha cambiado como indican datos recientes de 1998, en donde la fracción 20 predominó sobre el microfitoplancton, lo cual es similar a lo que generalmente sucede durante la temporada de Contracorriente (Fig. 5) y en otras áreas subtropicales de surgencias (Gonzalez-Rodríguez *et al.*, 1992). Durante la



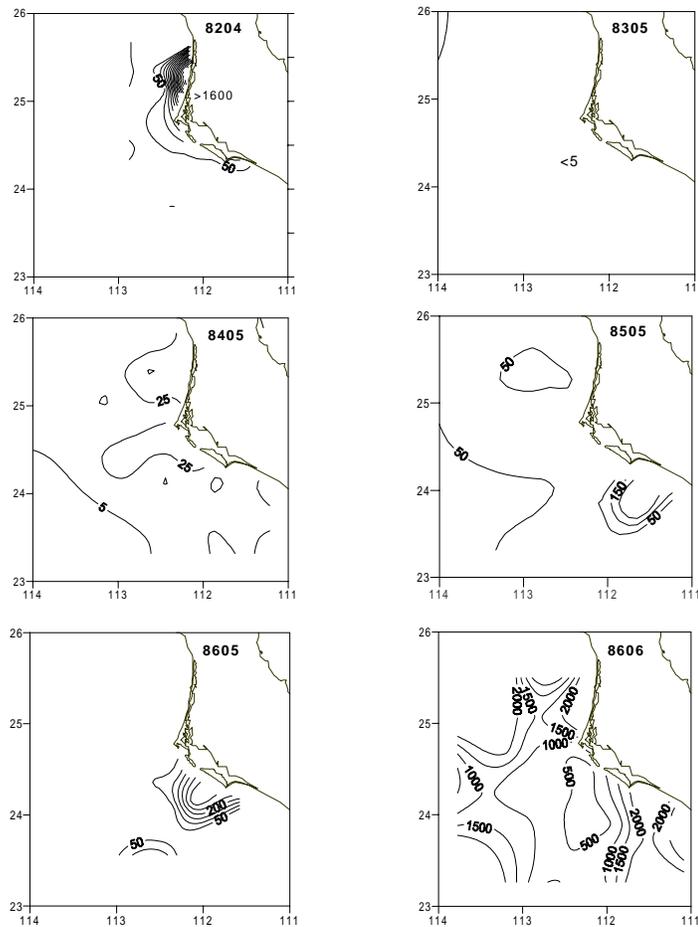
**Figura 4.** Variación temporal de la abundancia del fitoplancton en el BAC de Bahía Magdalena. Los puntos representan el promedio de una serie histórica entre 1982-1991 y 1998.



**Figura 5.** Porcentaje relativo del nanofitoplancton y microfitoplancton en el BAC de Bahía Magdalena. Serie histórica entre 1982-1991 y 1998.

temporada de transición predomina el microfitoplancton en un 60% sobre el nanofitoplancton (Fig. 5).

En la escala interanual, una fuente de variabilidad importante en esta región es el ciclo del El Niño-Oscilación Sureña (ENSO). El cual puede originar fluctuaciones en la producción del fitoplancton de hasta tres ordenes de magnitud, debido a que este fenómeno reduce la disponibilidad de nutrientes y promueve cambios en la estructura de la comunidad del fitoplancton (Martínez, 1993; Zuria *et al.*, 1995). El impacto de este fenómeno puede tener repercusiones sobre los productores primarios incluso varios años después como sucedió con El Niño de 1982-1983, cuyos efectos residuales se registraron hasta 1985 (Martínez, 1993; Zuria *et al.*, 1995). Asimismo, es posible observar como resultado de estos cambios en las condiciones anuales, producciones muy elevadas de nanofitoplancton como sucedió durante 1986 (Fig. 6).



**Figura 6.** Variación interanual de la abundancia del fitoplancton (No. de células X  $10^3$ /litro) durante la temporada de surgencias en el BAC de Bahía Magdalena.

## CONCLUSIONES

En la zona del BAC de Bahía Magdalena, podemos identificar claramente dos temporadas a través del año: una correlacionada con los eventos de surgencia producidas por la influencia de los vientos dominantes del Noroeste durante la primera parte del año. Esta temporada se caracteriza por presentar concentraciones fitoplanctónicas dominadas por el microfitoplancton, así como los máximos promedio en los valores de productividad primaria y concentración de clorofila. Otra temporada se caracteriza por una mínima actividad de surgencias y un decremento en la producción primaria por este mecanismo físico. Sin embargo la presencia de otras estructuras físicas como frentes y remolinos, permiten la concentración o adveración de fitoplancton y material orgánico de origen detrítico hacia el BAC, durante esta temporada,

principalmente hacia el norte de Bahía Magdalena. Estos procesos físicos sumados a la característica de esta región de presentar una plataforma continental amplia, incrementa la capacidad de la región para mantener biomasa zooplanctónicas altas. En la escala interanual, una fuente de variabilidad importante en esta región es el ciclo del El Niño-Oscilación Sureña (ENSO), el cual puede originar fluctuaciones en la producción del fitoplancton de hasta tres ordenes de magnitud.

A mayor escala de tiempo, el análisis de series de datos biológicos y físicos de esta área, y otras similares, muestran propiedades no estacionarias, en donde cambios abruptos en la temperatura (de cálido a frío y viceversa) son acompañados por cambios en la estructura de los ecosistemas (Holmgren & Baumgartner, 1993; Olivier, 1998). Estudios históricos sobre esqueletos de organismos planctónicos o escamas de peces depositados en los sedimentos marinos han dado evidencia de la fidelidad con que esta región conserva la información del clima pasado y paleocirculación /productividad del sistema de la Corriente de California (Soutar & Issacs, 1974; Olivier, 1998). Asimismo, se ha mostrado que fluctuaciones interdecadales en el clima oceánico originan cambios en el hábitat que tienden a favorecer a unas especies sobre otras. Para el análisis de la respuesta del ecosistema es necesario amplificar la escala temporal de las observaciones a través del análisis de la información contenida en el registro natural. Este tipo de estudios abre una perspectiva importante en la caracterización de esta región, dado que permite expandir la escala temporal para lograr una mejor comprensión de los cambios climáticos y oceanográficos ocurridos en el pasado.

## BIBLIOGRAFÍA

- Allen, W.E. 1924. Observations on surface distribution of marine diatoms of lower California in 1922. Ecology, (5):389-392.
- Allen, W.E. 1934. Marine plankton diatoms of lower California in 1931. Bot. Gaz.,(95):485-492.
- Allen, W.E. 1938. The Templeton Crocker Expedition to the Gulf of California in 1935- the phytoplankton. Trans. Am. Microsc. Soc., (57):328-335.
- Bakun, A. & C.S. Nelson. 1977. Climatology of upwelling related processes off Baja. CalCOFI Rep., (19):107-127.
- Balech, E. 1960. The changes in the phytoplankton population off the California coast. CalCOFI Rep., (7):127-132.
- Baumgartner, T.R. & J.N. Christensen. 1985. Coupling of the Gulf of California to large-scale interannual climatic variability. J. Mar. Res., (43):825-848.
- Blackburn, M. 1969. Conditions related to upwelling which determine distribution of tropical tunas off western Baja California. Fish. Bull., (68):1 147-176.
- Bolin, L.R. & P.D. Abbott. 1963. Studies on the marine climate and

- phytoplankton on the central area of California, 1954-1960. CalCOFI Rep., (9):23-45.
- Briand, J.P.F. 1976. Seasonal variations and associations of southern California nearshore phytoplankton. J. Ecol., (64):821-835.
- Brinton, E. 1962. Variable factors affecting the apparent range and estimated concentration of euphausiids in the North Pacific. Pacific Science, 16(4): 374-408.
- Casas, B., M. Varela, N. González & A. Bode. 1997. Seasonal Variations of Nutrients, seston and phytoplankton, and Upwelling intensity off La Coruña (NW Spain). Estuarine Coastal and Shelf Science, (44):767-778 .
- Chelton, D.B., P.A. Bernal & J.A. McGowan. 1982. Large-scale interannual physical and biological interaction in the California Current. Journal of Marine Research, 40(4):1095-1125.
- Cupp, E.E. 1930. Quantitative studies of miscellaneous series of surface catches of marine diatoms and dinoflagellates taken between Seattle and the Canal zone from 1924 to 1928. Trans. Amer. Microsc. Soc., (49):238-245.
- Cupp, E.E. 1934. Analysis of marine plankton diatoms collections taken from the California zone to California during March, 1933. Trans. Amer. Microsc. Soc. (53):22-29
- Cupp, E.E. 1943. Marine Plankton diatoms of the west coast of North America. Bull. Scripps Inst. Oceanogr., 5(1): 1-237.
- Eppley, E.W., E.H. Renger & W.G. Harrison. 1979. Nitrate and phytoplankton production in southern California waters. Limnol. Oceanogr., (24):483-494.
- Estrada, M. 1980. Phytoplankton biomass and production in the upwelling region of NW Africa. Tethys, 6: 247-260.
- Estrada, M. & D. Blasco. 1979. Two phases of phytoplankton community in the Baja California upwelling. Limnol. Oceanogr., (26):1065-1080.
- Estrada, M. & D. Blasco. 1985. Phytoplankton assemblages in coastal upwelling areas. Int. Symp. Upw. W. Afr. Inst. Inv. Pesq. Barcelona. (1):379-402.
- Furuya, K., M. Takahashi & T. Nemoto. 1986. Summer phytoplankton community structure and growth in a regional upwelling area off Hachijo Island, Japan. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., (96):43-55.
- Gaxiola, G., S. Nagera & S. Alvarez., 1987. Fitoplancton de invierno del océano Pacífico Mexicano. Ciencias Marinas, 13(4):129-135.
- Gaxiola, G. & S. Alvarez. 1986. Photosynthesis Irradiance Relationship for winter phytoplankton In Pacific waters off Mexico. Oceanologica Acta, (9):497-501.
- González-Rodríguez, E., J.L. Valentin, D.L. Andre & S.A. Jacob. 1992. Upwelling and downwelling at Cabo Frio (Brazil): comparison of biomass and production responses. J. Plankton Res., 14(2):289-306

- Hernández-Alfonso, J.R. 1993. Características bioquímicas del material orgánico particulado en una zona de agregados de langostilla. *Pleuoncode planipes* (Crustacea: Galatheidae) en la costa occidental de Baja California Sur. Tesis de Licenciatura. Departamento de Biología Marina. UABCS. 73 p.
- Hernández-Becerril, D.U. 1991a. The morphology and taxonomy of the species of the diatom genus *Asteromphalus* Ehr. *Bibliotheca Diatomologica*, (23):-55, 33 plates.
- Hernández-Becerril, D.U. 1991b. The morphology and taxomomy of the planktonic diatom *Chaetoceros coarctaus* Lauder (Bacillariophyceae). *Diatom Research*, (6):281-287.
- Hernández-Becerril, D.U., M.E. Castillo & M.A.L. Villa. 1993. Observations on *Chaetoceros buceros* (Bacillariophyceae), a rare tropical planktonic species collected from the Mexican Pacific. *Journal of Phycology*, (29):811-818.
- Hernández-Becerril, D.U. 1996. A morfological study of *Chaetoceros* species (Bacillariophyta) from the plankton of the Pacific Ocean of Mexico. *Bull. Nat. Hist. Mus. Lond.*, 26(1):1-73.
- Holmgren, D. & T. Baumgartner. 1993. A 250-year history of pelagic fish abundances from the anaerobic sediments of the Central Gulf of California. *CalCOFI Rep.*, (34):60-68.
- Longhurst, A.R. 1967. Diversity and trophic structure of zooplankton communities in the California Current. *Deep Sea Res.*, 19:553-572.
- Longhurst, A.R., C.J. Lorenzen & W.H. Thomas. 1967. The role of pelagic crabbs in the grazing of phytoplankton off Baja California. *Ecology*, Vol. 48. No. 2 190-200. Diversity and trophic structure of zooplankton communities in the California Current. *Deep Sea Res.*, (19):553-572.
- Lynn, R. J. 1967. Seasonal variation of temperature and salinity at 10 meters in the California Current. *CALCOFI Rep.*, (11):157-186.
- Lynn, R. J. & J. J. Simpson. 1987. The California Current System. The seasonal variability of its physical characteristics. *J. Geophy. Res.*, 92(C12):12947-12966.
- Margalef, R. 1980. *Ecología*. Omega, Barcelona, España. 951 p.
- Martínez, A., R. Saldierna, A. Levy, F. de-Lachica & A. Hinojosa. 1995. Distribución latitudinal de la actividad reproductiva de la sardina *Sardinops caeruleus* y de la anchoveta, *Engraulis mordax*, en la costa occidental de Baja California Sur, México. Primer Seminario Internacional Planctología 95. La Habana Cuba.
- Martínez-López, A. 1993. Distribución espacial del fitoplancton asociada con frentes en la costa occidental de Baja California Sur. *Inv. Marinas CICIMAR*, 8(2):71-86.

- McGowan, J. A., 1974. The nature of oceanic ecosystems, 9-28. En: C. B. Miller (Ed.). *The Biology of the Oceanic Pacific*. Oregon State Univ. Press, Corvallis.
- McLain, R.D., R.E. Brainard & J.G. Norton, 1985. Anomalous warm events in eastern boundary current systems. *CalCOFI Rep.*, (26):51-64.
- Norton, J., D. McLain, R. Brainard & D. Husby. 1985. The 1982-83 El Niño Event off Baja and Alta California and its Ocean Climate Context, 44-72. En: Wooster, W.S. & D. Fluharty (Eds.). *El Niño North*. Washington Sea Grant Program, University of Washington, Seattle, 312 p.
- Olivier, B. 1998. *Fertilidad en la corriente de California para los últimos 130 años: preservación, calibración y reconstrucción basada en foraminíferos planctónicos en sedimentos laminados de la cuenca de San Lázaro*. Tesis de Maestría. CICESE. Ensenada, B.C. 122 p.
- Peterson, W.T., C.B. Miller & S. Hutchinson. 1979. Zonation and maintenance of copepod populations in the Oregon upwelling zone. *Deep-Sea Res.*, Part A, (26):467-494.
- Raymont, J.E.F. 1980. *Plankton and productivity in the oceans. Vol. 1. Phytoplankton*. Pergamon Press. 489 p.
- Reid, R. M., E. Fuglister & J. B. Jordan. 1970. The ecology of the plankton off La Joya, California in the period April through September 1967. Part 3: Phytoplankton taxonomy and standing crop. *Bull. Scripps Inst. Ocean.*, (17):51-67.
- Roden, G.I. 1971. Aspects of the transition zone in the northeast Pacific. *J. Geophys. Res.* 76(15):3462-3475.
- Rojas-de-Mendiola, B. 1981. Seasonal phytoplankton distribution along the Peruvian coast, 348-356. En: Richards, F.A. (Ed.). *Coastal Upwelling*. American Geophysical Union, Washington D.C.
- Saldierna-Martínez, R., C. Sánchez-Ortiz & R.G. Vera-Alejandre. 1987. *Estudios sobre los primeros estadios de vida de las sardinias Monterrey, *Sardinops sagax* y *Opisthonema libertate*, en Bahía Magdalena, B.C.S. I Descripción de huevos, II Distribución y abundancia de huevos y larvas, III Mortalidad larval*. Tesis de Licenciatura. Departamento de Biología Marina. UABCS. México. 127 p.
- Schwartzlose, R.A. & J.L. Reid. 1972. Near-shore circulation in the California Current. *Calif. Mar. Res. Comm. CalCOFI Rep.*, (16):57-65
- Sharp, G.D. 1991., Climate and fisheries: cause and effect a system review, 239-258. En: Kawasaki, T., S. Tanala, Y. Toba, & A. Taniguchi (Eds.). *Long-term Variability of pelagic Fish populations and their Environment*. Proceeding of the International Symposium. Sendai, Japan. 14-18 November 1989. Tokyo. London Pergamon Press.
- Sharp, G.D. 1992. Fishery catch records, El Niño/Southern Oscillation, and

- longer-term climate change as inferred from fish remains in marina sediments, 379-418. En: Díaz, H.F. & M. Vera (Eds.). El Niño. Cambridge University Press..
- Sokal, R.R. & P.H.A. Sneath. 1963. Principles of numerical taxonomy. W.H. Freeman & Co., San Francisco, 259 p.
- Tibby, R.B. 1941. The water masses off the west coast of North America. J. Mar. Res., 4(2):113-121.
- Tont, S. 1981. Temporal variations in diatom abundance off southern California in relation to surface temperature, air temperature and sea level. J. Mar. Res., (39):191-201.
- Torres-Moye, G. & S. Álvarez-Borrego. 1987. Effects of the 1984 El Niño on the summer phytoplankton of a Baja California upwelling zone. J. Geophys. Res., 92(C13):14,383-14,386.
- Trevor, P., M. Lewis & R. Geider. 1984. Thermodynamics of pelagic ecosystems: Elementary closure conditions for biological production in the open ocean.
- Valles-Jiménez, R. 1998. Abundancia y distribución de *Delphinus delphis* y *Delphinus capensis* en la costa occidental de Baja California. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. México. 70 pp.
- Varela, M. & E. Costas. 1987. Distribución del tamaño de las especies del fitoplancton en un área de afloramiento. Inv. Pesq., 51(1):97-105.
- Walsh, J.J., E. Whitley, J.C. Kelly, S.A. Huntsman & R.D. Pillsbury. 1977. Further transition states of Baja California upwelling ecosystem. Limnol. Oceanog. 22(2):44-60.
- Warburton, F.E. 1967. A model of natural selection based on a theory of guessing games. J. Theor. Biol. 16:78-96.
- Whittaker, R.H., 1975. Community and Ecosystem. Mc Millan Pub. Co. Inc. New York, N.Y. 385 p
- Wyllie, J.G. 1966. Geostrophic flow of the California Current at the surface and at 200 meters. State of California, Marine research Committee. CalCOFI Atlas, 4(13):288.
- Wyrki, K. 1967. El Niño- the dynamic response of equatorial Pacific Ocean. J. Phys. Oceanogr., (7):780-787.
- Wyrki, K. 1967. 1967. Circulation and water masses in the Eastern Equatorial Pacific Ocean. J. Oceanol. & Limnol., 1(2):117-147.
- Zuria-Jordan, I.L., S. Álvarez-Borrego, E. Santamaría-del-Ángel & F.E. Muller-Karger. 1995. Estimación de biomasa fitoplanctónica, derivada de datos de satélite, frente a Baja California Sur. Ciencias Marinas, 21(3):265-280.

# 10

## DINÁMICA DEL FITOPLANCTON EN EL SISTEMA LAGUNAR MAGDALENA-ALMEJAS

Ismael Gárate-Lizárraga<sup>1</sup>, David A. Siqueiros-Beltrones<sup>1,2</sup>, Gerardo Verdugo-Díaz<sup>1</sup> & Rafael Guerrero-Caballero<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Fitoplancton, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, I.P.N., A.P. 592. La Paz, B.C.S., México 23000. <sup>2</sup>Departamento de Biología Marina, Universidad Autónoma de Baja California Sur, A.P. 19-B. La Paz, B.C.S., México 23081. <sup>3</sup>Laboratorio de Microbiología, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, I.P.N., A.P. 592. La Paz, B.C.S., México 23000. IGL es Becario COFFA.

### RESUMEN

Este trabajo aborda el estudio de la dinámica del fitoplancton en el Sistema Lagunar Bahía Magdalena-Almejas, con base en la composición específica de los principales grupos del microfitoplancton y la abundancia de ambas fracciones de tamaño del fitoplancton. Esta información permitirá analizar y eventualmente explicar sus variaciones anuales e interanuales. De las tres áreas que conforman dicho sistema lagunar, Bahía Magdalena es el área donde se registran las concentraciones más altas de fitoplancton, presentándose dos picos de máxima abundancia, uno en primavera y el otro en otoño. En Bahía Almejas y en la Zona de Canales no se presentan picos de primavera, manifestándose solamente el pico de otoño. El microfitoplancton es la fracción que mayormente contribuye a la abundancia total, sin embargo, el nanofitoplancton puede también contribuir grandemente a la abundancia. Dentro del grupo del microfitoplancton, las asociaciones están constituidas por unas cuantas especies dominantes o subdominantes, las cuales proliferan de manera puntual o en grandes áreas. Las especies características de la temporada cálida son las diatomeas: *P. alata*, *C. asteromphalus*, *P. calcar avis*, *Rh. robusta*, *Ch. coarctatus*, *S. palmeriana*, *H. membranaceus*, *Rh. hyalina* y *C. perforatus*, mientras que las especies características de la temporada fría son *Rh. imbricata*, *G. flaccida*, *Ch. compressus*, *C. pelagica*, *A. glacialis*, *Th. frauenfeldii* y *Th. nitzschioides*. El calentamiento del agua ocasionado por el evento “El Niño” 1982/1984, provocó una caída drástica de la abundancia fitoplanctónica de diciembre de 1982 a diciembre de 1983. El proceso de recuperación del fitoplancton fue lento y se observó a partir de 1985, habiéndose completado para

1986, año considerado como frío. Las proliferaciones de *P. alata* se intensificaron debido al evento El Niño cuando las aguas son cálidas y pobres en nutrientes. El Niño provoca cambios en la estructura de las asociaciones, ya que la riqueza de especies y la diversidad específica se ven disminuidas debido a la dominancia de unas cuantas especies.

**Palabras clave:** Microfitoplancton, Nanofitoplancton, Abundancia, Variación interanual, El Niño, Bahía Magdalena.

### ABSTRACT

This work studies the phytoplankton dynamics in the lagoon system of Magdalena-Almejas Bay based on the specific composition of the microphytoplankton main groups, and the abundance of both phytoplankton fraction sizes. This information will allow analyzing and eventually explaining their annual and interannual variations. From the three areas forming the lagoon system, Magdalena Bay is where the highest concentrations of phytoplankton are registered, with two peaks of maximum abundance, one in spring and the other in autumn. There are no spring peaks at Almejas Bay and the Channels area, showing only the autumn peak. Microphytoplankton is the fraction that mainly contributes to the total abundance, however nanophytoplankton can also contribute largely to the abundance. Within the microphytoplankton group the associations are composed by a few dominant or subdominant species which proliferate locally or in large areas. The typical species in the warm season are the diatoms: *P. alata*, *C. asteromphalus*, *P. calcar avis*, *Rh. robusta*, *Ch. coarctatus*, *S. palmeriana*, *H. membranaceus*, *Rh. hyalina*, and *C. perforatus*. While in the cold season the typical species are: *Rh. imbricata*, *G. flaccida*, *Ch. compressus*, *C. pelagica*, *A. glacialis*, *Th. frauenfeldii*, and *Th. nitzschoides*. The water warming caused by El Niño 1982 - 1984 phenomenon provoked a drastic decay of the phytoplanktonic abundance from December 1982 to December 1983. The process of phytoplankton recovery was slow and was observed from 1985 on, being completed by 1986, year considered as cold. The proliferation of *P. Alata* was intensified due to El Niño event, when waters are warm and poor in nutrients. El Niño causes changes in the structure of the associations because the species richness and the specific diversity are decreased due to the dominance of a few species.

**Key words:** Microphytoplankton, Nanophytoplankton, Abundance, Interannual variation, El Niño, Magdalena Bay.

### INTRODUCCIÓN

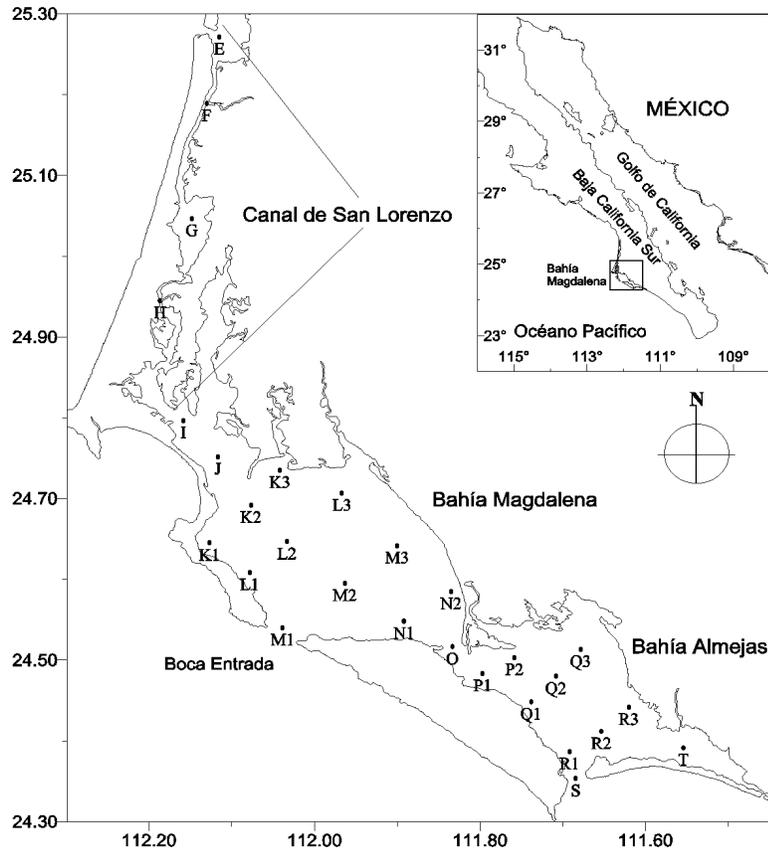
El Sistema Lagunar Magdalena-Almejas, es un Centro de Actividad Biológica (BAC) altamente productivo que depende del abastecimiento de nutrientes de las aguas oceánicas circundantes, donde las mareas determinan significativamente las variables físicas y químicas. No obstante, durante el refluo se aportan elevadas concentraciones de fitoplancton (clorofila *a*) hacia

el océano adyacente. Del fitoplancton, diatomeas y dinoflagelados forman parte importante de la dieta de las diferentes especies de sardina del Pacífico (Rojas-de-Mendiola, 1979; Kawasaky & Kumagai, 1984; Romero-Ibarra & Esquivel-Herrera, 1989). El Sistema Lagunar Magdalena-Almejas es la principal zona de captura de sardina (*Sardinops sagax* y *Opisthonema libertate*) en el Estado de Baja California Sur (Casas-Valdéz, 1983). Es por ello que los estudios del fitoplancton en Bahía Magdalena se han enfocado principalmente a determinar la estructura de las asociaciones microfitoroplanctónicas y la abundancia total y por fracciones de tamaño del nanofitoroplancton y microfitoroplancton. La distribución de tamaños de los productores primarios (<20 µm nanofitoroplancton, >20 µm microfitoroplancton) juega un papel importante en la estructura de las asociaciones y en la organización trófica de los ecosistemas marinos (Ryther, 1969).

Este trabajo aborda el estudio de la dinámica del fitoplancton en Bahía Magdalena-Almejas, con base en la composición específica de los principales grupos del microfitoroplancton y la abundancia de ambas fracciones de tamaño del fitoplancton, con el fin de analizar y eventualmente poder explicar sus variaciones anuales e interanuales. De acuerdo con lo anterior, esta síntesis se fundamenta también sobre el análisis de la estructura de las asociaciones del microfitoroplancton. Así, se describen dichas asociaciones de manera que sus variaciones se puedan interpretar de acuerdo con los cambios del medio, ya que las asociaciones se modifican notablemente de una estación a otra, por lo que su estructura aparentemente no es constante. Por otra parte, la presente síntesis integra las observaciones sobre los cambios en la abundancia fitoplanctónica total y fraccionada (cél/l) y la estructura de las asociaciones fitoplanctónicas, en condiciones previas al evento del El Niño 1982/1983, durante el evento, y en el periodo de relajamiento, refiriéndolo a condiciones inter El Niño. Nienhuis & Guerrero (1985; 1986) colectaron sus datos antes y durante el evento, mientras que Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998) abarcaron los periodos de relajamiento y condiciones que consideraron normales. En Magdalena-Almejas se manifestó El Niño desde el otoño de 1982 hasta finales de 1984 (Saldierna-Martínez *et al.*, 1987). Los cambios observados se discuten según la dinámica fitoplanctónica determinada para un periodo de diez años (1980-1989) y cubriendo una red de 28 estaciones (Fig. 1).

### Dinámica del fitoplancton

La dinámica fitoplanctónica en el Sistema Lagunar Magdalena-Almejas puede ser explicada con base en las variaciones anuales de temperatura, eventos de surgencia y corrientes de marea. En este BAC, la temperatura muestra un patrón de distribución de la temperatura superficial del agua con dos periodos: uno cálido, que comprende verano y otoño, y el otro frío, que comprende invierno y primavera (Saldierna-Martínez *et al.*, 1985; Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones, 1998). Sin embargo, los periodos (años) anómalos por influencia de eventos El Niño constituyen un factor que determina variaciones sobre una base casi regular en esta región en la dinámica del fitoplancton. Esta



**Figura 1.** Plan de estaciones de muestreo en el Sistema lagunar Magdalena-Almejas.

se manifiesta en términos de la composición específica de las asociaciones y su estructura, así como en la abundancia total y por fracciones del fitoplancton.

### **Composición específica y estructura de las asociaciones del microfitoplancton**

La composición taxonómica de las asociaciones del fitoplancton, la dominancia relativa de las diferentes especies y los grupos fitoplanctónicos en el periodo de estudio, no presentan cambios continuos y/o estacionales marcados. Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2000) han reportado para este sistema lagunar un total de 277 taxa con 173 especies de diatomeas, 92 de dinoflagelados, 7 silicoflagelados, 4 cianofitas, un coccolitofórido y una prasinofícea. En la Tabla 1 se presentan las especies del microfitoplancton que fueron dominantes en el Sistema lagunar Magdalena-Almejas durante el período 1982-1986. Las asociaciones de fitoplancton se caracterizan por presentar una

**Tabla 1.** Especies del microfitoplancton que fueron dominantes en el Sistema Lagunar Magdalena-Almejas durante 1980/1986.

MES-AÑO	Especies principales
SEP-1980	<i>Eucampia zodiacus</i> , <i>Nitzschia</i> sp, <i>Guinardia flaccida</i>
NOV-1980	<i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>G. flaccida</i> , <i>P. alata</i> , <i>Nitzschia</i> sp, <i>Rhizosolenia imbricata</i>
ENE-1981	<i>G. flaccida</i> , <i>Pseudosolenia calcar avis</i> , <i>Oscillatoria erythraeum</i>
MAR-1981	<i>Odontella mobiliensis</i> , <i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>G. flaccida</i>
MAY-1981	<i>G. flaccida</i> , <i>P. alata</i> , <i>E. zodiacus</i>
JUL-1981	<i>P. alata</i> , <i>G. flaccida</i> , <i>Chaetoceros curvisetus</i>
SEP-1981	<i>Pseudosolenia calcar avis</i> , <i>G. flaccida</i> , <i>P. alata</i>
FEB-1982	<i>Rh. imbricata</i> , <i>Hemiaulus sinensis</i> , <i>Ch. Curvisetus</i> , <i>G. flaccida</i>
MAR-1982	<i>Rh. imbricata</i> , <i>O. mobiliensis</i> , <i>P. alata</i> , <i>Leptocylindrus danicus</i>
ABR-1982	<i>Thalassiosira leptopus</i> , <i>Th. nitzschioides</i> , <i>Nitzschia pacifica</i> , <i>Corethron criophilum</i>
JUN-1982	<i>P. alata</i> , <i>Rhizosolenia imbricata</i> , <i>Eucampia zodiacus</i>
JUL-1982	<i>P. alata</i> , <i>Asterionella glacialis</i> , <i>Chaetoceros gracilis</i>
AGO-1982	<i>P. alata</i> , <i>G. flaccida</i> , <i>Pseudosolenia calcar avis</i>
SEP-1982	<i>Eucampia zodiacus</i> , <i>G. flaccida</i> , <i>Rh. imbricata</i>
NOV-1982	<i>Eucampia zodiacus</i> , <i>Leptocylindrus danicus</i> , <i>Rh. imbricata</i>
DIC-1982	<i>G. flaccida</i> , <i>Rh. robusta</i> , <i>Gyrosigma</i> sp, <i>Rh. imbricata</i> , <i>Noctiluca scintillans</i>
ENE-1983	<i>Rh. imbricata</i> , <i>G. flaccida</i> , <i>Cylindrotheca closterium</i> , <i>Rh. stouterfothii</i>
FEB-1983	<i>G. flaccida</i> , <i>Ch. curvisetus</i> , <i>Nitzschia</i> sp, <i>Chaetoceros compressus</i>
MAR-1983	<i>G. flaccida</i> , <i>Paralia sulcata</i> , <i>Gymnodinium</i> sp
MAY-1983	<i>Ch. curvisetus</i> , <i>P. alata</i> , <i>Pseudosolenia calcar avis</i>
JUN-1983	<i>P. alata</i> , <i>N. pacifica</i> , <i>G. flaccida</i> , <i>N. pseudodelicatissima</i> .
JUL-1983	<i>P. alata</i> , <i>Rh. imbricata</i> , <i>Leptocylindrus danicus</i> , <i>P. calcar avis</i>
AGO-1983	<i>P. alata</i> , <i>P. calcar avis</i> , <i>G. flaccida</i> , <i>Coscinodiscus asteromphalus</i>
SEP-1983	<i>P. alata</i> , <i>Coscinodiscus perforatus</i>
OCT-1983	<i>Chaetoceros compressus</i> , <i>P. alata</i> , <i>Paralia sulcata</i> .
DIC-1983	<i>L. danicus</i> , <i>P. alata</i> , <i>Ch. curvisetus</i> , <i>Coscinodiscus</i> sp.
ENE-1984	<i>G. flaccida</i> , <i>L. danicus</i> , <i>E. zodiacus</i> , <i>Paralia sulcata</i>
FEB-1984	<i>L. danicus</i> , <i>Ceratium fusus</i> , <i>Th. nitzschioides</i>
MAR-1984	<i>G. flaccida</i> , <i>Paralia sulcata</i> .
MAY-1984	<i>Ditylum brighwellii</i> , <i>Rh. imbricata</i>
JUN-1984	<i>C. radiatus</i> , <i>Ch. curvisetus</i> , <i>N. scintillans</i> , <i>C. asteromphalus</i>
JUL-1984	<i>P. alata</i> , <i>Chaetoceros curvisetus</i> .
AGO-1984	<i>P. alata</i> , <i>Pseudosolenia calcar avis</i> , <i>Ceratium fusus</i> .
SEP-1984	<i>P. alata</i> , <i>Stephanopyxis palmeriana</i> , <i>C. asteromphalus</i> , <i>Ch. compressus</i> , <i>O. erythraeum</i> , <i>Rh. robusta</i>
NOV-1984	<i>P. alata</i> , <i>Ditylum brighwellii</i> , <i>P. calcar avis</i> , <i>Rh. imbricata</i>
DIC-1984	<i>P. alata</i> , <i>P. calcar avis</i> , <i>Nitzschia pungens</i>
ENE-1985	<i>G. flaccida</i> , <i>Chaetoceros affinis</i> , <i>Paralia sulcata</i>
ABR-1985	<i>Eucampia zodiacus</i> , <i>G. flaccida</i> , <i>C. pelagica</i>
JUL-1985	<i>P. alata</i> , <i>Ch. curvisetus</i> , <i>Pseudosolenia calcar avis</i>
NOV-1985	<i>G. flaccida</i> , <i>P. alata</i> , <i>P. calcar avis</i> , <i>Odontella aurita</i>
ENE-1986	<i>P. calcar avis</i> , <i>G. flaccida</i> , <i>Rh. stouterfothii</i>
FEB-1986	<i>Ch. curvisetus</i> , <i>Rh. imbricata</i> , <i>O. erythraeum</i> , <i>H. sinensis</i>
ABR-1986	<i>Ch. curvisetus</i> , <i>Cerataulina pelagica</i> , <i>E. zodiacus</i> , <i>Ch. weisflogii</i>
JUN-1986	<i>Haslea warwickae</i> , <i>Th. rotula</i> , <i>P. sulcata</i> , <i>E. zodiacus</i> , <i>Rh. hyalina</i>
OCT-1986	<i>P. alata</i> , <i>Rh. imbricata</i> , <i>G. flaccida</i>

relativa sencillez estructural en la que una o pocas especies son dominantes, ya que en el periodo estudiado, sólo unas cuantas especies llegan a ser dominantes. Nuestros resultados muestran que son entre 22 y 27 especies las consideradas como responsables de la dinámica de las comunidades fitoplanctónicas en este Centro de Acción Biológica (Nienhuis & Guerrero, 1985; Verdugo-Díaz, 1993; Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones, 1998).

Las condiciones hidrográficas y la topografía del sistema lagunar, propician proliferaciones, ya sea de manera puntual (en pequeñas áreas) y en algunas ocasiones dominando una gran parte del área. Sin embargo, debido al método de muestreo resulta difícil determinar el tiempo de duración de los florecimientos. Las especies que presentan más de dos pulsos son euritolerantes, particularmente a la temperatura y a las concentraciones de nutrientes, por lo que se denominan especies diácmicas. *P. alata* fue la especie que presentó un mayor número de proliferaciones y su distribución espacial en el sistema lagunar fue irregular, ya que florece indistintamente en cualquier área. Esta especie tiende a ser ligeramente abundante cuando la temperatura del agua empieza a

aumentar y es capaz de proliferar en ambientes oligotróficos (Guillard & Kilham, 1977) con valores altos de abundancia.

La mayoría de las diatomeas centrales bentónicas y neríticas presentan esporas de resistencia, lo cual constituye el mecanismo principal para persistir en el plancton en condiciones adversas. Los géneros *Chaetoceros*, *Coscinodiscus*, *Paralia* y *Odontella* forman esporas y constituyen parte importante del fitoplancton en Magdalena-Almejas. Los dinoflagelados más frecuentes son *Noctiluca scintillans*, *Ceratium furca*, *C. fusus*, *Phyrophacus steinii*, *Diplopsalis* sp. y *Gymnodinium sanguineum*, siendo las dos primeras especies y la última, formadoras de mareas rojas. Otras especies formadoras de florecimientos algales nocivos fueron reportadas por Gárate-Lizárraga & Verdugo-Díaz (2000), en un listado taxonómico, son los dinoflagelados; *Dinophysis acuminata*, *D. caudata*, *D. fortii*, *Lingulodinium poliedricum* (= *Gonyaulax polygramma*) *Prorocentrum gracile*, *P. micans*, *P. triestinum*, *Scrippsiella trochoidea*, la cianofita *Trichodesmium erythraeum*, y la prasinoficea *Pyramimonas grossi*.

La forma más simple de expresar la variación de la estructura de las asociaciones es por medio de los índices de diversidad y dominancia (Margalef, 1977). En Magdalena-Almejas la variación de estos índices está muy relacionada con el patrón de circulación, el cual a su vez determina la distribución espacial del fitoplancton. Los valores bajos de diversidad y máximos de dominancia calculados para el área de estudio, están asociados con los florecimientos de las especies mencionadas, que ocurren a lo largo de todo el año. En lagunas costeras y áreas de afloramiento la diversidad suele ser baja debido a los florecimientos casi monoespecíficos, e indicó que se trata de asociaciones poco maduras. En años "normales", los períodos de temperatura definidos coinciden con valores de diversidad ( $H'$ ) menores de 3 en la temporada cálida, y mayores que 3 en la temporada fría. Los valores altos de diversidad se correlacionan mejor con bajas dominancias, aunque no necesariamente con la riqueza de especies. Los valores más altos de diversidad y de baja dominancia corresponden también con las áreas con influencia de agua oceánica, lo cual causa una mezcla de especies oceánicas y neríticas. Asimismo, la diversidad suele aumentar en zonas someras debido a la proximidad del fondo y la mezcla con diatomeas bentónicas (ticoplancton). Así, uno de los factores más importantes que regulan la conformación de la estructura de las asociaciones fitoplanctónicas en el Sistema Lagunar Magdalena-Almejas en años normales es la dinámica hidrológica.

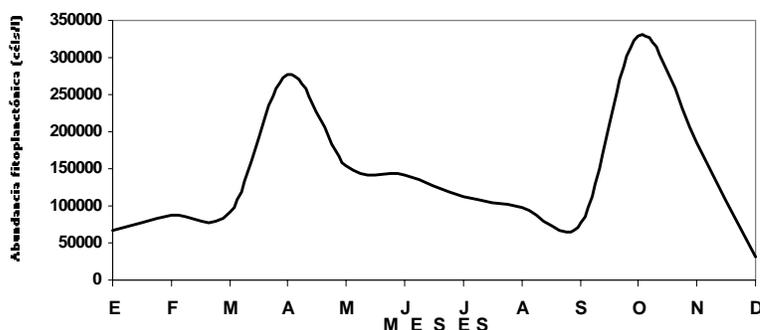
Por otra parte, los análisis de similitud que reportaron Nienhuis & Guerrero (1985), Gárate-Lizárraga (1992) & Verdugo-Díaz (1993) sugieren la formación de una o varias asociaciones dentro de cada muestreo, lo que refleja la típica distribución en forma de parches o manchones característica del fitoplancton (Platt & Denman, 1980). Estos pueden llegar a medir desde unos pocos metros hasta kilómetros. La presencia de varias asociaciones fitoplanctónicas, puede deberse a la influencia de agua oceánica a través de la boca, provocando una mezcla de especies oceánicas, lagunares y bentónicas (ticoplanctónicas).

## Abundancia fitoplanctónica

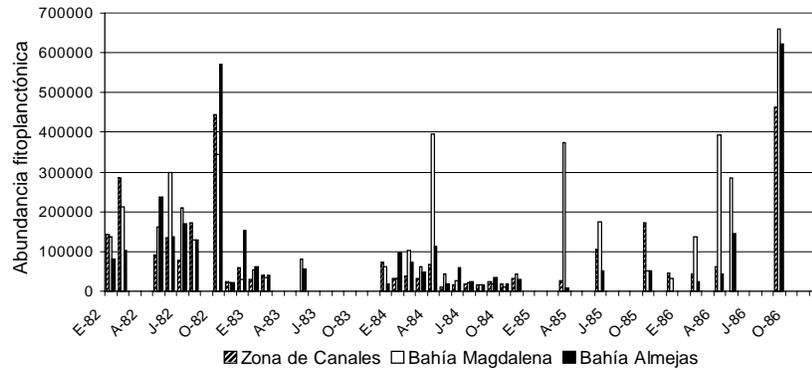
La variación anual de la abundancia fitoplanctónica para el Sistema lagunar Magdalena-Almejas, presenta un comportamiento similar al ciclo anual de producción reportado en lagunas costeras de regiones templadas (Robinson, 1970). Así, se registran dos picos de abundancia fitoplanctónica, uno en primavera y otro en otoño (Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones, 1998). El pico de primavera con más de 277,000 cél/l en promedio (Fig. 2), puede ser el resultado de eventos de surgencia que ocurren frente al sistema lagunar, las cuales son muy intensas entre marzo y junio (Bakun & Nelson, 1977). Las especies principalmente responsables de los florecimientos de primavera son *Rh. bergonii*, *Th. nitzschioides*, *D. fragilissimus*, *C. pelagica*, *Rh. imbricata*, *A. glacialis*, *E. zodiacus*, *C. pelagica*, *L. danicus* y *G. flaccida*.

El pico de otoño muestra concentraciones promedio de 330,000 cél/l (Fig. 2), que son más altas que en el pico de primavera. Estos picos pueden ser el resultado del rompimiento de la termoclina y por lo tanto una homogeneización de la columna de agua, dando como resultado el enriquecimiento de la columna de agua y la proliferación del fitoplancton. Los valores promedio pueden elevarse de manera importante durante ciertos períodos cortos (mensuales), principalmente cuando se incrementa el microfitoplancton, o bien en el fitoplancton (diatomeas pequeñas). Tales florecimientos se deben a la remoción de sedimentos y desprendimiento de diatomeas bentónicas, así como de nutrientes del fondo debido a las corrientes de marea; o a condiciones de surgencia observadas en el área durante estos meses. Las especies más conspicuas en otoño son *G. flaccida*, *Rh. imbricata*, *L. danicus*, *P. alata*, y *Rh. imbricata*.

Estos dos picos de abundancia fitoplanctónica son más característicos de Bahía Magdalena (Fig. 3), ya que en Bahía Almejas y en la Zona de Canales no son tan conspicuos o bien no se presentan los picos de primavera, manifestándose solamente el pico de otoño (Fig. 3). De las tres áreas que conforman dicho sistema lagunar, Bahía Magdalena es el área donde se registran las concentraciones más altas de fitoplancton, seguida de la Zona de Canales



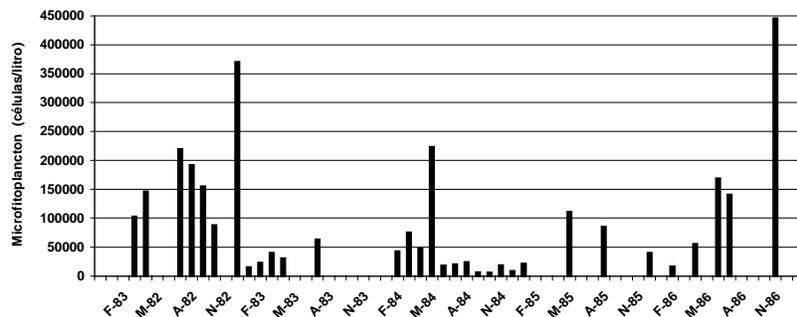
**Figura 2.** Ciclo anual de la abundancia fitoplanctónica en el Sistema lagunar Magdalena-Almejas.



**Figura 3.** Variación de la abundancia en las tres áreas del Sistema lagunar Magdalena-Almejas.

(Verdugo-Díaz, 1993; Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones, 1998). Para las tres áreas se presenta una caída drástica en la densidad del fitoplancton durante el verano, que puede deberse a un rápido aumento en la actividad trófica del zooplancton, cuya biomasa se incrementa después del florecimiento primaveral (Saldierna-Martínez *et al.*, 1987).

El microfitoplancton es la fracción que contribuye mayormente a la abundancia fitoplanctónica (Fig. 4) en el Sistema lagunar Magdalena-Almejas (Nienhuis & Guerrero, 1985; 1986; Verdugo-Díaz, 1993; Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones, 1998). Furuya *et al.*, (1985) mencionan que bajo condiciones de surgencia o enriquecimiento de la columna de agua, las diatomeas grandes crecen dos veces más rápido que las formas pequeñas, lo cual favorece una mayor abundancia del microfitoplancton. A este respecto (Verdugo-Díaz, 1993) encontró que la curva de abundancia del microfitoplancton para el ciclo 1988/1989, presentó una correspondencia con la curva de los índices de surgencia, registrando ambas curvas, picos máximos para



**Figura 4.** Variación de la abundancia del microfitoplancton en el Sistema lagunar Magdalena-Almejas

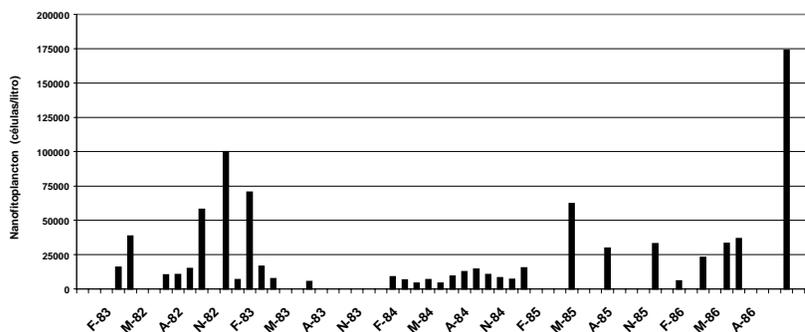
el mes de mayo de 1989, coincidiendo con lo ya reportado por Nienhuis & Guerrero (1985, 1986), y Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones (1998).

Los taxa que constituyen el nanofitoplancton son especies que proliferan y forman grandes cadenas como *E. zodiacus* (15-60 m), *G. flaccida* (30-50 m), *Ch. curvisetus* (15-30 m), *Ch. compressus* (10-26 m), *P. alata*, (200-1000 m) y *Rh. stolterfothii* (10-30 m), las cuales contribuyen grandemente a la biomasa fitoplanctónica. Las especies grandes que no forman cadenas, como *N. scintillans*, *C. furca*, *C. fusus*, *C. dens*, *P. steinii*, *C. asteromphalus* y *C. perforatus*, tienen una contribución importante a la biomasa.

En la Figura 5 se observa que el nanofitoplancton también suele ser dominante (Nienhuis & Guerrero, 1985; Gárate-Lizárraga, 1992; Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones, 1998). Los grupos taxonómicos que conforman esta fracción menor de 20 son los coccolitofóridos, las prasinoficeas, dinoflagelados y pequeñas diatomeas naviculoides. Por otra parte, Verdugo-Díaz (1993) también observó que para el período 1988/89 se presentó una mayor contribución del nanofitoplancton a la abundancia fitoplanctónica, la cual pudo responder a no sólo a condiciones oligotróficas del medio, donde pequeños flagelados que presentan una mayor velocidad de reproducción y mayor capacidad de utilizar los nutrientes existentes, lo cual les permite proliferar y llegar a ser dominantes. Harris (1983) señaló que después de algún disturbio ambiental (tal como el calentamiento del agua), las poblaciones que se recuperan más rápidamente son las de menor tamaño, ya que en su curva de crecimiento, la fase de adaptación es más corta, que la que presenta el microfitoplancton.

### Años anómalos; influencia de El Niño 1982/83 sobre la dinámica fitoplanctónica

Para finales de 1982 y principios de 1983, anomalías positivas del nivel del mar se detectaron a lo largo de la costa sur de México y a través del Golfo de California (Robles-Pacheco & Christensen, 1984). Este evento se identificó por la disminución de la influencia de la Corriente de California y el avance hacia el norte de masas de agua de origen tropical (Fielder, 1984). En el sistema

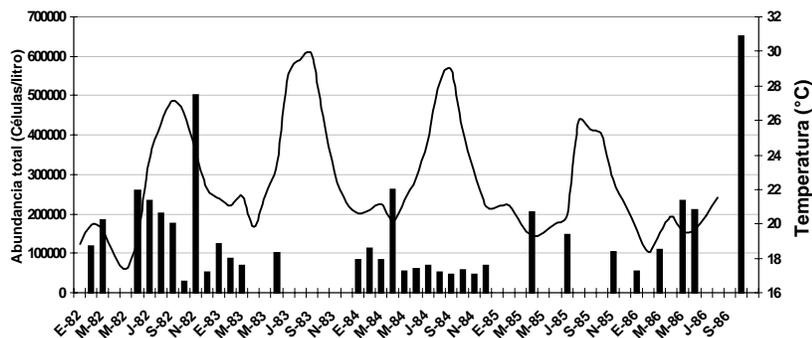


**Figura 5.** Variación de la abundancia del nanofitoplancton en el Sistema lagunar Magdalena-Almejas.

lagunar, el calentamiento se presentó desde el otoño de 1982 hasta diciembre de 1984, con anomalías de casi  $+4^{\circ}\text{C}$  (Palomares-García & Gómez-Gutiérrez, 1996). Este calentamiento presentó una gran influencia sobre la abundancia fitoplanctónica en este sistema lagunar, ya que los valores promedio disminuyeron drásticamente desde diciembre de 1982 hasta diciembre de 1984, por abajo de las 100,000 céls/l (Fig. 6).

Bajo condiciones El Niño, se favorecen las proliferaciones mono-específicas, principalmente de *P. alata*, lo cual se refleja en valores más bajos de diversidad, debido a una baja riqueza de especies. Por otra parte, dinoflagelados como *C. macroceros* v. *gallicum*, *C. carriense*, *C. declinatum*, *C. eucaratum*, *C. hexacanthum*, *C. massiliense*, *C. ranipes* y *C. vultur*, son formas oligotróficas y tropicales, las cuales son evidencias de la presencia de El Niño durante 1983 y 1984 (y de la Corriente de Costa Rica en años normales). A pesar de las condiciones El Niño, los dinoflagelados nunca fueron más abundantes, ni desplazaron por completo a las diatomeas, presentándose sólo proliferaciones aisladas de *N. scintillans*, *C. fusus*, *C. furca* y *P. steinii*.

A partir de 1985 las concentraciones fitoplanctónicas se fueron incrementando gradualmente hasta registrar valores promedio de abundancia más altos que para 1984 y dentro del rango normal de valores registrados para 1980-1982, años considerados normales para estas latitudes; para 1986, también se registraron altas concentraciones de fitoplancton. La recuperación del fitoplancton en Magdalena-Almejas no fue inmediata como la reportada por Barber *et al.* (1983) para las costas de Perú, donde para el final del evento El Niño 1982/83, el ambiente de afloramiento costero y la productividad del fitoplancton se había recuperado totalmente. En Bahía Magdalena, el proceso de recuperación del sistema fue lento, pero para octubre de 1986 (año frío) se registraron valores muy altos de abundancia fitoplanctónica, los cuales no se habían reportado en años anteriores para todo el BAC.



**Figura 6.** Variación de la temperatura superficial y la abundancia del fitoplancton en el Sistema lagunar Magdalena-Almejas (1982-1986).

## CONCLUSIONES

Las siguientes conclusiones se presentan como una propuesta o hipótesis acerca de la dinámica fitoplanctónica en el Sistema Lagunar Magdalena-Almejas y los factores que la determinan, de acuerdo con la síntesis previa basada en las investigaciones integradas y revisadas. La abundancia fitoplanctónica presenta dos picos de producción, uno en primavera y el otro en otoño. De las tres áreas que conforman dicho sistema lagunar, Bahía Magdalena es el área donde se registran las concentraciones más altas de fitoplancton. El microfitoplancton es la fracción que mayormente contribuye a la abundancia total, aún cuando el nanofitoplancton puede también contribuir de manera importante a la abundancia. Las asociaciones del microfitoplancton están constituidas por unas cuantas especies dominantes, las cuales proliferan de manera puntual o en grandes áreas. Las especies características de la temporada cálida son *P. alata*, *C. asteromphalus*, *P. calcar avis* y *Rh. robusta*, *Ch. coarctatus*, *S. palmeriana*, *H. membranaceus*, *Rh. hyalina* y *C. perforatus*, mientras que las especies características de la temporada fría son *Rh. imbricata* y *G. flaccida*, *Ch. compressus*, *C. pelagica*, *A. glacialis*, *Th. frauenfeldii* y *Th. nitzschiioides*. El calentamiento del agua ocasionado por El Niño 1982/1983, provocó una caída drástica de la abundancia fitoplanctónica de diciembre de 1982 a diciembre de 1984. El proceso de recuperación del fitoplancton fue lento y se observó a partir de 1985, habiéndose completado para 1986. Las proliferaciones de *P. alata* se intensifican debido a este fenómeno, cuando las aguas son cálidas y pobres en nutrientes. El Niño provoca cambios en la estructura de las asociaciones, ya que la riqueza de especies y la diversidad específica se ven disminuidas debido a la dominancia de unas cuantas especies.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez-Borrego, S., L.A. Galindo-Bect & B. Chee-Barragán. 1975. Características hidroquímicas de Bahía Magdalena, B.C.S., México. Ciencias Marinas, 2(2): 94-110.
- Bakun, A. & C.S. Nelson. 1977. Climatology of upwelling related processes off Baja California. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep., 19:107-127.
- Briggs, J.C. 1974. Marine zoogeography. McGraw-Hill, New York, 476 p.
- Casas-Valdéz, M.M. 1983. Distribución en tiempo y espacio de las especies de sardina y macarela en Bahía Magdalena, B.C.S. México. Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN, México. 168 p.
- Fielder, P.C. 1984. Satellite observations of the 1982-83 El Niño along the U.S. Pacific coast. Science, 224:1251-1254.
- Furuya, K., M. Takahashi & T. Nemoto. 1986. Summer phytoplankton community structure and growth in a regional upwelling area off Hachijo Island, Japan. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 96:43-55.
- Gárate-Lizárraga, I. 1992. Variación espacio-temporal de la abundancia

- fitoplanctónica y de la estructura de las asociaciones microfitoplanctónicas en el Sistema Laguna Magdalena-Almejas, durante 1984-1986. Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN, México, 84 pp.
- Gárate-Lizárraga, I. & D.A. Siqueiros-Beltrones. 1998. Time variation in phytoplankton assemblages in a subtropical lagoon system after the 1982-1983 "El Niño" event (1984-1986). Pacific Science, 52 (1): 79-97.
- Gárate-Lizárraga, I. & G. Verdugo-Díaz. 2000. Checklist of marine phytoplankton in a subtropical lagoon system in Baja California Sur, México from 1980 to 1989, 31:267-280. En: Rushton, B.S., P. Hackney & C. Tyrie (Eds.). Biological Collections and Biodiversity.
- Guillard, R.R. & P. Kilman. 1977. The Ecology of Marine Planktonic diatoms, 372-469. En: Werner, D. (Ed.). The Biology of diatoms. Univ. Calif. Press.
- Harris, G.P. 1983. Mixer layer physic and phytoplankton populations: studies in equilibrium and non-equilibrium, 1-55. En: Round, F.E. & D. Chapman (Eds.). Ecology Progress Resources.
- Kawasaki, T. & A. Kumagi. 1984. Foods habits of the far eastern sardine and their implication in the fluctuation pattern of the sardine stocks. Bull. Japan. Soc. Scient. Fish., 50:1657-1663.
- Malone, T.C. 1980. Algal size, 433-463. En: Morris, T. (Ed.). The physiological ecology of phytoplankton. Blackwell Scient. Publ.
- Margalef, R. 1977. Ecología. Ed. Omega, Barcelona, España, 951 p.
- Nienhuis, H. & R. Guerrero. 1985. A qualitative analysis of the annual phytoplankton cycle of the Magdalena Complex (México). Journal of Plankton. Research., 7(4): 427-441.
- Nienhuis, H. & R. Guerrero. 1986. Biomasa y distribución del fitoplancton entre 1980 y 1984 en Bahía Magdalena Baja California Sur, México. Atlas del CICIMAR/I.P.N. No. 5. 63 p.
- Palomares-García, & J. Gómez-Gutiérrez. 1996. Copepod community structure at Bahía Magdalena, México during 1983-1984. Estuarine Coastal and Shelf Science. 43:1-13.
- Platt, T. & K. Denman. 1980. Patchiness in the phytoplankton distribution, 413-431. En: Morris, I. (Ed.). The physiological ecology of phytoplankton. Blackwell Scient. Publ p.
- Robinson, G.A. 1970. Continuous plankton records; variation in the seasonal cycle of phytoplankton in the North Atlantic. Bulletin of Marine Ecology 6:333-345.
- Robles-Pacheco, J.M. & N. Christensen. 1984. Effects on the 1982-83 in the Gulf of California. Transactions of the American Geophysical Union. 2: 52-1039.
- Rojas-de-Mendiola, B. 1979. Some observations on the feeding of the Peruvian

- anchovy (*Engraulis ringens* J.) in two regions of the Peruvian Coast. Inst. del Mar, Lima, Perú. 417-440.
- Romero-Ibarra, N. & A. Esquivel-Herrera. 1989. Análisis del contenido gástrico de adultos de *Opisthonema libertate*, y su comparación con el medio circundante. Investigaciones Marinas. CICIMAR. 4(2): 267-279.
- Ryther, J.H. 1969. Photosynthesis and fish production in the sea. Science. 166:72-76.
- Saldierna-Martínez, R., C. Sánchez-Ortíz & R. Vera-Alejandre. 1987. Estudios sobre los primeros estadios de vida de las sardinas Monterrey, *Sardinops sagax* y *Opisthonema libertate*, en Bahía Magdalena, B.C.S. I) Descripción de huevos; II) Distribución y abundancia de huevos y larvas; III) Mortalidad larval. Tesis profesional. Depto. Biología Marina, Universidad. Autónoma de Baja California Sur. 127 p.
- Svedrup, H.U., M.W. Jonson & R.H. Flemming. 1942. The Oceans. Their physics, chemistry and general biology. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J. 1087 p.
- Verdugo-Díaz, G. 1993. Estructura de las asociaciones microfitoplanctónicas, abundancia numérica total y fraccionada durante un ciclo anual (1988-1989) en el Sistema Lagunar Magdalena-Almejas, B.C.S. Tesis de Licenciatura, Univ. Autón. de B.C.S. México 66 pp.

# 11

## FLORA FICOLÓGICA DEL BAC DE PUNTA EUGENIA

*Margarita Casas-Valdez*

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del IPN. Apartado Postal 592, La Paz, 23000, Baja California Sur, México. E-mail: mcasas@redipn.ipn.mx

### RESUMEN

El BAC de Punta Eugenia se caracteriza por presentar una gran riqueza específica de algas y una gran abundancia. Su flora está representada típicamente por los bosques de *Macrocystis pyrifera*, cuyos componentes más conspicuos son: *Eisenia arborea*, *Gelidium robustum*, *Cystoseira osmundacea*, *Halydris dioica*, *Egregia menziensis* y *Pelagophycus porra*, así como algas coralinas en sus formas articuladas y costrosas. Destacan por su abundancia *Macrocystis pyrifera* y *Gelidium robustum*, ambas especies de gran importancia económica porque de ellas se extraen alginatos y agar, ficocoloides de alto valor en el mercado. Es evidente la alta productividad primaria de esta zona, representada por las macroalgas, la cual se mantiene durante todo el año pues muestra una variación estacional poco conspicua. Esta alta productividad es la que da soporte para la presencia de abundantes poblaciones de otros elementos de la cadena trófica. La flora ficológica en esta zona es relevante ya que está asociada a recursos de alto valor económico como el abulón, la langosta y el caracol.

**Palabras clave:** BAC, Punta Eugenia, Algas, *Macrocystis*, *Gelidium*.

### ABSTRACT

The BAC of Point Eugenia is characterized by having a high specific richness of algae with large abundance. Its flora is represented typically by the *Macrocystis pyrifera* forests, whose more conspicuous components are: *Eisenia arborea*, *Gelidium robustum*, *Cystoseira osmundacea*, *Halydris dioica*, *Egregia menziensis*, and *Pelagophycus porra*, as well as coralline algae in their articulate and crust forms. Outstand by their abundance *Macrocystis pyrifera* and *Gelidium robustum*, both species of great economic importance because alginate and agar are extracted from them, phycocolloids of high value on the market. The high primary productivity, represented by the macroalgae, in this

area is evident and is maintained all year long because the seasonal variation is not conspicuous. This high productivity is the support of the presence of abundant populations of other elements of the trophic web. The phycological flora in this area is relevant because is associated to resources of high economical value, like abalone, lobster, and conch.

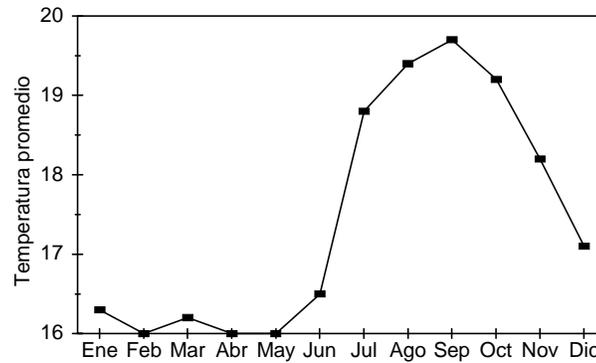
**Key words:** BAC, Point Eugenia, Algae, *Macrocystis*, *Gelidium*.

La flora ficológica del BAC de Punta Eugenia, zona comprendida entre el norte de Punta Eugenia (Chester Rock) y Bahía Asunción, se caracteriza por presentar una gran riqueza específica de algas y una gran abundancia. Su flora exuberante y variada está representada típicamente por los bosques de *Macrocystis pyrifera*, cuyos componentes más conspicuos son: *Eisenia arborea*, *Cystoseira osmundacea*, *Halydris dioica*, *Egregia menziensis* y *Pelagophycus porra*, destaca también la presencia de *Gelidium robustum* que crece en forma abundante, asimismo, algas de la familia Corallinaceae en sus formas articuladas y costrosas que forman un tapete en la base de los mantos. En áreas con fondos de arena se desarrollan praderas de *Phyllospadix* sp. Esta flora es típicamente templada (Casas *et al.*, en prensa).

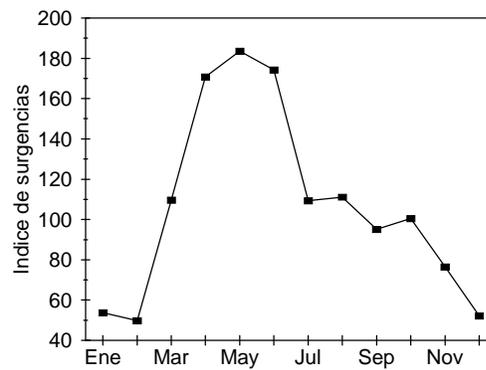
Esta riqueza de especies y abundancia se explica por las condiciones físico químicas prevalecientes en dicha costa. Estas están determinadas por la interacción de dos grandes sistemas oceánicos: el de la Corriente de California de origen subártico, y el de la Corriente Norecuatorial, con aguas cálidas de origen tropical; las cuales al mezclarse producen una zona de transición templado-tropical en la costa occidental de la península de Baja California (Hernández-Vazquez *et al.*, 1991). Otra característica ambiental importante es la presencia de un sistema de surgencias en esta costa, que genera un aporte de nutrientes, dando por resultado niveles de alta productividad en la zona (Huyer 1983). Asimismo, esta zona se caracteriza por presentar grandes extensiones de fondos rocosos, pedregosos, de cantos rodados y lajas, substrato ideal para el crecimiento de las algas.

Al respecto, el patrón mensual de la temperatura superficial del agua de la zona, obtenido con datos de 1989 a 1996, muestra que ésta varía de 16 a 19.7 °C a lo largo del año, con un valor promedio de 17.4 °C, una variación estacional pequeña, (diferencia entre máxima y mínima promedio de 3.7 °C) (Fig. 1). Las surgencias son fuertes durante todo el año, especialmente en primavera, con un valor promedio anual de 107 m<sup>3</sup>/seg<sup>-1</sup> (Fig. 2) (Casas *et al.*, en prensa).

Hay algunas diferencias en la composición de los mantos de *Macrocystis pyrifera* de Bahía Asunción comparados con los de Bahía Tortugas, por ejemplo *Laminaria farlowii*, común en los mantos de Bahía Tortugas, no se encuentra en Bahía Asunción (Casas *et al.*, en prensa). En verano, en Bahía Asunción, se desarrollan especies típicas de aguas cálidas como: *Hypnea panosa*, *H. variabilis*, *Champia parvula*, *Centroceras clavulatum*, *Ceramium flaccidum*, *C. zacaе*, *Polysiphonia simplex*, *Colpomenia sinuosa* y *Chladophora*



**Figura 1.** Patrón mensual de la temperatura superficial del mar, en la zona del BAC de Punta Eugenia (promedio de 1989-1996).



**Figura 2.** Patrón mensual de los índices de surgencia, en la zona del BAC de Punta Eugenia (promedio de 1989-1996).

*microcladioides* (Mendoza-González & Mateo-Cid, 1985). Esto se debe a que Bahía Asunción es un área típica de la zona de transición templado-tropical.

Algunas de las especies que Mendoza-González & Mateo-Cid (1985) reportan para esta zona son:

Rhodophyta	Phaeophyta	Chlorophyta
<i>Acrosorium uncinatum</i>	<i>Macrocystis pyrifera</i>	<i>Chaetomorpha spiralis</i>
<i>Amphiroa mexicana</i>	<i>Dictyota flabellata</i>	<i>Cladophora columbiana</i>
<i>Bosiella orbigniana</i>	<i>Dictyopteria undulata</i>	<i>Cl. microcladioides</i>
<i>Chondria californica</i>	<i>Ectocarpus parvus</i>	<i>Cl. sericea</i>
<i>Corallina vancouveriensis</i>	<i>Egregia menziesii</i>	<i>Ulva californica</i>
<i>Gelidium robustum</i>	<i>Eisenia arborea</i>	<i>U. rigida</i>
<i>G. coulteri</i>	<i>Halydris dioica</i>	<i>Codium cuneatum</i>

<i>G. johnstonii</i>	<i>Hydroclathrus clathratus</i>	<i>C. fragile</i>
<i>Gelidiella hancockii</i>	<i>Laminaria farlowii</i>	<i>C. magnum</i>
<i>Gracilaria cerrosiana</i>	<i>Cystoseira osmundacea</i>	<i>E. acanthophora</i>
<i>G. textorii</i>	<i>Pachydictyon coriaceum</i>	<i>E. compressa</i>
<i>Herposiphonia secunda</i>	<i>Padina durvillaei</i>	<i>E. clathrata</i>
<i>H. tenella</i>	<i>Sargassum johnstonii</i>	<i>Halimeda cuneata</i>
<i>Laurencia hancockii</i>	<i>S. muticum</i>	
<i>L. pacifica</i>	<i>Seytosiphon doty</i>	
<i>Lithophyllum samoense</i>	<i>Zonaria farlowii</i>	
<i>Lithothamnion pacificum</i>	<i>Pelagophycus porra</i>	
<i>Prionitis australis</i>	<i>Hasperophycus harveyanus</i>	
<i>Pterocladia capillacea</i>		
<i>Rhodymenia pacifica</i>		

Respecto a la abundancia de las algas en esta área, en 1996-1997 se llevó a cabo un estudio en la zona de Punta Eugenia a Bahía Tortugas para determinar la variación estacional de su biomasa, para lo cual se utilizó un muestreo estratificado al azar en tres localidades representativas de la zona. Los resultados obtenidos indican que, de 136 especies diferentes identificadas, las que presentaron mayores valores de biomasa ( $\text{kg/m}^{-2}$ ) en orden de importancia fueron: *Macrocystis pyrifera* ( $20 \text{ kg/m}^{-2}$ ), *Eisenia arborea* ( $3 \text{ kg/m}^{-2}$ ), *Gelidium robustum* ( $990 \text{ g/m}^2$ ), *Coralina vancouveriensis* ( $320 \text{ g/m}^2$ ), *Bossiella orbigniana* ( $230 \text{ g/m}^2$ ), *Plocamium cartilagineum* ( $190 \text{ g/m}^2$ ), *Gracilaria cerrosiana* ( $110 \text{ g/m}^2$ ), *Prionitis cornea* ( $72 \text{ g/m}^2$ ), *P. filiformis* ( $70 \text{ g/m}^2$ ), *P. australis* ( $68 \text{ g/m}^2$ ), *P. cartilagineum* ( $30 \text{ g/m}^2$ ), *Cystoseira osmundacea* ( $62 \text{ g/m}^2$ ), *Haliptylon gracile* ( $25 \text{ g/m}^2$ ), *Laurencia subopposita* ( $37 \text{ g/m}^2$ ), *Gymnogongrus platyphylus* ( $25 \text{ g/m}^2$ ), *Asparagopsis taxiformis* ( $20 \text{ g/m}^2$ ), *Corallina officinalis* ( $15 \text{ g/m}^2$ ) y *Chondrachantus canaliculatus* ( $7 \text{ g/m}^2$ ) (Casas et al., 1998). Los valores de biomasa encontrados en esta área, particularmente los de *Macrocystis pyrifera*, son sumamente altos y no se encuentran en ninguna otra especie en las costas de nuestro país.

Evidentemente destacan por su abundancia *Macrocystis pyrifera* y *Gelidium robustum*, ambas especies de gran importancia económica porque de ellas se extraen alginatos y agar, ficocoloides de alto valor en el mercado.

*Macrocystis pyrifera* es una planta muy grande, puede llegar a medir hasta 30 m, con una morfología compleja, presenta un ciclo de vida que incluye alternancia de generaciones con un esporofito macroscópico que puede vivir varios años y un gametofito microscópico que solo sobrevive algunos días. El período de vida de las frondas es de aproximadamente seis meses, pero en muchas ocasiones puede ser menor por el deterioro ocasionado por tormentas, ramoneo o condiciones anómalas de temperatura. Una planta completa puede tener un período de vida de unos meses a varios años. Habita en zonas rocosas, está adaptada al fuerte movimiento del agua, debido a lo cual aprovecha los beneficios de los altos niveles de difusión turbulenta, así como las surgencias

costeras; esto les permite lograr altos niveles de nutrientes, fotosíntesis, crecimiento y productividad.

Las tasas de crecimiento de *M. pyrifera* encontradas en Bahía Tortugas, B.C.S., varían de 12.8 cm/día<sup>-1</sup> en verano hasta un máximo de 20.8 cm/día<sup>-1</sup> en invierno; mientras que en un manto sujeto a cosecha experimental en la misma localidad, fluctúa de 14.7 cm/día<sup>-1</sup> en primavera a 23.3 cm/día<sup>-1</sup> en invierno. La regeneración de la biomasa en mantos cosechados experimentalmente cada tres meses, es mayor al 70% y se estima que en cuatro meses puede ser del 100% (Hernández-Carmona, 1996).

Los mantos de *Macrocystis* comunes con los de California y Baja California (Dawson, 1960), son fuertemente afectados por la temperatura. Cuando se presentan los fenómenos El Niño, y como consecuencia la temperatura del agua se eleva considerablemente, los mantos desaparecen totalmente a lo largo de su distribución, desde Santa Bárbara, U.S.A, hasta Punta San Hipólito, B.C.S., esto ha sido observado durante los años 1983 y 1998. Asimismo, se observó una disminución en la biomasa de las algas asociadas a estos mantos, pero éstas no desaparecen.

Esta especie aun no esta sujeta a explotación en la zona, pero se han realizado evaluaciones, estimándose un potencial cosechable (la parte del dosel comprendida desde la superficie y hasta 1.20 m de profundidad) de 64 500 toneladas (peso húmedo), en el verano de 1982; y en un ciclo estacional realizado en 1986 se estimaron 21 400 t para invierno, 41 500 t para primavera y 34 400 t en verano (Hernández-Carmona *et al.*, 1991).

El 60% de la biomasa de esta alga está representada por el dosel superficial (North, 1968) y cerca del 95% de su producción se da en el primer metro superior de la columna de agua (Towle & Pearse, 1973). Dado que la cosecha se efectúa en la columna de agua, de la superficie hasta 1.20 m de profundidad, no se dañan las láminas reproductivas, ni los meristemos de las frondas juveniles que producen la nueva biomasa (ya que éstos se encuentran en la base del alga) por lo que este recurso puede explotarse comercialmente sin dañar el ecosistema.

El otro recurso, *Gelidium robustum*, es una planta erecta, de color rojo vino con ejes inferiores no ramificados. La parte superior presenta una ramificación lateral, pinada, plana y de contorno piramidal. Su altura promedio es de 31 a 37 cm, aunque pueden encontrarse ejemplares hasta de un metro. Habita en fondos rocosos con oleaje de gran intensidad y continuo movimiento, donde forma mantos densos en hábitats sombreados (Guzmán-del-Proo *et al.*, 1986).

El ciclo de vida de esta especie consta de tres generaciones: la gametofítica, que produce los óvulos y espermatíes; ésta da origen a la generación carposporofítica que se desarrolla en la propia planta que la origina (gametofito) que produce las carposporas; las cuales a su vez dan origen a la generación tetrasporofítica. Las generaciones gametofítica y tetrasporofítica son macroscópicas. Las estructuras reproductoras se presentan durante todo el año, siendo las plantas tetraspóricas considerablemente más abundantes que las carpospóricas a lo largo del año (Barilotti & Silverthorne, 1972). La reproducción vegetativa por clones está muy extendida en esta especie y este

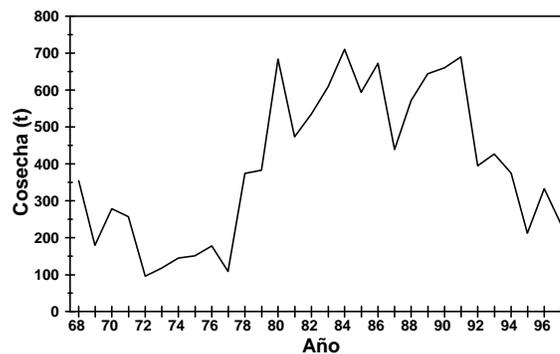
tipo de reproducción juega un papel muy importante en la regeneración de los bancos después de la cosecha. Su tasa de crecimiento es muy baja, de 17 cm/año (Guzmán-del-Proo *et al.*, 1986).

Esta especie se cosecha comercialmente en la zona desde los años 50; su extracción se hace mediante buceo con equipo Hooka. La cosecha que se extrae de la zona del BAC de Punta Eugenia representa el 50% de la producción nacional. En la Figura 3 se observa que la producción en esta zona presentó una tendencia ascendente desde 1972 a 1991. De 1968 a 1977 las capturas fluctuaron entre 9 y 236 toneladas (131 t promedio anual); mientras que en el período comprendido de 1978 a 1991 la captura anual promedio fue de 547 t, lo que significó un incremento del 76% con un máximo de 690 t en 1984; de 1992 a 1996 se observa una reducción en las capturas (Casas & Hernández, 1996).

Casas y Fajardo (1990) dividieron la zona de explotación de *Gelidium* del BAC de Punta Eugenia en 6 zonas: Zona 1, comprende Isla Natividad; Zona 2, Chester Rock; Zona 3, de Punta Eugenia a Bahía Tortugas; Zona 4, de Puerto Escondido a Punta San Pablo; Zona 5, de Punta San Pablo a Bahía Asunción; y Zona 6, Punta Prieta. Considerando la producción de 1968 a 1994, los porcentajes del volumen cosechado por zona son: 10.7%, 6.2%, 65.2%, 10.2%, 6.9% y 0.8%, respectivamente.

Destaca la alta producción de la zona comprendida de Punta Eugenia a Bahía Tortugas, esto se debe a que en esta zona es donde se han encontrado altos valores de biomasa disponible de *Gelidium* ( $\text{kg/m}^2$ ), los cuales sólo son superados por los de Isla Cedros ( $1.2 - 12.4 \text{ kg/m}^2$ ) en la península de Baja California, como lo señalan Salgado & Uribe (1991).

Es evidente la alta productividad primaria de esta zona, representada por las macroalgas, la cual se mantiene durante todo el año pues muestra una variación estacional poco conspicua. Esta alta productividad es la que da soporte para la presencia de abundantes poblaciones de otros elementos de la cadena trófica.



**Figura 3.** Producción de *Gelidium robustum* (peso seco) en Baja California Sur de 1968 a 1997.

La flora ficológica en esta zona es relevante ya que está asociada a recursos de alto valor económico como el abulón, la langosta y el caracol. Estas algas juegan un papel importante en el ciclo de vida de dichas especies, a través de las distintas relaciones interespecíficas (refugio, alimentación, reproducción, depredación, etc.), de manera que las variaciones en la abundancia de la flora afectan la abundancia de estos recursos bentónicos, particularmente del abulón ya que son su alimento.

## BIBLIOGRAFÍA

- Barilotti, C.D. & W. Silverthone. 1972. A resource management study of *Gelidium robustum*. Proc. Seventh Int. Seaweed Symp., 255-261.
- Casas-Valdez, M. & C. Fajardo-León. 1990. Análisis preliminar de la explotación de *Gelidium robustum* (Gardner) Hollenberg y Abbott en Baja California Sur, México. Inv. Mar. CICIMAR, 5(1):83-86.
- Casas-Valdez, M. & C. Hernández-Guerrero. 1996. Pesquería de *Gelidium robustum*, 419-429. En: Casas-Valdez, M. & G. Ponce-Díaz (Eds.). Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur. Vol. II. SEMARNAP, Gobierno del estado de Baja California Sur, FAO, UABCS, CIBNOR, CICIMAR, Instituto Nacional de la Pesca y CETMAR, 611 p.
- Casas-Valdez, M., A. Abitia-Cárdenas, F. Galván-Magaña, R. Núñez-López, M. B. Cruz-Ayala, C. Hernández-Guerrero & F. Gutiérrez-Sánchez. 1998. Informe técnico final del proyecto ictiofauna y ficoflora de la reserva de la biosfera de El Vizcaíno, Baja California Sur, México. Fase II: Punta Eugenia-Bahía Tortugas, Clave DEPI-966851, 80 p.
- Casas-Valdez, M., R. Núñez-López, M.B. Cruz-Ayala, I. Sánchez-Rodríguez, R. Vazquez-Borja & G.E. López. 2000. Biodiversity and biogeographic affinities of the phycoflora of coastal Baja California Sur: A syntesis of the literature, 273-282. En: Munawar M., S. Lawrence, I. F. Munawar & D. Malley (Eds.). Ecovision Monograph Series. Backhuys Publishers b.v. Netherlands (en prensa).
- Dawson, E.Y. 1960. A review of the ecology, distribution and affinities of the benthic flora. En: The biogeography of Baja California and adjacent seas. Part. II, Marine Biotas. Systematic Zoology, 9:93-100.
- Guzmán-del-Proo, S., M. Casas-Valdez, A. Díaz, M.L. Díaz, J. Pineda & M.E. Sánchez. 1986. Diagnóstico sobre las investigaciones y explotación de las algas marinas en México. Inv. Mar. CICIMAR, 3 (2):63 pp.
- Hernández-Carmona, G. 1996. Tasas de elongación de frondas de *Macrocystis pyrifera* (J. Ag.) en Bahía Tortugas, B.C.S., México. Ciencias Marinas, 22(1):57-72.
- Hernández-Carmona, G., Y.E. Rodríguez-Montesinos, M. Casas-Valdez, M.A. Vilchis & I. Sánchez-Rodríguez. 1991. Evaluación de los mantos de *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyta, Laminariales) en la Península de Baja

- California, México. III. Verano de 1986 y variación estacional. Ciencias Marinas, 17(4):121-145.
- Hernández-Vázquez, S., D. Lluch-Belda, D.B. Lluch-Cota & C.A. Salinas-Zavala. 1991. Marco ambiental de la costa occidental de la Península de Baja California, México. En: Taller Internacional MÉXICO-AUSTRALIA sobre reclutamiento de recursos marinos bentónicos de la península de Baja California. ENCB-IPN, CICIMAR-IPN, La Paz, B.C.S., 25-29 de noviembre de 1991.
- Huyer, A. 1983. Coastal upwelling in California Current System. Pergamon Press Ltd. 12:259-284.
- Mendoza-González, C. & L.E. Mateo-Cid. 1985. Contribución al estudio florístico de la costa occidental de Baja California, México. Phycología, 59(1):17-33.
- North, W.J. 1968. Effects of canopy cutting on kelp growth: comparison of experimentation with theory. Calif. Fish and Game, Fish Bull. 139:223-254.
- Salgado, C.L. & F. Uribe. 1991. Estudio del manejo de *Gelidium robustum* (Gelidiacea: Rhodophyta) en Punta San Miguel, B.C. 1.2 Biomasa disponible en Punta San Miguel y otras zonas sujetas a explotación. Memorias del VII Congreso Nacional de Oceanografía, PESCA, 59-71.
- Towle, D.W. & Pearse. 1973. Production of the giant kelp *Macrocystis*, estimated by *in situ* incorporation of  $^{14}\text{C}$  in polyethylene bags. Limnol. Oceanog. 18:155-159.

# 12

## VARIABILIDAD INTERANUAL DEL ZOOPLANCTON EN DOS CENTROS DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL NOROESTE MEXICANO: RESPUESTA DE LA POBLACIÓN DE *Calanus pacificus* AL CAMBIO AMBIENTAL

*Sergio Hernández-Trujillo*

Departamento de Plancton. CICIMAR. Av. IPN s/n, Col. Playa Palo de Santa Rita, 23096 La Paz, B.C.S. México. E-mail: strujil@vmredipn.ipn.mx

### RESUMEN

A partir del análisis de la abundancia de *Calanus pacificus* Brodsky 1948, de la biomasa zooplanctónica y de la temperatura superficial del mar obtenidas en dos Centros de Actividad Biológica (BAC) en la costa occidental de la península de Baja California en algunos meses, entre enero de 1984 y septiembre de 1989, se encontró que la abundancia de la especie fue alta, principalmente, en la época primaveral y que el factor estacional en la distribución espacial de la especie es el que puede considerarse como la principal fuente de variabilidad. Los cambios observados en la temperatura superficial del mar y en la abundancia de biomasa zooplanctónica tuvieron un patrón similar al del copépodo. *C. pacificus* fue dominante en el 80% de los meses estudiados y constituyente sistemático de comunidades de copéodos con casi el 50% de especies tropicales en el área y lapso estudiados. La abundancia de la especie presentó cambios en concomitancia a los registrados para la temperatura superficial del mar, la biomasa zooplanctónica y la estructura de la comunidad de copéodos. Estadísticamente, no se detectan diferencias espaciales de la abundancia del copépodo, pero sí en la escala temporal. La predominancia de la especie en condiciones relativamente desfavorables, en algunos meses estudiados, sugiere una alta capacidad de aprovechamiento de recursos y de ocupación de nicho. La incorporación de más datos sobre la distribución y abundancia de la especie en las zonas de influencia de los BAC, permitirá obtener un patrón más detallado de la variabilidad de *C. pacificus* y configurarla como uno de los descriptores de la dinámica temporal y espacial en la costa occidental de Baja California Sur.

**Palabras clave:** *Calanus pacificus*, Variabilidad, Centros de Actividad Biológica, Baja California Sur.

### ABSTRACT

The abundance of *Calanus pacificus* Brodsky 1948, the zooplanktonic biomass and the sea surface temperature in some months, between January 1984 and September 1989, at two Biological Activity Centers (BAC) in the western coast of the Baja California Peninsula were analyzed. It was found that the abundance of the species was high, mainly in the spring season, and the seasonal factor can be considered as the main source of variability in the spatial distribution of the species. The observed changes in the sea surface temperature, and in the zooplanktonic biomass abundance had a similar pattern than the copepod. *C. pacificus* was dominant in 80% of the studied months, and systematic constituent of the copepods community with almost 50% of tropical species in the area and time lapse studied. The abundance of the species showed changes concomitant with the ones registered for the sea surface temperature, the zooplanktonic biomass, and the structure of the copepods community. Statistically, there are no spatial differences in the copepod's abundance, but there are in the temporal scale. The dominance of the species in relatively unfavorable conditions, in some of the studied months, suggests a high capacity of resource utilization and of niche occupation. The incorporation of more data on distribution and abundance of the species in the areas of influence of BACs will allow to obtain a more detailed pattern of the variability of *C. pacificus*, and to put it as one of the spatial and temporal dynamics descriptors in the western coast of Baja California Sur.

**Key words:** *Calanus pacificus*, Variability, Biological Activity Centers, Baja California Sur.

### INTRODUCCIÓN

*Calanus pacificus* es una especie distribuida desde el Pacífico Noroeste hasta las aguas de Baja California; de hábitat nerítico y en ocasiones oceánico, se localiza en aguas superficiales y subsuperficiales templadas. Por su dominancia en el zooplancton de la Corriente de California (CC) es uno de los principales componentes de la dieta de peces pelágicos menores como la sardina y anchoveta.

La hembra de la especie mide, en promedio, 2.6 mm y el macho 2.8 mm. Fleminger (1975) la catalogó como especie transicional entre los ambientes biogeográficos subártico y subtropical, así como indicadora del avance meridional de la Corriente de California. Se ha observado que la especie presenta reacciones conductuales complejas a las condiciones hidrográficas, así como un notable movimiento migratorio (Cox *et al.*, 1983; Alldredge *et al.*, 1984), que se ha considerado como una adaptación a la vida en las zonas de surgencia costera en la CC (Bucklin & LaJeunesse, 1994)

La distribución y abundancia de la especie en la CC para abril, julio y octubre de 1958 y enero de 1959 fueron plasmadas en el trabajo de Fleminger (1964) y de mayo a octubre de 1949 y febrero de 1950 (solo hasta Punta Eugenia) el de Bowman & Johnson (1973); en ambos trabajos la abundancia de *C. pacificus*, en todos los meses, fue siempre mayor que otras especies de calanoides encontradas.

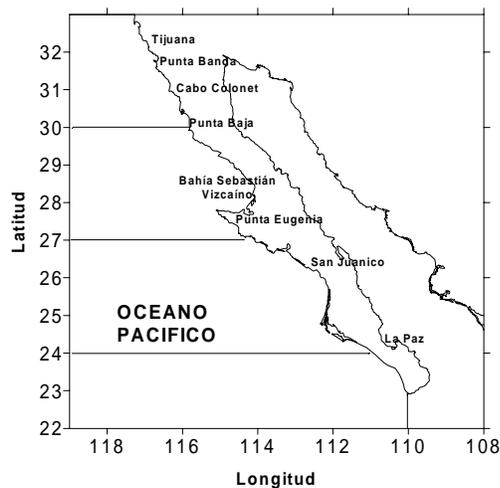
En aguas mexicanas, Hernández-Trujillo (1991) llevó a cabo un estudio de la distribución y abundancia de la especie (1982-1986), entre la zona de Bahía Sebastián Vizcaíno hasta el sur de Bahía Magdalena y encontró que se distribuyó horizontalmente en función de la isoterma superficial de 20 °C y con máxima abundancia en febrero y mayo, en niveles de abundancia muy superiores al resto de las especies de copépodos presentes.

En el contexto de la definición y caracterización de las pequeñas áreas concentradoras de excepcionalmente alta producción biológica –Centros de Actividad Biológica– en la región noroeste de México, este trabajo aborda la variabilidad espacial y temporal de una de las especies más abundantes del zooplancton en la costa occidental de Baja California Sur.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo utilizando las muestras de zooplancton obtenidas en cruceros oceanográficos efectuados en la costa occidental de la península de Baja California en algunos meses en el periodo 1984-1989 (31°N 118°W y 22°N 110°W, Fig. 1); la Tabla 1 se muestra la información relativa a estas campañas.

El procedimiento de obtención y preservación de las muestras fue de Smith y Richardson (1977) y que básicamente consistió en el arrastre oblicuo (225-0 m, en promedio) de una red gemela (bongo) provista de flujómetros digitales y de mallas filtrantes de 333 y 505 $\mu$ . La manga empleada para el estudio fue, en todos los casos, la de 505 $\mu$ .



**Figura 1.** Área de estudio regionalizada. 1984-1991.

**Tabla 1.** Datos generales de los cruceros oceanográficos de 1984 a 1991. N= # de estaciones ocupadas.

CAMPAÑA	FECHA	N	BUQUE
CICIMAR 8401	20-27 ENERO/1984	51	B.H. MARIANO MATAMOROS
CICIMAR 8405	26 MAYO - 7 JUNIO/1984	68	B/O EL PUMA
CICIMAR 8505	23 MAYO - 9 JUNIO/1985	43	B.H. MARIANO MATAMOROS
CICIMAR 8508	23 AGOSTO - 2 SEPTIEMBRE/1985	48	B/O EL PUMA
CICIMAR 8605	26 MAYO - 7 JUNIO/1986	61	B/O EL PUMA
CICIMAR 8606	15-21 JUNIO /1986	28	B.D. G-1 ZAMORA
CICIMAR 8608	9 - 24 AGOSTO/1986	23	G.C. SANTOS DEGOLLADO
CICIMAR 8611	17 - 26 NOVIEMBRE/1986	59	G.C. J. GONZALEZ ORTEGA
CICIMAR 8707	10 - 17 JULIO/1987	39	B/O EL PUMA
CICIMAR 8710	9 - 16 OCTUBRE/1987	62	B/O EL PUMA
CICIMAR 8807	24 JULIO - 5 AGOSTO/1988	40	B/O EL PUMA
CICIMAR 8906	22 - 29 JUNIO/1989	38	B/O EL PUMA
CICIMAR 9109	16 - 23 SEPTIEMBRE/1991	23	B/H AL TAIR

La biomasa zooplanctónica (BZ) fue medida en cada crucero; se usó el método de volumen desplazado (Beers, 1976). El proceso de separación e identificación de los organismos fue el señalado por Brodsky (1950), Fleminger (1967a) y Hernández-Trujillo (1991a, b). Después se contaron todos los organismos de la especie en la muestra. Los datos de temperatura superficial del mar (TSM) fueron obtenidos en cada estación oceanográfica con un CTD InterOcean.

Se dividió el área de estudio en tres bloques latitudinales de acuerdo a los criterios de Cole & McLain (1989): zonas 8 (21 a 24°N), 9 (24 a 27°N) y 10 (27-30°N), las que sirvieron para el estudio de la variabilidad interanual de la temperatura superficial, biomasa zooplanctónica y abundancia de *Calanus pacificus*. En esta regionalización se encuentran los centros de actividad biológica de Punta Eugenia y Bahía Magdalena.

El análisis estacional de las variables se realizó agrupando los meses de muestreo de la siguiente forma: Invierno: enero 1984; primavera: mayo de 1984, 1985, 1986; junio de 1989; verano: agosto de 1985, julio de 1987 y 1988, septiembre de 1991; otoño: noviembre de 1986 y octubre de 1987.

Para llevar a cabo el análisis estadístico de los datos de temperatura superficial del mar, abundancia de biomasa zooplanctónica y de *C. pacificus* se empleó el análisis de variancia multifactorial (ANDEVA) entre campañas (mes) y latitud, así como entre épocas del año y latitud. La hipótesis nula fue de no diferencia de media de variables por efecto mensual, por época del año y por latitud. La hipótesis alterna fue de existencia de diferencia. El nivel de significancia al que se trabajó la regla de decisión fue de  $\alpha = 0.05$ .

## RESULTADOS

### Temperatura Superficial del Mar

Durante el lapso estudiado se registró el intervalo de 12 a 31 °C, con una media global de 21.1 °C. El mes con la media menor se observó en mayo de 1985 (15.2 °C) y la mayor en octubre de 1987 (25.4 °C). Latitudinalmente, de 27 a 30°N (Fig. 2) el menor promedio se registró en meses de invierno y primavera y el mayor en verano. Destaca la diferencia interanual para mayo, en los años 1984 a 1986, con una clara tendencia al incremento del valor medio. El intervalo general para esta zona fue de los 14.5 a 23.7 °C. La zona entre los 24 y 27°N presentó una más amplia variación de la temperatura entre meses e interanualmente. Asimismo se observó la tendencia de aumento de la temperatura a partir de mayo de 1986; a esta precede una disminución de enero de 1984 a mayo de 1985. En esta zona la TSM observada estuvo entre los 13.2 y 29.0 °C. De los 21 a 24°N, en términos generales, presentó un patrón de variación similar al bloque anterior. El intervalo registrado fue de 12 a 29 °C. El ANDEVA dio como resultado el rechazo de la hipótesis de igualdad entre meses y entre latitudes ( $p < 0.05$ ).

El análisis estacional de la TSM mostró que en invierno la temperatura media fue de 19.2 °C; en primavera fue de 17.9 °C y se observaron marcadas diferencias entre 1984 y 1989. Para el verano la media fue de 23.2 °C y en el otoño de 24.2 °C. Latitudinalmente, en el bloque de los 27 a 30°N (Fig. 3) la tendencia estacional de la TSM es de aumentar. La media en el invierno fue de 18.4 °C, en primavera de 18.7 °C y en verano de 20.2 °C; para el otoño no hubo registros. Entre 24 y 27°N se observa la separación entre invierno-primavera y otoño-invierno; en las dos primeras sus valores medios fueron de 19 y 17.6 °C, respectivamente. Para el verano el promedio fue de 22.6 °C y en el otoño de 23.1 °C. En la zona de 21 a 24°N, se observó un patrón de variación estacional similar al del cuadrante anterior, con la diferencia de que los valores medios en todas las épocas son mayores. Así, en invierno la TSM media fue de 20.6 °C, en la primavera de 18.2 °C, en verano de 23.6 °C y en otoño de 25.9 °C. De acuerdo al ANDEVA la hipótesis nula de igualdad de la TSM entre las épocas del año y entre los bloques latitudinales fue rechazada ( $p < 0.05$ ).

### Biomasa zooplanctónica (BZ)

A lo largo del periodo de estudio, la biomasa del zooplancton presentó fluctuaciones alrededor de  $240 \text{ ml} \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$ ; los meses de mayo de 1985, junio de 1986, julio de 1987 y junio de 1989 (345, 308, 360 y 333  $\text{ml} \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$ , respectivamente) fueron los de mayor promedio de biomasa (Fig. 4). En mayo de 1984, noviembre de 1986 y septiembre de 1991 fueron registrados los menores promedios (178, 57 y 35  $\text{ml} \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$ , respectivamente). En general, el intervalo registrado en cada mes es muy amplio y con valores extremos, excepto en noviembre de 1986 y septiembre de 1991.

La BZ entre los 27 y 30°N, en promedio, fue más abundante en mayo de 1985

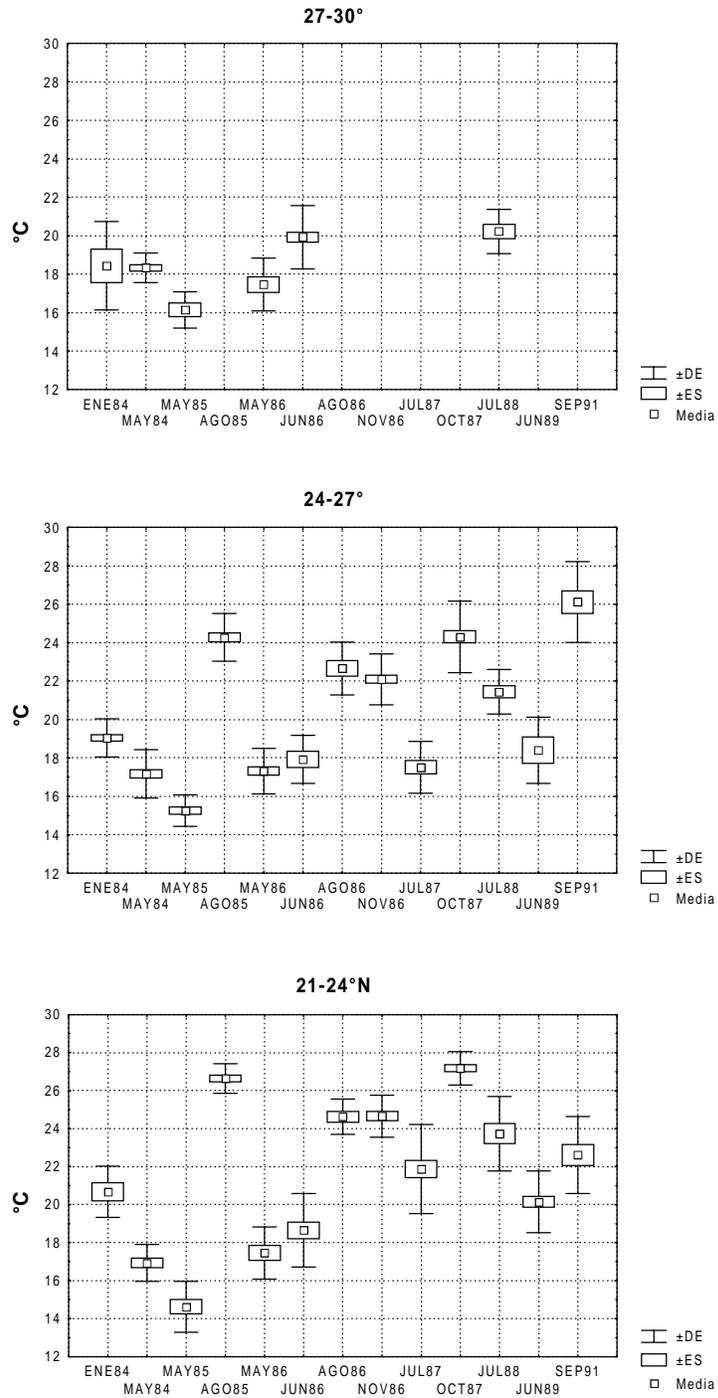


Figura 2. Variación de la TSM, por cruceo y latitud.

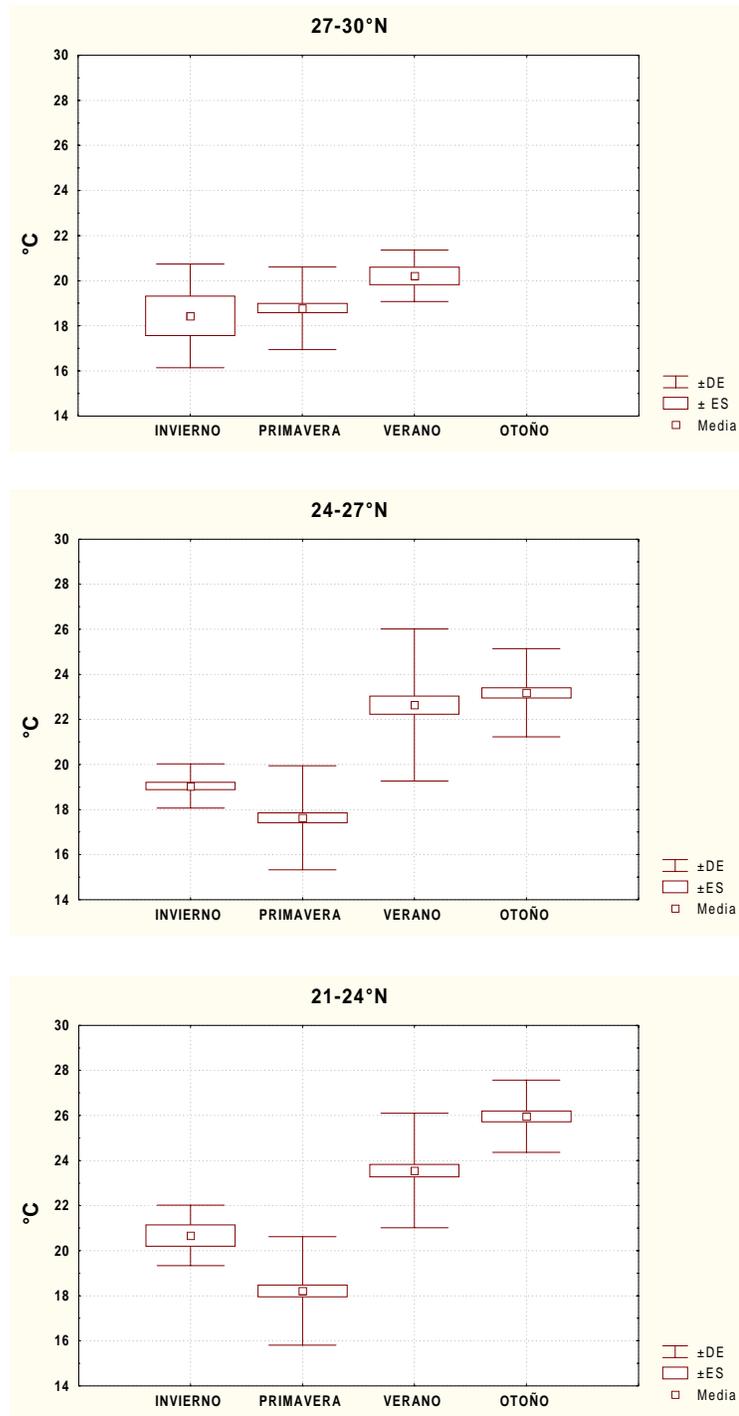


Figura 3. Variación de la TSM por época del año y latitud.

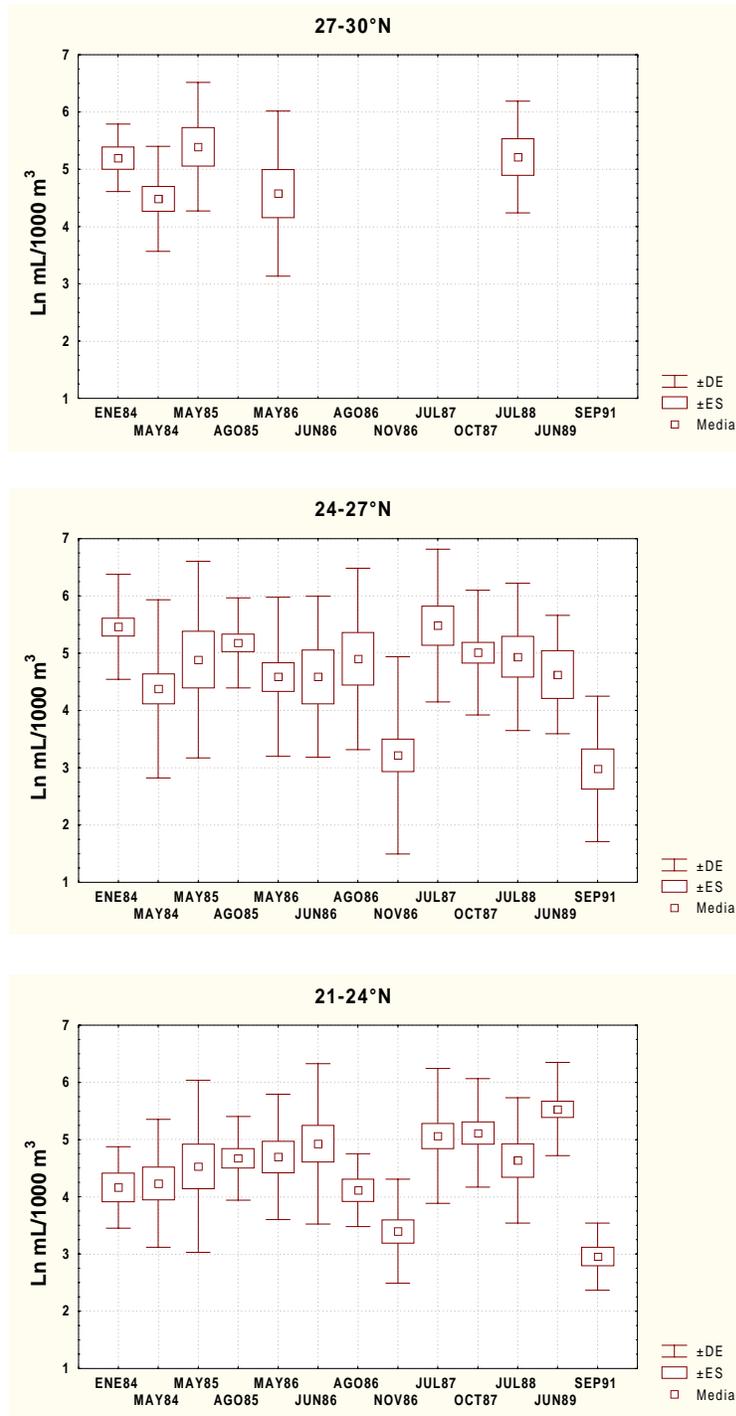


Figura 4. Abundancia de BZ por crucero y latitud.

(321 ml•1000 m<sup>-3</sup>) y en el mismo mes de 1984 fue la menor (137 ml•1000 m<sup>-3</sup>). Entre los 24 y 27°N la mayor BZ se obtuvo en julio de 1987 (518 ml•1000 m<sup>-3</sup>) y la menor en septiembre de 1991 (51 ml•1000 m<sup>-3</sup>). En los 21-24°N los meses de mayor y menor BZ fueron junio de 1989 y septiembre de 1991 (357 y 28 ml•1000 m<sup>-3</sup>, respectivamente). El ANDEVA mostró que la hipótesis de igualdad entre meses y entre latitudes fue rechazada ( $p < 0.05$ ).

La abundancia estacional de la biomasa zooplanctónica fue mayor, en promedio, en invierno (281 ml•1000 m<sup>-3</sup>). En primavera el promedio obtenido fue ligeramente menor (255 ml•1000 m<sup>-3</sup>) y de ahí disminuyó sensiblemente en verano (177 ml•1000 m<sup>-3</sup>) y en otoño (166 ml•1000 m<sup>-3</sup>). La tendencia estacional de variación de BZ en el periodo 1984-1991 es de disminuir cíclicamente del invierno hasta el otoño (Fig. 5). Los cambios estacionales de la abundancia de la BZ mostraron que en el cuadrante más septentrional (27-30°N) la BZ se incrementó a partir del invierno (207 ml•1000 m<sup>-3</sup>) hasta el verano (283 ml•1000 m<sup>-3</sup>). No se tienen datos para el otoño.

En la zona entre los 24° y 27°N, se observó la reducción de la BZ a partir del invierno (media de 346 ml•1000 m<sup>-3</sup>), una relativa estabilidad en primavera y verano para disminuir en el otoño (274, 293 y 177 ml•1000 m<sup>-3</sup>, respectivamente). En la zona más meridional del área de estudio los cambios estacionales fueron diferentes a los de los bloques anteriores; el invierno fue el de promedio menor de abundancia de BZ (82 ml•1000 m<sup>-3</sup>) y la primavera fue la del mayor (276 ml•1000 m<sup>-3</sup>). En verano y otoño los promedios fueron similares (165 y 156 ml•1000 m<sup>-3</sup>, respectivamente). La heterogeneidad de la abundancia de biomasa en cada época del año fue alta, especialmente en primavera y verano. El análisis estadístico de la BZ mostró que la hipótesis de igualdad entre épocas de año y latitudes fue rechazada ( $p < 0.05$ ).

### Abundancia de *Calanus pacificus*

La abundancia de este calanoide fue alta especialmente en mayo de 1984, 1985 y 1986 y en julio de 1987 (medias de 349765, 60965, 72353 y 105798 org•1000 m<sup>-3</sup>, respectivamente; Fig. 6). El resto de los meses tuvieron abundancias notablemente diferentes (medias de 378 a 40382 org•1000 m<sup>-3</sup>). Entre los 27 y 30°N el nivel de abundancia de la especie tuvo un amplio intervalo; el promedio fue mayor en mayo de 1984 (273525 org•1000 m<sup>-3</sup>) y de 1986 (79099 org•1000 m<sup>-3</sup>) y el mínimo se obtuvo en enero de 1984 (1789 org•1000 m<sup>-3</sup>).

Entre los 24 y 27 °N, se registró el mayor nivel de abundancia de la especie, persistiendo mayo de 1984 como el mes con el mayor promedio (452324 org•1000 m<sup>-3</sup>). En enero de 1984, en contraste, se obtuvo el más bajo (760 org•1000 m<sup>-3</sup>). En el bloque de 21 a 24 °N se obtuvieron, en promedio, densidades menores a las del cuadrante anterior; no obstante, nuevamente la media máxima fue registrada en mayo de 1984 (207424 org•1000 m<sup>-3</sup>) y la mínima en enero de 1984 (283 org•1000 m<sup>-3</sup>). El resultado obtenido del ANDEVA mostró que hubo diferencia debido al mes de colecta y a la latitud ( $p < 0.05$ ).

El análisis estacional de la abundancia de *C. pacificus* mostró que la menor

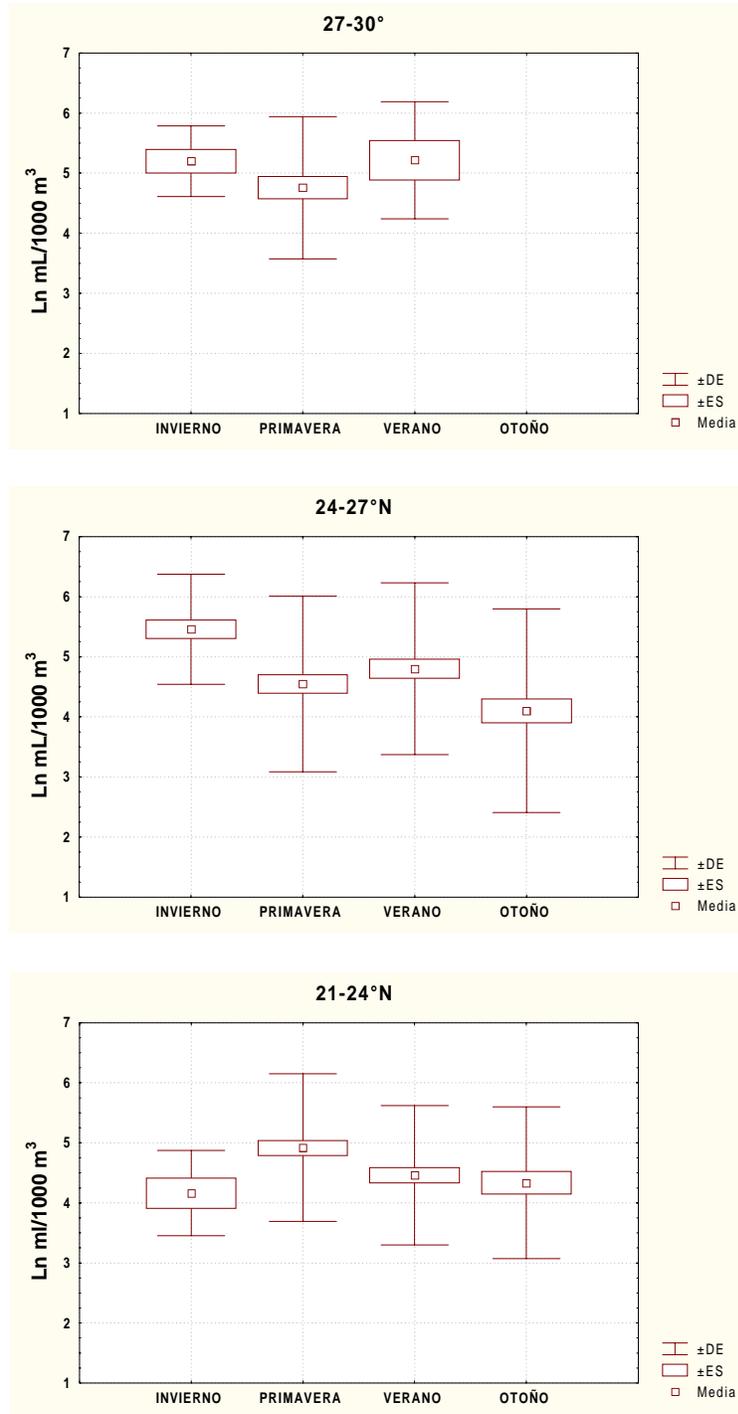


Figura 5. Abundancia de BZ por época del año y latitud.

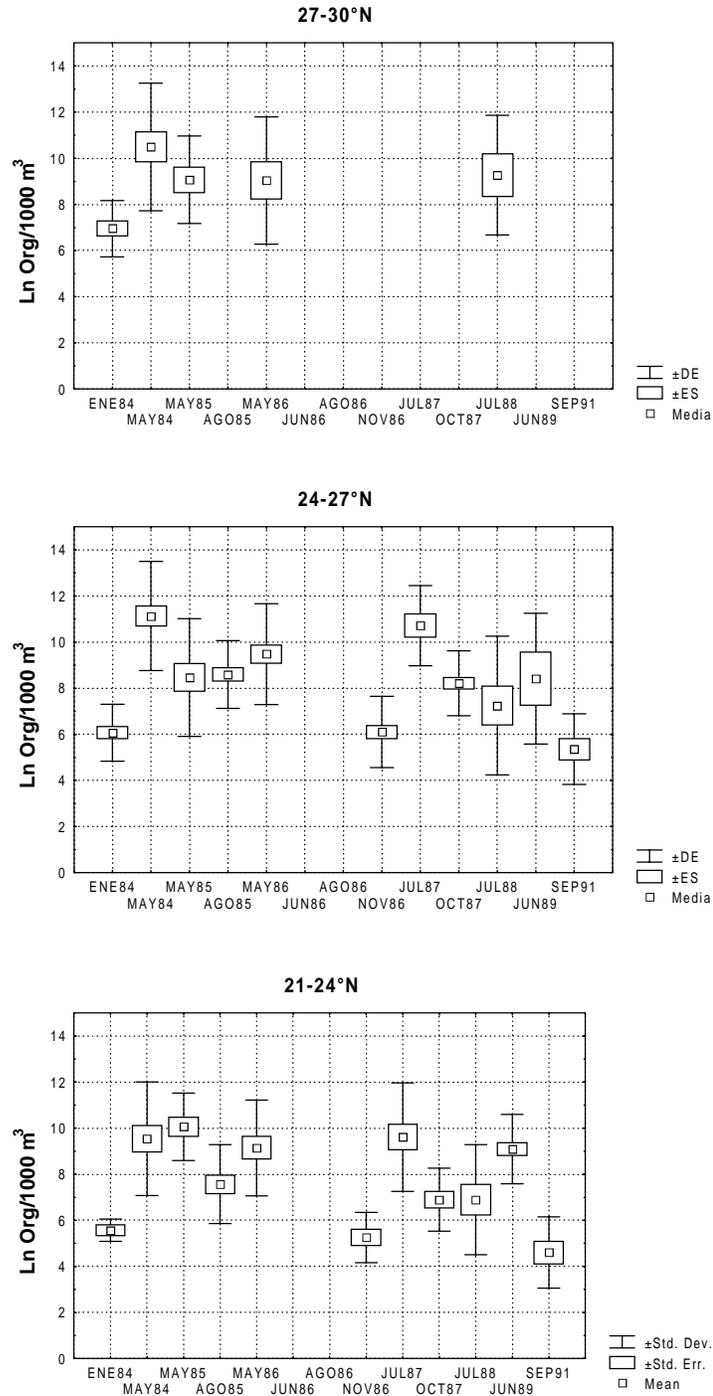


Figura 6. Abundancia de *Calanus pacificus* por crucero y latitud.

abundancia de la especie se obtuvo en la época invernal ( $1083 \text{ org} \bullet 1000 \text{ m}^{-3}$ ) (Fig. 7). En primavera se registró la máxima abundancia ( $149944 \text{ org} \bullet 1000 \text{ m}^{-3}$ ) y en el verano y otoño se registró un importante descenso en el promedio en más de un orden de magnitud ( $35871$  y  $3637 \text{ org} \bullet 1000 \text{ m}^{-3}$ , respectivamente). Latitudinalmente, la variación de la abundancia de la especie siguió un patrón similar al obtenido para toda la zona de estudio. Así, en el cuadrante de  $27$  a  $30^\circ \text{N}$  la media obtenida para el invierno fue de  $1789 \text{ org} \bullet 1000 \text{ m}^{-3}$ . Se incrementó hasta  $147164 \text{ org} \bullet 1000 \text{ m}^{-3}$  en primavera para de aquí reducirse en verano a  $61445 \text{ org} \bullet 1000 \text{ m}^{-3}$ .

Entre los  $24$  y  $27^\circ \text{N}$ , en invierno se obtuvo el nivel de abundancia más bajo de *C. pacificus* con una media de  $2643 \text{ org} \bullet 1000 \text{ m}^{-3}$ . Le siguió un importante aumento en primavera llegando a  $174611 \text{ org} \bullet 1000 \text{ m}^{-3}$ , disminuyendo en el verano a  $39858 \text{ org} \bullet 1000 \text{ m}^{-3}$  y en otoño a  $5921 \text{ org} \bullet 1000 \text{ m}^{-3}$ . De los  $21$  a  $24^\circ \text{N}$ , la variación estacional es prácticamente la misma que en el bloque  $25$ - $27^\circ \text{N}$ , con la diferencia de la abundancia, ya que el promedio fue considerablemente menor en todos los casos. En invierno la media fue de  $1228 \text{ org} \bullet 1000 \text{ m}^{-3}$ , en primavera de  $70827 \text{ org} \bullet 1000 \text{ m}^{-3}$ , en verano de  $23502 \text{ org} \bullet 1000 \text{ m}^{-3}$  y en otoño de  $2122 \text{ org} \bullet 1000 \text{ m}^{-3}$ . El ANDEVA mostró diferencia entre las épocas del año ( $p < 0.05$ ), pero no así entre los bloques latitudinales ( $p < 0.05$ ); aquí se observó que efectivamente existió la influencia estacional y que la distribución espacial de la especie fue homogénea en el lapso estudiado.

## DISCUSIÓN

Como es sabido, en el lapso 1983-1984, 1987-1988 y 1990 resalta el dominio de aguas cálidas en la zona estudiada, y el de aguas frías en 1985-1987 y 1988-1990 (Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1995b; Murphree & Reynolds 1995; NOAA, 1994; Palomares-García & Gómez-Gutiérrez, 1996; Santa-María-del-Angel *et al.*, 1994; Taft, 1985). No obstante se registraron condiciones atípicas en algunos meses; una de las posibles explicaciones es que sean respuesta a fenómenos locales como fluctuaciones de vientos que impactan fuertemente la estructura vertical de la columna de agua en los primeros 100 m (McPhaden *et al.*, 1990). Por otro lado, las diferencias significativas encontradas entre los cruceros, las épocas del año y entre los bloques latitudinales, es coincidente con lo encontrado por otros autores en la zona de estudio (Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1995a, 1995b; Murphree & Reynolds, 1995; NOAA, 1994; Palomares-García & Gómez-Gutiérrez, 1996).

El análisis de la variación espacial y mensual de BZ entre 1982 y 1985, realizado por Hernández-Trujillo *et al.* (1987), refiere que las mayores abundancias de biomasa se asociaron a temperaturas menores a  $20^\circ \text{C}$ , y se ubicaron en la región costera. Entre Monterey California y Bahía Magdalena, B.C.S., y en el periodo 1951-1989, Hernández-Vázquez (1995) encontró homogeneidad en toda el área, con valores mínimos entre octubre y marzo (invierno) y máximos de mayo a julio (primavera-verano).

Análisis más detallados de los valores de BZ en la zona de estudio, entre 1986

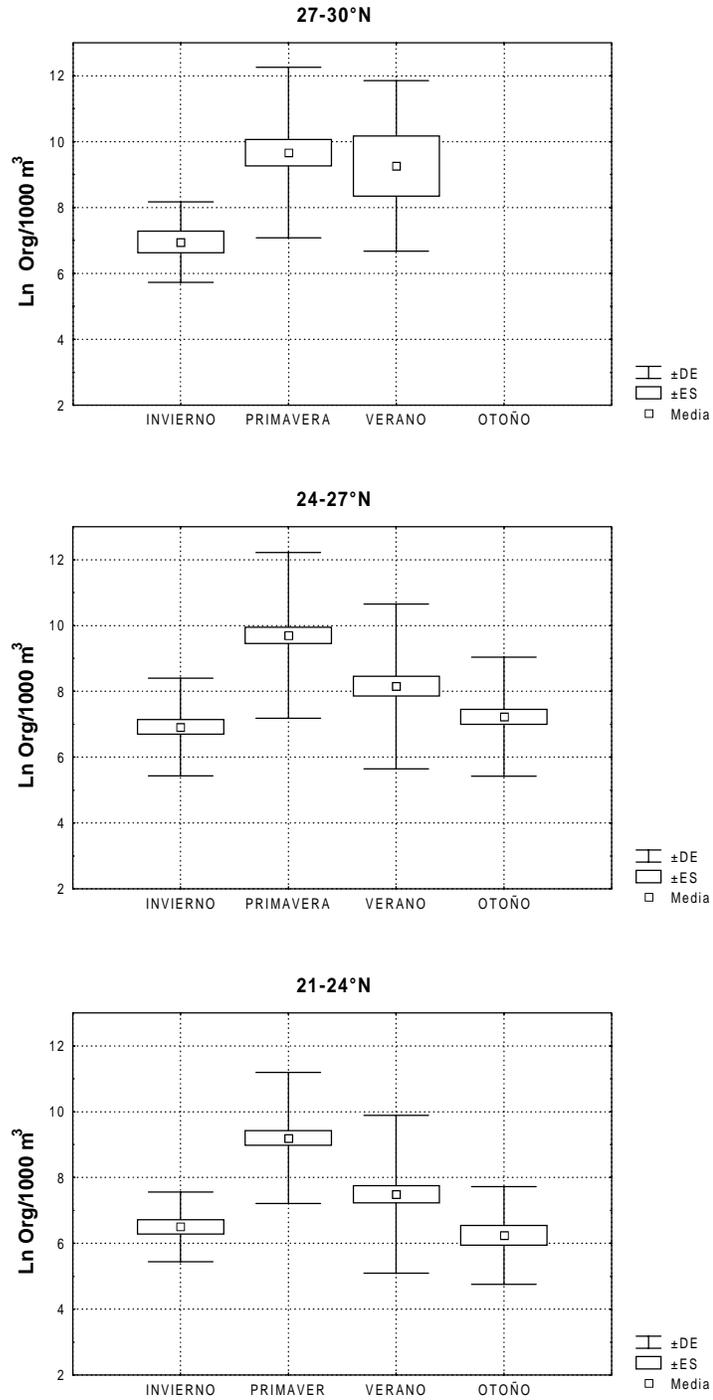


Figura 7. Abundancia de *Calanus pacificus* por época del año y latitud.

y 1991, mostraron que la combinación del componente estacional y la latitud son los factores que más influyen en la variabilidad (Hernández-Trujillo y Gómez-Gutiérrez, 1992). En la zona adyacente a Punta Eugenia (30-26.7°N) Lavaniegos *et al.* (1998) encontraron que a mesoescala el ciclo estacional 1951-1996 mostró biomazas mayores entre verano-otoño y menores de invierno a primavera.

El análisis de BZ entre 1984 y 1991 permite observar diferencias mensuales y estacionales significativas ( $p < 0.05$ ) de abundancia de biomasa, las que son menos pronunciadas en las zonas meridionales que en las septentrionales; ello coincide con lo encontrado por Roesler & Chelton (1987). El análisis estadístico mostró las diferencias existentes en el tiempo y en el espacio, lo que significa que la biomasa zooplanctónica estuvo heterogéneamente distribuida a lo largo del área de estudio y que solo se modificó por efecto estacional.

Ocurre así, regionalmente, un nivel de abundancia zooplanctónica relativamente constante a lo largo del año, que se incrementa en la época primaveral (abril-junio) cuando las surgencias son más intensas y la Corriente de California tiene el máximo flujo hacia el ecuador (Lynn & Simpson, 1987). Las condiciones anteriores permiten florecimientos de fitoplancton que son aprovechados por el zooplancton que es transportado estacionalmente por la Corriente de California desde el norte y por la Contra Corriente de Davidson desde el sur.

Esta situación explicaría, en parte, las diferencias espaciales encontradas entre este trabajo y los previamente publicados. En consecuencia un aspecto relevante lo constituye el hecho de que los Centros de Actividad Biológica de Punta Eugenia y de Bahía Magdalena son diferentes en términos de los procesos que afectan el nivel de la producción biológica, así como su duración. Lo anterior se encuentra reflejado en el cambio a escala espacial y temporal de la BZ.

El análisis detallado de las poblaciones de *C. pacificus* especie transicional dominante en 82% de los meses de estudio, integrante de una comunidad de copépodos con una proporción cercana al 50% de especies de estirpe tropical se revela como un elemento biológico de suficiente sensibilidad para reflejar los cambios ambientales en océano.

El análisis mostró que la variabilidad espacio-temporal de *C. pacificus* estuvo muy asociada a los cambios en las condiciones ambientales. El incremento de su abundancia coincidió con el avance estacional de la CC y su disminución con el influjo de aguas ecuatoriales; sin embargo, la dominancia de la especie en el área y periodo de estudio no solo estuvo regulada por las condiciones físicas, sino también por el alimento y el o los mecanismos para consumirlo (Mullin, 1963; Cox *et al.*, 1983; Hakanson, 1987; Bollens & Frost, 1989).

La importancia numérica de *C. pacificus* se modificó mensual y estacionalmente en concordancia con los cambios ambientales, manteniéndose en la comunidad como la especie más importante. Esto significa que el resto de las especies de copépodos tuvieron limitaciones para mantener sus poblaciones en niveles de abundancia constantes o sin grandes fluctuaciones, lo que les impidió contribuir de forma similar a la especie dominante a la constitución de

la estructura de la comunidad.

De hecho, la presencia de esas especies puede explicarse en términos de su capacidad de explotar los recursos que no son utilizados por la especie dominante. La distribución horizontal oceánica (Hernández-Trujillo, 1991; Mullin, 1991) y vertical subsuperficial de *C. pacificus* (Mullin, 1994, 1995), aunado a lo obtenido en esta investigación, sugieren una distribución de recursos y ocupación de nicho favorable hacia *C. pacificus*, que se mantiene como dominante, aún en condiciones desfavorables para la especie, confiriéndole un carácter ecológico de primer nivel en la cadena trófica pelágica en el área de estudio.

Por otro lado, su constante gran abundancia es también muestra de su capacidad de transformar recursos disponibles en nuevos individuos a lo largo del año (Mullin, 1991), situación que le permite aventajar aún sobre especies ecológicamente similares como es *Rhincalanus nasutus* (Mullin, 1993).

*Calanus pacificus* es una especie que se alimenta por filtración y con capacidad selectiva de acuerdo a la composición y disponibilidad en el medio (Mullin, 1963; Huntley *et al.*, 1983); no obstante, el fitoplancton es su principal fuente de nutrición a pesar de que, en ciertas condiciones puede transformarse en depredador de sus propios nauplios (Landry 1981). Por otro lado, ha manifestado su preferencia alimenticia sobre células de nanofitoplancton en comparación al microfitoplancton (Huntley *et al.*, 1983).

En este tenor es posible, entonces, identificar la abundancia de nanofitoplancton como la fracción del fitoplancton que puede determinar el nivel de abundancia de la especie en la zona, ya que el contenido proteico del nanoplancton se mantuvo siempre por encima del microplancton en el verano (68-86% vs. 8-18%) y otoño (74-79% vs 13-16%) de 5 a 35 m de profundidad (López-Cortés *et al.*, 1990). Por otra parte, una alternativa alimenticia pudo ser materia particulada no fotosintética de similar contenido calórico (Lechuga-Deveze *et al.*, 1993), la cual es también abundante en los primeros 25 m de profundidad en la región costera de Baja California Sur.

Sin embargo, su resistencia a condiciones ambientales desfavorables tiene un límite, como lo han reportado Brinton *et al.* (1986) para el Golfo de California cuando se ve invadido por agua cálida y la especie modifica su distribución vertical de los 0-100 m para ubicarse entre 200-300 m. En este trabajo y en otros previos (Hernández-Trujillo, 1991a, c) se reconoce que su distribución horizontal esta limitada por la isoterma de 25 °C y que su máxima abundancia se presenta entre 15-19 °C

La dominancia de *C. pacificus* en la comunidad de copépodos pelágicos en el área y lapso de estudio, quedó manifiesta mensual y latitudinalmente. La abundancia fue mayor septentrionalmente en prácticamente todos los cruceros analizados y la diferencia de la abundancia con las especies co-dominantes (Hernández-Trujillo, 1998): *Acartia danae*, *Euchaeta marina* y *Pleuromamma abdominalis* tendió a reducirse latitudinalmente. Estas tres especies se mantuvieron en niveles de abundancia similares y presentaron cambios en jerarquía de abundancia mes a mes y por latitud.

*C. pacificus* de ambiente transicional, nerítico-oceánica y subsuperficial concurre con *A. danae* que es templado-tropical y de amplia distribución norte-sur y costa-océano, con *E. marina* tropical-subtropical, oceánica y de distribución subsuperficial, y con *P. abdominalis*, tropical, oceánica y epipelágica. Este conjunto por sí mismo refleja la complejidad de la comunidad de copépodos en el área estudiada, además de la dinámica de su estructura.

Bajo este contexto, las especies subtropicales y/o tropicales mantuvieron sus niveles de densidad notablemente separadas de la transicional a lo largo del periodo estudiado (excepto en meses de verano franco) en cada uno de los bloques latitudinales. La abundancia estacional de las cuatro especies y la diferencia significativa entre épocas del año indicarían ajustes de densidad en función de las condiciones ambientales en la zona de estudio; pero al igual que en el análisis mensual, la homogeneidad espacial de la abundancia de todas las especies indica que el efecto geográfico no es suficientemente fuerte para modificar sus densidades. En este contexto *C. pacificus* resaltó como la especie de mayor abundancia en la zona y en todas las épocas del año, en tanto que las especies co-dominantes, tropicales y subtropicales, aumentaron su abundancia en otoño e invierno.

El patrón de variabilidad de *C. pacificus* en los Centros de Actividad Biológica tiene que ser, obviamente, redefinido con la incorporación de más datos para obtener un patrón de variación más detallado, en virtud de los huecos de información existentes en la serie temporal. Así mismo, los episodios de El Niño y La Niña, necesitan aislarse para obtener el patrón "normal" de variación de las poblaciones en el área de Punta Eugenia y Bahía Magdalena. No obstante, el esquema de variabilidad obtenido puede considerarse como un descriptor general de la tendencia de cambio temporal de la población en la zona de estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Allredge, A.L., B.H. Robinson, A. Fleminger, J.J. Torres, J.M. King & W.M. Hamner. 1984. Direct sampling and in situ observation of a persistent copepod aggregation in the mesopelagic zone of the Santa Barbara Basin. Marine Biology. 80:75-81
- Beers, J.R. 1976. Volumetric methods, 54-60. En: Steedman, H.F. (Ed.). Zooplankton fixation and preservation. Monographs on oceanographic methodology, No. 4. UNESCO Press, Paris.
- Bollens, S.M. & B.W. Frost. 1989. Zooplanktivorous fish and variable diel vertical migration in the marine planktonic copepod *Calanus pacificus*. Limnol. Oceanogr. 34(6):1072-1083
- Bowman, T.W. & N.W. Johnson. 1973. Distributional Atlas of Calanoida in the California Current Region. CalCOFI Atlas N° 19. La Jolla, Ca.
- Brinton, E., A. Fleminger & D. Siegel-Causey. 1986. The temperate and Tropical planktonic biotas of the Gulf of California. CalCOFI Rep. 27:228-266.

- Brodsky, K. 1950. Calanoida of the far eastern seas and polar basins of the USSR. Key to the fauna of the USSR N° 35 Inst. Acad. Sci. USSR (Translated from Russian by the Israel Program for Scientific Translations. Jerusalén 1967) 440 p.
- Bucklin, A. & T.C. Lajeunesse. 1994. Molecular genetic variation of *Calanus pacificus* (Copepoda:Calanoida): Preliminary evaluation of genetic structure and subspecific differentiation based on mtDNA sequences. CalCOFI Rep. 35:45-51
- Cole, D.A & D.R. McLain. 1989. Interannual variability of temperature in the upper layer of the North Pacific eastern boundary region 1971-1987. NOAA Tech. Memo. NMFS-SWFC-125, 9 pp. + 5 fig + appendix.
- Cox, J.L., S. Willason & L. Harding. 1983. Consequences of distributional heterogeneity of *Calanus pacificus* grazing. Bulletin of Marine Science. 33(2):213-226.
- Fielder, P.C. 1984. Satellite observations of the 1982-83 El Niño along the U.S. Pacific coast. Science, 224:1251-1254.
- Fleminger, A. 1964. Distribution Atlas of Calanoid copepods in the California Current region. Part 1 CalCOFI Atlas N° 2, La Jolla CA. 313 p.
- Fleminger, A. 1967a. Distributional Atlas of Calanoid copepods in the California Current Region. CalCOFI Atlas N° 7. La Jolla, Ca.
- Fleminger, A. 1975. Geographical distribution and morphological divergence in american coastalzone planktonic copepods of the genus *Labidocera*, 1:392-419. En: Cronin L.E. (Ed.). Estuarine Research.
- Gómez-Gutiérrez, J., S. Hernández-Trujillo & G. Esqueda-Escárcega. 1995. Community structure of euphausiids and copepods in the distribution areas of pelagic fish larvae off the west coast of Baja California, Mexico. Scientia Marina. 59(3-4):381-390.
- Gómez-Gutiérrez, J., R. Palomares-García & D. Gendron. 1995. Community structure of the euphausiid populations along the west coast of Baja California, Mexico, during the weak ENSO 1986-1987. Marine Ecology Progress Series, 120:41-51.
- Hakanson, J.L. 1987. The feeding condition of *Calanus pacificus* and other zooplankton in relation to phytoplankton pigments in the California Current. Limnol. Oceanogr. 32(4):881-894.
- Hernández-Trujillo, S. 1987. Los copépodos del Pacífico Sudcaliforniano (1982-1983), 171-177. En: Ramírez, M. (Ed.). Mem. Simp. Inv. Biol. Oceanogr. Pesq en México. 2830 Abril 1987. La Paz, B.C.S.
- Hernández-Trujillo, S. 1991a. Variación latitudinal de la diversidad de copépodos en la costa occidental de B.C.S. (1982-1984). Ciencias Marinas 17(4):83-103.
- Hernández-Trujillo, S. 1991b. Análisis de la diversidad de copépodos en el

- Pacífico de B.C.S. (mayo, 1986). An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. 18(2):279-288.
- Hernández-Trujillo, S. 1991c. Patrones de distribución y abundancia de *Calanus pacificus*, en relación a la temperatura superficial en el Pacífico de Baja California Sur, México (1982-1986). Rev. Inv. Cient. UABCS. 2(1):56-64.
- Hernández-Trujillo, S. 1998. La comunidad de copépodos pelágicos en la costa del Pacífico de la península de Baja California (1984-1989). Tesis Doctoral. ICMyL-UNAM. México, D.F. 127 p + anexos.
- Hernández-Vázquez, S. 1995. Distribución y abundancia de huevos y larvas de sardina y anchoveta en las costas de California y Baja California y su relación con factores ambientales:1951-89. Tesis Doctoral. CICESE. Ensenada, B.C. México. 179 p + 1 Anexo.
- Hernández-Trujillo, S. & J. Gómez-Gutiérrez. 1992. Geographical and temporal changes in the zooplanktonic biomass in the Exclusive Economic Zone of Mexico during 1986-1991. CalCOFI Conference 1992 Abstract.
- Huntley, M.E., K.-G. Barthel & J.L. Star. 1983. Particle rejection by *Calanus pacificus*: discrimination between similarly sized particles. Marine Biology 74:151-160.
- Lavaniegos, E.B., J. Gómez-Gutiérrez, J.R. Lara-Lara & S. Hernández-Vázquez. 1998. Long-term changes of zooplankton volumes in the California Current System.- The Baja California region. Marine Ecology Progress Series. 169:55-64.
- Lechuga-Deveze, C., D. López-Cortés & J. Bustillos-Guzmán. 1993. Distribution of particulate organic matter in Baja California, west coast of Mexico. Indian Jour. Mar. Sci. 22:128-131.
- López-Cortés, D., C. Lechuga-Deveze & J. Bustillos-Guzmán. 1990. Biomasa proteica de carbohidratos del mesoplancton en la costa occidental de Baja California Sur. Rev. Lat.-amer. Microbiol. 32:109-116.
- Lynn, R.J. & J.J. Simpson. 1987. The California Current system: The seasonal variability of its physical characteristics. Jour. Geophysical Res. 92(C12):12947-12966.
- McPhaden, M.J., S.P. Hayes, L.J. Magnum & J.M. Toole. 1990. Variability in the western equatorial Pacific ocean during the 1986-87 El Niño/Southern Oscillation event. Journal of Physical Oceanography, 20:190-208.
- Mullin, M.M. 1963. Some factors affecting the feeding of marine copepods of the genus *Calanus*. Limnol. Oceanogr. 8:239-250.
- Mullin, M.M. 1991. Production of eggs by the copepod *Calanus pacificus* in the southern California sector of the California Current System. CalCOFI Rep. 32:65-90.
- Mullin, M.M. 1994. Distribution and reproduction of the planktonic copepod *Calanus pacificus*, off southern California during winter-spring of 1992,

- relative to 1989-91. Fish. Oceanogr. 3:142-157.
- Mullin, M.M. 1995. The Californian El Niño of 1992 and the fall of *Calanus*. CalCOFI Rep. 36:175-178.
- Murphree, T. & C. Reynolds. 1995. El Niño and La Niña effects on the northeast Pacific: the 1991-1993 and 1988-1989 events. CalCOFI Rep. 36:45-56.
- NOAA. 1994. El Niño and climate prediction. Report to the Nation. Spring 1994. 25 p.
- Palomares-García, R. & J. Gómez-Gutiérrez. 1996. Copepod community structure at Bahía Magdalena, Mexico during El Niño 1983-84. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 43:583-595.
- Roesler, C.S. & D.B. Chelton. 1987. Zooplankton variability in the California Current, 1951-1982. CalCOFI Rep. 28:59-96.
- Santa-María-del-Angel, E., S. Alvarez-Borrrego & F.E. Müller-Karger. 1994. The 1982-1984 El Niño in the Gulf of California as seen in coastal zone color scanner imagery. Jour. Geoph. Res. 99(C4):7423-7431.
- Smith, P.E. & S.L. Richardson. 1977. Standard techniques for pelagic fish eggs and larval survey. FAO Fish. Technical Paper. 175. 100 p.
- Taft, B.A. 1985. El Niño of 1982-83 in the Tropical Pacific, 1-8. En: Wooster, W. S. & D.L. Fluharty (Eds.). El Niño North. Niño effects in the Eastern subarctic Pacific Ocean. University of Washington, Seattle.

# 13

## COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA DEL ICTIOPLANCTON DEL GOLFO DE ULLOA, BAJA CALIFORNIA SUR, UN CENTRO DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA

*René Funes-Rodríguez, Martín E. Hernández-Rivas, Ricardo J. Saldierna-Martínez, Alejandro T. Hinojosa-Medina, Raymundo Avendaño-Ibarra & Sylvia P. Adelheid Jiménez-Rosenberg*

CICIMAR-IPN. Apdo. Postal 592, C.P. 23096, La Paz, Baja California Sur, México.

### RESUMEN

La variación estacional en la composición y abundancia de las larvas de peces fue analizada durante diez cruceros oceanográficos en la costa occidental de la Península de Baja California durante cuatro años consecutivos (1982-1985). El área de estudio corresponde a la región 16 del plan básico de estaciones del *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations*, entre el norte de Bahía Magdalena y Punta Eugenia, Baja California. El análisis taxonómico permitió la identificación de más de 100 taxones que están incluidos en 54 familias de peces. La riqueza de especies es comparativamente mayor en verano (>50 taxa) y disminuye de invierno a primavera (<23 taxa). Esto en estrecha coincidencia con la variación estacional de la temperatura superficial del mar que aumenta en verano y disminuye de invierno a primavera. La mayor riqueza de especies corresponde al grupo de peces que habitan las aguas someras, siendo Serranidae, Carangidae y Gobiidae las familias de mayor riqueza, entre otras como Myctrophidae y Paralichthyidae que habitan la zona mesopelágica y nerítico demersal, respectivamente. No obstante, el grupo dominante por su abundancia fue el de los pelágicos costeros, caracterizados por *Engraulis mordax* de invierno a primavera con la mayor proporción relativa de su abundancia (75%), mientras está representada por una combinación de taxa cuyos adultos son pelágicos costeros (*Opisthonema* spp.) y que habitan las aguas someras; entre varias especies en verano. La composición y abundancia de los taxa que integraron la extensa plataforma continental del Golfo de Ulloa identifican a esta región como una importante zona de desove y probablemente retención de larvas de peces pelágicos costeros y de aguas someras, que está íntimamente ligada con el hábitat de los adultos. Sin embargo, la falta de un

patrón interanual recurrente de la abundancia individual de las especies, puede ser relacionado con la dinámica oceánica resultado de la variación generada por el calentamiento El Niño.

**Palabras clave:** Larvas de peces, Corriente de California, El Niño, Golfo de Ulloa, Baja California Sur.

## ABSTRACT

The seasonal variation in the composition and abundance of fish larvae was analyzed from ten oceanographic cruises made on the western coast of the Baja California Peninsula during four consecutive years (198–1985). The study area corresponds to region 16 of the *California Cooperative Fisheries Investigations* basic station plan, between Point Eugenia and the north of Magdalena Bay, Baja California. The taxonomic analysis allowed the identification of over 100 taxa included in 54 fish families. The species richness is comparatively higher in summer (>50 taxa) and decreases from winter to spring (<23 taxa). This is in close coincidence with the seasonal variation in sea surface temperature that increases in summer and decreases from winter to spring. The highest species richness belongs to the group of fishes inhabiting shallow waters, with Serranidae, Carangidae, and Gobiidae as the richest families, among others as Myctophidae and Paralichthyidae that inhabit the mesopelagic and neritic demersal zones, respectively. Nevertheless, the dominant group by its abundance was the coastal pelagic, characterized by *Engarulis mordax* from winter to spring with the highest relative proportion of abundance (75%). Meanwhile, in summer it is represented by a combination of taxa whose adults are coastal pelagic (*Opisthonema* spp.) and inhabit shallow waters. The composition and abundance of taxa in the large continental shelf of the Gulf of Ulloa identify this region as an important spawning area, and probably retention area of coastal pelagic fish larvae and from shallow waters intimately linked with the adult habitat. However, the lack of a recurrent interannual pattern of the individual species abundance could be related to the ocean dynamics resulting from the variation generated by the El Niño warming.

**Key words:** Fish larvae, California Current, El Niño, Gulf of Ulloa, Baja California Sur.

## INTRODUCCIÓN

Los estudios ictioplanctónicos se realizan, por lo general para conocer la variación espacio-temporal de la abundancia de las poblaciones de peces adultos en su área de reproducción. Por ello, es de gran interés tratar de explicar las posibles causas que mantienen o delimitan a las poblaciones de peces en una localidad, y que a su vez determinan la taxocenosis. En este sentido, las primeras consideraciones para explicar la complejidad temporal de las poblaciones son las diferentes estrategias de reproducción y comportamiento de las especies, que determinan la naturaleza y origen de las agrupaciones del ictioplancton (Moser

*et al.*, 1987; Doyle 1992; Doyle *et al.*, 1993), que por tener una composición y estructura característica pueden ser ecológicamente reconocibles como comunidades (Leiby, 1986).

Los cambios del ambiente se manifiestan en las comunidades a través de respuestas fisiológicas y de comportamiento de los organismos que son directamente observadas en la distribución individual de las especies y su abundancia (Percy *et al.*, 1996; Moser & Smith, 1993). Al igual que las diferencias específicas de supervivencia son condicionadas por las características ambientales prevalecientes, que determinan los ciclos de producción del alimento y la capacidad de las larvas para aprovecharlo (Smith & Lasker, 1978; Moser & Smith, 1993). Un ejemplo es la dinámica de las corrientes, giros y surgencias que determinan la producción biológica y estacionalidad de los desoves de peces con huevos y larvas pelágicos (Smith & Lasker, 1978; Moser *et al.*, 1987; Richardson *et al.*, 1980; Doyle, 1992).

Los estudios enfocados a la definición de los patrones de agrupación del ictioplancton han aportado conocimientos de cómo la presencia, naturaleza y distribución de las poblaciones del ictioplancton pueden estar relacionadas con los factores ambientales. En este sentido, se ha demostrado que la consistencia relativa en la distribución nerítica u oceánica del ictioplancton se debe, en principio, a la localidad donde se efectúa el desove de los adultos, y su relación con dos ambientes dominantes, que son: el patrón de circulación de corrientes y la variación de los regímenes de surgencia, que afectan y quizás controlan la composición y abundancia de las poblaciones de peces de los cuatro sistemas de corrientes, al oriente de los continentes (California, Humboldt, Canarias y Benguela) (Richardson *et al.*, 1980; Doyle *et al.*, 1993; Olivar & Shelton, 1993).

En la costa del Pacífico de Baja California Sur se identifica una zona costera, denominada Golfo de Ulloa, que mantiene una alta producción biológica (Hernández-Trujillo *et al.* 1987; Martínez-López, 1993a,b; Zuria-Jordan *et al.* 1995). A su vez, esta zona está representada por su complejidad faunística y abundancia de los primeros estadios de vida de especies de peces de interés comercial, como son las especies de sardinas y anchovetas con un alto potencial pesquero, entre otras especies cuyos adultos son susceptibles de ser aprovechados (peces de escama y demersales) (Funes-Rodríguez *et al.*, 1995; Funes-Rodríguez *et al.*, 1998). La alta producción biológica de la zona ha sido relacionada con la dinámica estacional de las corrientes marinas, que varían en intensidad a través del año, y con el ciclo de surgencias principalmente. No obstante, la variación interanual del ambiente, puede ser alterada debido a eventos de calentamiento conocidos como El Niño Oscilación del Sur (ENOS). En este estudio se presenta una descripción que incluye la composición y abundancia de las poblaciones del ictioplancton durante un período de cambios climáticos (1982-1985) con un evento ENOS y su fase de relajamiento en el Golfo de Ulloa, Baja California Sur.

## Estudios ictioplanctónicos en la Corriente de California

El programa California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations (CalCOFI) ha realizado estudios sistemáticos en el área de influencia de la Corriente de California desde 1949, orientados al estudio del medio donde se realiza la reproducción de las especies de interés comercial, destacando entre ellas los pelágicos menores, sardina monterrey (*Sardinops caeruleus*) y anchoveta del norte (*Engraulis mordax*), principalmente. La extensa red de estaciones del plan CalCOFI cubre una amplia región caracterizada por tres provincias costeras zoogeográficas (Oregoniana, San Dieguina y Panámica); tres masas de agua oceánicas (Subártica-transicional, Pacífico Central y Ecuatorial), y una zona costera de surgencia. Entre los principales logros de esta investigación destacan: la más extensa serie de tiempo, que ha sido utilizada rutinariamente en estimaciones de la biomasa de las principales poblaciones de peces costeros de la región; una gran cantidad de trabajos taxonómicos y, estimaciones de la abundancia relativa de muchas especies que habitan en la región.

En el área de influencia de la Corriente de California se identifican tres complejos de especies del ictioplancton, que incorporan elementos de diferentes afinidades faunísticas relacionados con masas de agua particulares. Un “Complejo Norteño” que representa la fauna Subártica-transicional, fauna pelágico costera y asociados. Un “Complejo Sureño” que incorpora a taxa transicionales, cosmopolitas de aguas cálidas y del Pacífico Tropical Oriental. Finalmente un “Complejo Costero Sureño” asociado a la plataforma continental de Bahía Sebastián Vizcaíno y el Golfo de Ulloa, caracterizado por los representantes norteños de la fauna costera del Pacífico Tropical Oriental, que resulta ser altamente variable en estructura, composición y taxa asociados (Moser *et al.*, 1987).

Las larvas de peces que integran el grupo de los pelágicos costeros son: la anchoveta norteña (*Engraulis mordax*), merluza (*Merluccius productus*), charrito (*Trachurus symmetricus*), sardina monterrey (*Sardinops caeruleus*) y macarela (*Scomber japonicus*). Estas especies por su abundancia, contribuyen con más del 80% del total de larvas en el área de influencia de la Corriente de California. La fracción restante del ictioplancton está integrada por las demás especies, entre las que encontramos las fases larvarias de peces cuyos adultos pertenecen al hábitat mesopelágico y en general la fauna nerítica (Loeb *et al.*, 1983a,b). No obstante, la abundancia relativa entre los pelágicos costeros y el resto de las especies, difiere de región en región; por ejemplo en aguas oceánicas su abundancia es similar entre Baja California Norte y el Golfo de Ulloa, mientras que en las aguas costeras la proporción relativa de la abundancia de los pelágicos costeros es mayor (*Engraulis mordax*, principalmente), entre el sur de California y el Golfo de Ulloa (Loeb *et al.*, 1983a,b; Moser *et al.*, 1993).

La naturaleza transicional de la costa occidental de Baja California Sur está representada por una mezcla de diversas poblaciones de peces, pertenecientes a la fauna templada, tropical y subtropical, que tiene gran diversidad. Los peces con distribución en la zona costera de Baja California Sur y el interior de Bahía

Magdalena se estiman en 344 especies neríticas, pertenecientes a 82 familias de peces Actinopterygii (Eschmeyer & Herald, 1983; De-la-Cruz *et al.*, 1994; Fisher *et al.*, 1995; Moser, 1996).

## OCEANOGRAFÍA Y ÁREA DE ESTUDIO

El área del Pacífico frente a las costas de Baja California Sur se caracteriza por presentar una gran variación hidrográfica anual, entre el flujo de una corriente marina relativamente fría y una cálida, con variaciones de intensidad a través del año (Sverdrup *et al.*, 1942; Hickey, 1979; Lynn & Simpson, 1987). Al mismo tiempo se registran otros eventos oceanográficos de importancia, como son las surgencias costeras, relacionadas con los patrones de circulación de los vientos, las cuales originan procesos de mezcla vertical en la columna de agua (Sverdrup *et al.*, 1942; Nelson, 1977; Huyer, 1983). Aquéllos influyen en los ciclos de producción biológica y, a su vez, determinan en gran medida la estacionalidad de los desoves de peces con huevos y larvas pelágicos. En el área del Pacífico frente a Baja California, estos aspectos son de interés por tratarse de una zona donde confluyen biotas con diferentes afinidades biogeográficas que le confieren una extraordinaria complejidad faunística; la de aguas cálidas del Pacífico Tropical Oriental, la del Norpacífico Central, y la transicional relacionada con la Corriente de California.

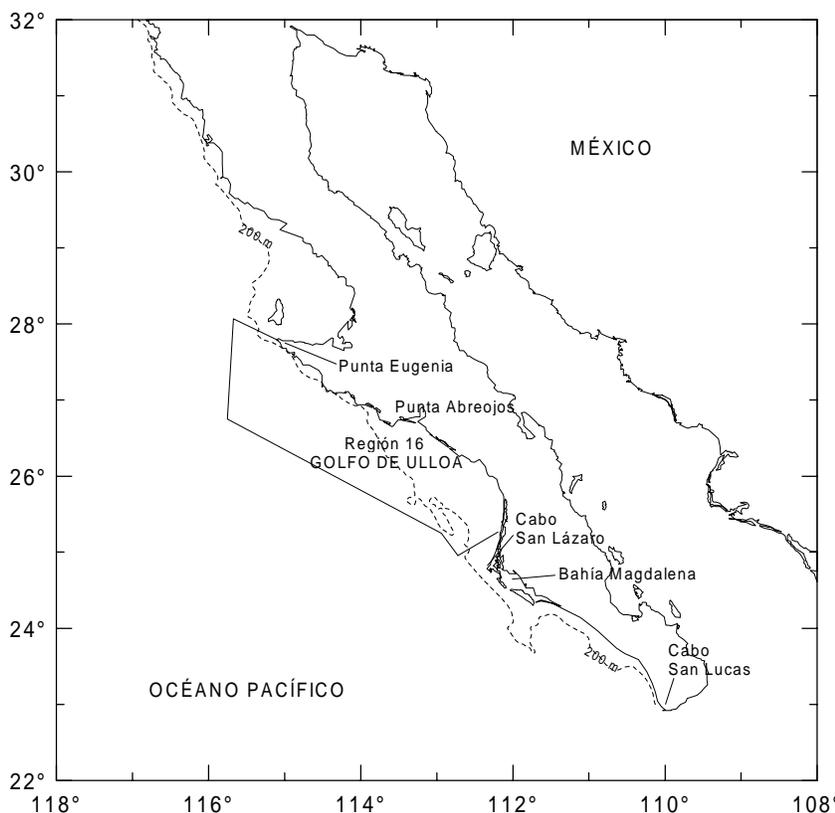
El Niño Oscilación del Sur (ENOS), ha sido un evento que no presenta regularidad ni en su frecuencia ni en su magnitud y fases de desarrollo. En particular, durante el evento ENOS de 1982-1983 se presentó una de las interacciones más intensas océano-atmósfera, al menos de la segunda mitad de este siglo, comparado con cualquier otro evento precedente en el Pacífico Nororiental (Norton *et al.*, 1985; Cannon *et al.*, 1985). Entre los efectos causados por ENOS se reconocen: el aumento en el flujo de agua cálida, surgencia débil, y corrientes anómalas frente a las costas de Baja California y California (Norton *et al.*, 1985).

Los cambios ambientales asociados con el evento de calentamiento pueden ser vistos en la disminución de la productividad biológica en las aguas superficiales (MacLain *et al.*, 1985), así como cambios en la localidad del desove de especies altamente migratorias (Bailey & Incze, 1985; Smith, 1985) y, en consecuencia, alteraciones en la distribución y composición de poblaciones del ictioplancton (Kramer & Ahlstrom, 1968; Kramer, 1970; Moser *et al.*, 1987).

El Golfo de Ulloa se encuentra localizado en la costa occidental de Baja California Sur, aproximadamente entre los 25° y los 27° de latitud Norte y entre los 112° y 114° de longitud Oeste. La plataforma continental presenta una extensión variable que caracteriza a la región por presentar aguas poco profundas, menores a 200 m hasta 45 millas náuticas de la costa, desde el sur de Punta Abreojos hasta cerca de Cabo San Lázaro. Al norte y sur de estas localidades la plataforma es estrecha, con isobatas de 200 m a menos de 15 millas de la costa. El área de estudio corresponde a la región 16 del plan básico de

estaciones CalCOFI, con estaciones ubicadas desde 5 a 50 millas náuticas de la línea de costa (Fig. 1).

La producción biológica del Golfo de Ulloa tiene una estrecha relación con dos ambientes dominantes que son la influencia de la Corriente de California y el ciclo de surgencias, que en conjunto mantienen una alta producción biológica costera durante la primera mitad del año. Algunos ejemplos de ello son los procesos advectivos en la distribución de nutrientes transportados a la zona eufótica, que son altos si se comparan con otras regiones de surgencia ( $80$  milimoles de  $\text{NO}_3\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ). Asimismo un máximo de productividad es alcanzado en primavera y principios de verano que se manifiesta en altas concentraciones de pigmentos fotosintéticos ( $7\text{ mg m}^{-3}$ ) (Zuria-Jordan *et al.*, 1995), y células de fitoplancton ( $5 \times 10^4$  cel/l) (Martínez-López, 1993a), así como de la biomasa del plancton ( $1000\text{-}2000\text{ ml}/1000\text{m}^3$ ) (Hernández-Trujillo *et al.*, 1987). A su vez, un efecto de acumulación en la región costera, tal vez inducido por el transporte y la convergencia de las corrientes, contribuye con valores altos de células del fitoplancton y biomasa del plancton posterior al periodo de intensa surgencia costera (Martínez-López, 1993b; Hernández-Trujillo *et al.*, 1987).



**Figura 1.** Área de estudio, Golfo de Ulloa, costa occidental de Baja California Sur (región 16 CalCOFI).

## Ictioplancton del Golfo de Ulloa

El análisis taxonómico de las larvas de peces del Golfo de Ulloa, entre 1982 y 1985, con un evento ENOS intermedio (1983), destaca por su riqueza de especies. Se recolectaron 120 formas específicas que están incluidas en 81 géneros pertenecientes a 51 familias de peces. Lo que hace un total del 90% de las familias (58) y géneros (90) reportados anteriormente en el ictioplancton de la costa occidental de Baja California Sur (Funes *et al.*, 1995; Funes *et al.*, 1998).

Las larvas de peces del Golfo de Ulloa pertenecen a cinco grupos faunísticos de acuerdo al hábitat de los adultos. Especies de aguas someras (AS), que incluye poblaciones de peces en su mayoría Perciformes de la zona intermareal, playas, estuarios y bahías. Neríticos demersales (D), integrada por poblaciones relacionadas con el fondo de la plataforma continental, como Gadiformes, Scorpaeniformes y Pleuronectiformes. Pelágicos costeros (PC), caracterizado por poblaciones de pelágicos menores (Clupeiformes, principalmente). Epipelágicas (EP), que se distribuyen en aguas epipelágicas entre la costa y aguas oceánicas (Scombroidei, principalmente), Por último, las mesopelágicas (M), como Salmoniformes y Myctophiformes. De acuerdo con esta clasificación, la mayor diversidad taxonómica del Golfo de Ulloa corresponde al grupo de peces de aguas someras (AS), siendo Serranidae, Carangidae y Gobiidae las familias de mayor riqueza de especies, entre otras como Myctophidae y Paralichthyidae cuyos adultos son del hábitat mesopelágico y nerítico demersal, respectivamente (Tabla 1).

La riqueza de especies del Golfo de Ulloa es variable, pero comparativamente es mayor en verano (>50 taxa), mientras que disminuye de invierno a primavera (<23 taxa) (Fig. 2a). La variación en la riqueza de especies, tiene una estrecha relación con la estacionalidad de la temperatura superficial del mar. Esto significa un incremento de las formas específicas de afinidad tropical durante el verano, cuando se registran las más altas temperaturas (24°C) y su disminución con el descenso de la temperatura en invierno y primavera (Fig. 2a).

En el Golfo de Ulloa, el grupo faunístico dominante por su abundancia relativa es el de los pelágicos costeros, de invierno a primavera (90%); mientras que en verano es similar con respecto a la proporción relativa acumulada de las otras fracciones (AS, D, M y EP). Esto se debe a una disminución en la abundancia de los pelágicos costeros durante el periodo cálido de verano. No obstante, no existe un patrón interanual recurrente, sobre todo en los muestreos de verano, cuando la mayor proporción relativa puede estar mejor representada por las formas neríticas (Fig. 2b).

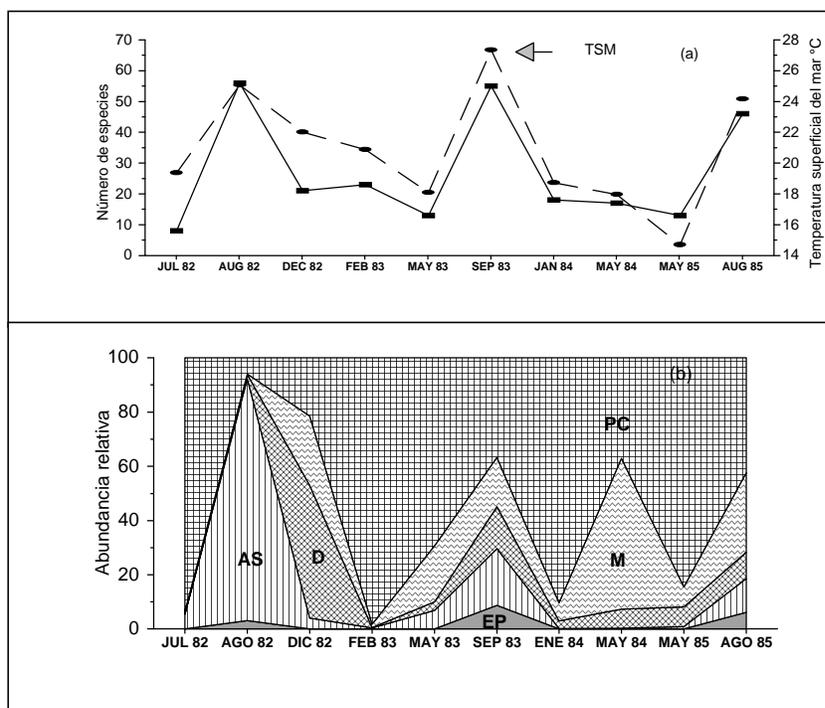
En la fracción de los pelágicos costeros se identifica a *Engraulis mordax* como la especie dominante, por su abundancia de invierno a primavera (alrededor del 75%); mientras que en verano es una combinación de especies de pelágicos costeros y aguas someras (*Opisthonema* spp., Gerreidae y *Chloroscombrus orqueta*) (Tabla 2). La identificación de los taxa que integraron los grupos faunísticos del Golfo de Ulloa, corresponde a un gradiente costa-oceano, en congruencia entre el hábitat de los adultos y la ubicación de sus larvas, que pertenecen en su mayoría a especies pelágicas costeras y de aguas someras,

**Tabla 1.** Listado sistemático de larvas de peces recolectadas en el Golfo de Ulloa, B.C.S. 1982-1985.

Hábitat	Especie	Hábitat	Especie	Hábitat	Especie
AS	<b>Ophichthidae</b>	AS	<b>Syngnathidae</b>	D	<b>Uranoscopidae</b>
	<b>Congridae</b>		<i>Syngnathus californiensis</i>	D	<i>Kathetostoma averruncus</i>
AS	<i>Gnathophis sp.</i>		<b>Scorpaenidae</b>	D	<i>Astroscopus zephyreus</i>
	<b>Clupeidae</b>	D	<i>Pontinus sp.</i>	AS	<b>Tripterygiidae</b>
PC	<i>Etrumeus teres</i>	D	<i>Scorpaenodes xyris</i>		<b>Labrisomidae</b>
PC	<i>Opisthonema spp.</i>	D	<i>Sebastes macdonali</i>	AS	<i>Labrisomus multiporosus</i>
PC	<i>Sardinops caeruleus</i>	D	<i>Sebastes spp.</i>	AS	<i>Labrisomus xanti</i>
	<b>Engraulidae</b>		<b>Triglidae</b>	AS	<b>Dactyloscopidae</b>
AS	<i>Anchoa spp.</i>	AS	<i>Prionotus ruscarius</i>		<b>Blenniidae</b>
PC	<i>Engraulis mordax</i>	AS	<i>Prionotus stephanophrys</i>	AS	<i>Hypsoblennius gentilis</i>
	<b>Argentinidae</b>		<b>Serranidae</b>	AS	<i>Hypsoblennius jenkinsi</i>
M	<i>Argentina sialis</i>	AS	<i>Anthinae</i>	AS	<i>Hypsoblennius spp.</i>
	<b>Bathylagidae</b>	AS	<i>Diplectrum spp.</i>		<b>Callionymidae</b>
M	<i>Bathylagus wesethi</i>	AS	<i>Epinephelus sp.</i>	AS	<i>Synchiropus atrilabiatum</i>
M	<i>Leuroglossus stilbius</i>	AS	<i>Paralabrax auroguttatus</i>		<b>Gobiidae</b>
	<b>Gonostomatidae</b>	AS	<i>Paralabrax maculatofasciatus</i>	AS	<i>Gibbonsia elegans</i>
M	<i>Cyclothone acclinidens</i>	AS	<i>Paralabrax nebulifer</i>	AS	<i>Gobionellus sagittula</i>
	<b>Phosichthyidae</b>	AS	<i>Serranus sp.</i>	AS	<i>Gobulus sp.</i>
M	<i>Vinciguerria lucetia</i>		<b>Priacanthidae</b>	AS	<i>Guillichthys mirabilis</i>
	<b>Stomiidae</b>	AS	<i>Pristigenys serrula</i>	AS	<i>Ilypnus gilberti</i>
M	<i>Stomias atriventer</i>		<b>Apogonidae</b>	AS	<i>Microgobius sp.</i>
	<b>Synodontidae</b>	AS	<i>Apogon retrosella</i>	AS	<i>Quietula y-cauda</i>
D	<i>Synodus lucioceps</i>		<b>Carangidae</b>		<b>Sphyraenidae</b>
	<b>Paralepididae</b>	AS	<i>Caranx caballus</i>	AS	<i>Sphyraena argentea</i>
M	<i>Arctozenus risso</i>	AS	<i>Caranx sexfasciatus</i>	AS	<i>Sphyraena ensis</i>
	<b>Myctophidae</b>	AS	<i>Chloroscombrus orqueta</i>		<b>Scombridae</b>
M	<i>Benthoosema panamense</i>	AS	<i>Oligoplites saurus</i>	EP	<i>Auxis spp.</i>
M	<i>Ceratoscopelus townsendi</i>	AS	<i>Oligoplites sp.</i>	PC	<i>Sarda chiliensis</i>
M	<i>Diaphus pacificus</i>	AS	<i>Selene peruviana</i>	PC	<i>Scomber japonicus</i>
M	<i>Diogenichthys laternatus</i>	AS	<i>Trachinotus paitensis</i>		<b>Paralichthyidae</b>
M	<i>Gonichthys tenuiculus</i>		<b>Coryphaenidae</b>	D	<i>Citharichthys fragilis</i>
M	<i>Hygophum atratum</i>	EP	<i>Coryphaena hippurus</i>	D	<i>Citharichthys platophrys</i>
M	<i>Lampantactus parvicauda</i>		<b>Lutjanidae</b>	D	<i>Citharichthys sordidus</i>
M	<i>Nannobranchium idostigma</i>	AS	<i>Lutjanus sp.</i>	D	<i>Citharichthys spp.</i>
M	<i>Protomyctophum crockeri</i>	AS	<b>Gerreidae</b>	D	<i>Citharichthys stigmaeus</i>
M	<i>Triphoturus mexicanus</i>	AS	<b>Haemulidae</b>	D	<i>Citharichthys xanthostigma</i>
	<b>Merlucciidae</b>		<b>Sparidae</b>	D	<i>Etopus crossotus</i>
D	<i>Merluccius productus</i>	AS	<i>Calamus brachysomus</i>	D	<i>Hippoglossina stomata</i>
	<b>Ophidiidae</b>		<b>Sciaenidae</b>	D	<i>Syacium ovale</i>
D	<i>Ophidion scrippsae</i>	AS	<i>Roncador stearnsii</i>		<b>Bothidae</b>
D	<i>Lepophidium negropinna</i>	AS	<i>Cynoscion parvipinnis</i>	D	<i>Bothus leopardinus</i>
	<b>Ophichthidae</b>	AS	<b>Mullidae</b>		<b>Pleuronectidae</b>
D	<i>Ophichthus triserialis</i>	AS	<b>Kyphosidae</b>	D	<i>Pleuronichthys verticalis</i>
	<b>Melanocetidae</b>		<b>Chaetodontidae</b>	D	<i>Pleuronichthys ritteri</i>
M	<i>Melanocetus sp.</i>	AS	<i>Chaetodon sp.</i>		<b>Cynoglossidae</b>
	<b>Atherinidae</b>		<b>Pomacentridae</b>	D	<i>Symphurus atricaudus</i>
AS	<i>Atherinops affinis</i>	AS	<i>Stegastes rectifraenum</i>	D	<i>Symphurus elongatus</i>
	<b>Hemiramphidae</b>		<b>Mugilidae</b>	D	<i>Symphurus spp.</i>
AS	<i>Oxyporhamphus micropterus</i>	AS	<i>Mugil cephalus</i>		
	<b>Caproidae?</b>		<b>Labridae</b>		
EP	<i>Antigonia crapos?</i>	AS	<i>Halichoeres semicinctus</i>		
		AS	<i>Oxyjulis californica</i>		

Hábitat del adulto: PC, pelágico costera; M, mesopelágica; D, nerítico demersal; AS, aguas someras

mientras que las de origen mesopelágico son escasas. Esto significa que la tendencia de asociación de las larvas señalan, como el más importante de los componentes el área de desove, que a su vez está íntimamente ligada al hábitat de los adultos. Las familias de peces más representativas por su abundancia y riqueza de especies del Golfo de Ulloa, son: Clupeidae, Engraulidae, Serranidae, Carangidae, Gerreidae y Gobiidae. A su vez, las larvas de estas familias han sido reconocidas como representativas del sistema lagunar adyacente, Bahía



**Figura 2.** (a) Riqueza de especies línea continua y temperatura superficial del mar TSM línea quebrada; (b) abundancia relativa 10 m<sup>2</sup> de superficie marina de larvas de peces en el Golfo de Ulloa, Baja California Sur de 1982 a 1985. Pc, pelágicos costeros; M, mesopelágicos; D, demersales; AS, aguas someras; EP, epipelágicos.

**Tabla 2.** Abundancia relativa en 10m<sup>2</sup> de superficie marina de las larvas de peces más abundantes del Golfo de Ulloa, B.C.S. 1982-1985.

		JUL 82	AGO 82	DIC 82	FEB 83	MAY 83	SEP 83	ENE 84	MAY 84	MAY 85	AGO 85
No. especies total mensual		8	56	21	23	13	55	18	17	13	46
Abundancia total mensual		690.2	7527.6	1327.7	28664.6	399.6	8354.5	13972.4	2957.4	2847.1	7525.8
<b>Hábitat</b>	<b>Especies</b>										
PC	<i>Etrumeus teres</i>		0.56	1.00	0.14		0.90				12.16
PC	<i>Opisthonema spp.</i>		2.17	0.02			35.47				24.80
PC	<i>Sardinops caeruleus</i>		10.87		3.50	0.11		38.24	11.96		3.24
PC	<i>Engraulis mordax</i>		78.26		16.00	71.62	69.34	51.67	25.13	84.43	0.37
M	<i>Vinciguerria lucetia</i>			0.13	8.50	0.60	6.28	14.09	2.22	28.46	2.09
D	<i>Synodus lucioceps</i>			0.03	16.50			0.78	0.25		0.71
M	<i>Diogenichthys laternatus</i>		1.09			0.31	5.30	0.87	3.54	2.80	6.82
M	<i>Triphoturus mexicanus</i>					0.03	7.13	2.21	0.32	22.83	5.21
D	<i>Sebastes spp.</i>			0.59			0.32	1.51	0.16	1.65	5.45
AS	<i>Chloroscombrus orqueta</i>			41.73				9.34			3.75
AS	Gerreidae		1.09	31.49				3.66			1.22
AS	<i>Hypsoblennius spp.</i>		4.35	0.18			5.24	0.15	0.08	0.14	0.29
EP	<i>Auxis spp.</i>			2.39				8.03			2.89
PC	<i>Scomber japonicus</i>			0.17	1.00	25.85			0.04		1.75
D	<i>Etropus crossotus</i>			0.65	24.50	0.04		1.80			

Especies con la mayor abundancia relativa área sombreada. PC, pelágicos costeros; M, mesopelágicos; D, nerítico demersales; AS, aguas someras; EP, epipelágicos.

Magdalena (Funes *et al.*, 1998) y, en general, como adultos de otras lagunas y estuarios del litoral del Pacífico Mexicano.

Las larvas de peces de las 16 especies más abundantes del Golfo de Ulloa presentaron una variación estacional originada por la influencia de las aguas subtropicales, en verano, o de la Corriente de California, en invierno y primavera. Sin embargo, la falta de un patrón interanual recurrente parece tener relación con las variaciones generadas durante el evento de calentamiento ENOS. Durante éste, las anomalías térmicas mostraron su desarrollo costero más intenso en otoño de 1983 y persistieron por lo menos hasta el verano de 1984 (Petersen *et al.*, 1986). Algunas evidencias del evento de calentamiento en el área de estudio son: la disminución en la abundancia de larvas de *E. mordax* en enero de 1984, con respecto al año anterior, y el incremento en la abundancia de algunas especies de afinidad tropical durante 1983 y 1984 (*Vinciguerria lucetia*, *Opisthonema* spp. y *Auxis* spp.) (Tabla 2), que confirman la hipótesis de que durante el evento ENOS, ocurre una alteración en los patrones de distribución de las poblaciones, que se registra en el incremento de formas tropicales y la disminución de las especies de afinidad templado-cálida.

## CONSIDERACIONES FINALES

El Golfo de Ulloa se puede considerar como una región costera con gran riqueza de especies y alta productividad primaria y secundaria, que explican la presencia de un Centro de Actividad Biológica (BAC). La producción biológica del Golfo de Ulloa tiene una estrecha relación con dos ambientes dominantes, que son: el ciclo de surgencia y el patrón estacional de corrientes marinas, que en combinación con las diferentes estrategias de reproducción de las especies, hacen posible la conjunción de biotas de diferentes afinidades, y que a su vez identifican a esta región como una zona de desove de diferentes especies pelágicas costeras y neríticas demersales; entre las que destaca por su abundancia la anchoveta del norte.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bailey, K.M. & L.S. Incze. 1985. El Niño and the early life history and recruitment of fishes in temperate marine waters, 143-165. En: Wooster, W. S. & D.L. Fluharty (Eds.). El Niño North: Niño effects in the Eastern Subartic Pacific Ocean. Univ. Washington, Seattle. 312 p.
- Cannon, G.A., R. K. Reed & P.E. Smith. 1985. Comparison of El Niño events off the Pacific Northwest, 75-84. En: Wooster W. S. & D. L. Fluharty (Eds.). El Niño North: Niño effects in the Eastern Subartic Pacific Ocean. Univ. Washington, Seattle. 312 p.
- De-la-Cruz-Agüero, J., F. Galván-Magaña, L.A. Abitia-Cárdenas, J. Rodríguez-R. & F.J. Gutiérrez-S. 1994. Systematic list of marine fishes from Bahía Magdalena, Baja California Sur (México). Cien. Mar. 20: 17-31.
- Doyle, M.J. 1992. Patterns in distribution and abundance of ichthyoplankton off

- Washington, Oregon, and northern California (1980 to 1987). Alaska Fisheries Science Center, Natl. Mar. Fish. Serv., U. S. Depto. of Commer., Processed Rep. 92-14: 344 p.
- Doyle, M.J., W.W. Morse & A.W. Kendall, Jr. 1993. A comparison of larval fish assemblages in temperate zone of the northeast Pacific and northwest Atlantic oceans. Advances in the early life History of fishes, part 1-2. Bull. mar. Sci. 53 (2): 588-644.
- Eschmeyer, W.N. & E.S. Herald. 1983. A field guide to Pacific coast fishes of North America. Houghton Mifflin. 336 p.
- Funes-Rodríguez, R., R. González-A. & A. Esquivel-H. 1995. Distribución y composición específica de larvas de peces durante y después de El Niño, en la costa del Pacífico de Baja California Sur (1983-1985). Hidrobiológica. 5 (1-2): 113-125.
- Funes-Rodríguez, R., M.A. Fernández-A. & R. González-A. 1998. Larvas de peces recolectadas durante dos eventos El Niño en la costa occidental de Baja California Sur, México 1958-1959 y 1983-1984. Oceánides. 13 (1): 67-75.
- Hernández-Trujillo, S., A. Esquivel H. & R. Saldierna-M. 1987. Biomasa zooplanctónica en la costa oeste de Baja California Sur (1982-1985), 161-170. En: Ramírez, E.M. (Ed.). Mem. Simp. Invest. Biol. Ocean. Pesq. Méx. CICIMAR, La Paz, B.C.S., México. 183 p.
- Hickey, B.M. 1979. The California Current System-Hypotheses and facts. Prog. Oceanogr. 8: 191-279.
- Huyer, A. 1983. Coastal upwelling in the California Current System. Prog. Oceanogr. 12: 259-284.
- Kramer, D. 1970. Distributional atlas of fish eggs and larvae in the California Current region: Pacific sardine, *Sardinops caerulea* (Girard), 1951 through 1966. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Atlas 12. 269 p.
- Kramer, D. & E.H. Ahlstrom. 1968. Distributional atlas of fish larvae in the California Current region: Northern anchovy, *Engraulis mordax* (Girard), 1951 through 1965. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Atlas 9. 269 p.
- Leiby, M.M. 1986. Life history and ecology of pelagic fish eggs and larvae, 121-140. En: Steidinger, K.A. & L.M. Walker (Eds.). Marine plankton life cycle strategies. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida: 350 p.
- Loeb, V.J., P.E. Smith & H.G. Moser. 1983a. Ichthyoplankton and zooplankton abundance patterns in the California current area, 1975. Cal COFI Rep. 24: 109-131.
- Loeb, V.J., P.E. Smith & H.G. Moser. 1983b. Geographical and seasonal patterns of larval fish structure in the California Current area, 1975. CalCOFI Rep. 24: 132-151.
- Lynn, R.J. & J.J. Simpson. 1987. The California Current System: The seasonal

- variability of its physical characteristics. J. Geoph. Res. 92 (C12):12947-12966.
- Martínez-López, A. 1993a. Efectos del evento El Niño 1982-83 en la estructura del fitoplancton en la costa occidental de Baja California Sur. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, Baja California Sur, México, 95 p.
- Martínez-López, A. 1993b. Distribución espacial del fitoplancton asociada con frentes en la costa occidental de Baja California Sur. Inv. Mar. CICIMAR. 8 (2): 71-86.
- Moser, H.G. 1996 (ed). The early stages of fishes in the California Current region. CalCOFI Atlas. 33: 1505 p.
- Moser, H.G., P.E. Smith & L.E. Eber. 1987. Larval fish assemblages in the California Current region, 1954-1960, A period of dynamic environmental change. CalCOFI Rep. 28: 97-127.
- Moser, H.G., R.L. Charter, P.E. Smith, D.A. Ambrose, S.R. Charter, C.A. Meyer, E.M. Sandknop & W. Watson. 1993. Distributional atlas of fish larvae and eggs in the California Current region: taxa with 1000 or more total larvae, 1951 through 1984. CalCOFI Atlas. 31. 233p.
- Moser, H.G. & P.E. Smith. 1993. Larval fish assemblages of the California current region and their horizontal and vertical distributions across a front. Advances in the early life History of fishes, part 1-2. Bull. mar. Sci. 53 (2): 644-691.
- Nelson, C.S. 1977. Wind stress and wind stress curl over the California Current. U. S. Department of Commerce. National Oceanic and Atmospheric Administration Tech. Rep. 714. 87 p.
- Norton, D.J., R. McLain, R. Brainard & D. Husby. 1985. The 1982-83 El Niño event off Baja and Alta California and its ocean climate context, 44-72. En: Wooster W.S. & D.L. Fluharty (Eds.). El Niño North: NIÑO effects in the Eastern Subartic Pacific Ocean. Univ. Washington, Seattle. 312 p.
- Olivar, M.P. & P.A. Shelton. 1993. Larval fish assemblages of the Benguela current. Advances in the early life History of fishes, part 1-2. Bull. mar. Sci. 53 (2): 450-474.
- Pearcy, W.G., J.P. Fisher, G. Anna & T. Meguro. 1996. Species associations of epipelagic nekton of the North Pacific Ocean, 1978-1993. Fish. Oceanogr. 5 (1): 120.
- Richardson, S.L., J.L. Laroche & M.D. Richardson. 1980. Larval fish assemblages and associations in the North-east Pacific Ocean along the Oregon coast, winter-spring 1972-1975. Estuarine and Coastal Marine Science. II: 671-699.
- Smith, P.E. 1985. A case history of Anti- to El Niño transition on plankton and nekton distribution and abundances, 121-142. En: Wooster W.S. & D.L.

- Fluharty (Eds.). El Niño North: Niño effects in the Eastern Subartic Pacific Ocean. Univ. Washington, Seattle. 312 p.
- Smith, P.E. & R. Lasker. 1978. Position of larval fish in an ecosystem. Rapp. P.- v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 173: 77-84.
- Sverdrup, H.V., M.W. Johnson & R.H. Fleming. 1942. The oceans: their physics, chemistry and general biology. Prentice Hall. Englewood Cliffs, N. J. 1087 p.
- Zuria-Jordan, I.L., S. Alvarez-B., E. Santamaría-D. & F.E. Muller-K. 1995. Estimación de biomasa fitoplanctónica, derivada de datos de satelite, frente a Baja California Sur. Ciencias Marinas, 21 (3): 265-280.

# 14

## **BAC VERSUS ÁREAS ADYACENTES: UNA COMPARACIÓN DE LA VARIABILIDAD INTERANUAL DE PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS A PARTIR DEL COASTAL ZONE COLOR SCANNER (CZCS)**

*Daniel B. Lluch-Cota<sup>1</sup> & Georgina Teniza-Guillén<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Apartado Postal 128, La Paz B.C.S. México 23000. E-mail: dblluch@cibnor.mx <sup>2</sup> Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco.

### **RESUMEN**

Se examina la hipótesis de que los Centros de Actividad Biológica (BAC) propuestos para el noroeste mexicano mantienen biomásas fitoplanctónicas relativamente elevadas y estables, respecto de áreas adyacentes y de la generalidad de los sistemas que los incluyen (Golfo de California y costa occidental de la península de Baja California). La información de pigmentos fotosintéticos derivados del Coastal Zone Color Scanner (CZCS) se procesó mediante interpolación, hasta lograr imágenes bimestrales para el periodo 1980-1985. Las medias por área se compararon mediante una prueba de signos, y se probaron correlaciones no paramétricas entre cada área y el sistema correspondiente. Los resultados confirman una elevada biomasa fitoplanctónica en la generalidad de los BAC; no así su persistencia en la escala interanual y en especial ante los efectos de El Niño 1982-1983. Tanto los BAC como las áreas adyacentes reflejan las variaciones del sistema; no obstante, las mismas condiciones que distinguen a los BAC parecen implicar que éste pueda ser un mal indicador de la variabilidad del sistema, lo que haría necesario considerar también a las áreas adyacentes en el diseño de esquemas de muestreo.

**Palabras clave:** Centro de Actividad Biológica, Golfo de California, Costa Occidental, Baja California, Fitoplancton, CZCS, Variabilidad interanual, El Niño.

### **ABSTRACT**

It is examined the hypothesis that the Biological Activity Centers (BAC)

proposed for the Mexican northwest maintain relatively high and stable phytoplanktonic biomasses compared to the adjacent areas and the generality of the systems that include them (Gulf of California and western coast of the Baja California Peninsula). The information on photosynthetic pigments derived from the Coastal Zone Color Scanner (CZCS) was processed by interpolation to generate bimonthly images for the period 1980 – 1985. The averages by area were compared by a test of signs, and non parametric correlations between each area and the corresponding system were tested. The results confirm a high phytoplanktonic biomass in the generality of the BACs; not so their persistence at the interannual scale and specially at the effects from El Niño 1982 – 1983. Both the BACs and the adjacent areas reflect the variations of the system; nevertheless, the same conditions that distinguish the BACs seem to imply that this could be a bad indicator of the variability of the system. This would make necessary to consider also the adjacent areas in the design of sampling strategies.

**Key words:** Biological Activity Canter, Gulf of California, Western Coast, Baja California, phytoplankton, CZCS, Interannual variability, El Niño.

## INTRODUCCIÓN

Los últimos años han visto un cambio cualitativo de la ecología marina; a partir de un reconocimiento cada vez mayor de las diferencias fundamentales entre el océano y la tierra, esta disciplina ha ido revisando, adecuando, e incluso remplazando algunos de sus conceptos más tradicionales (Mann & Lazier, 1996). Un ejemplo reciente es la propuesta de la "triada" de Bakun (1996), quién postuló las características fundamentales de la producción biológica marina a partir de tres procesos; enriquecimiento, concentración y retención, cuya ocurrencia resultaría en un hábitat favorable para desarrollo de los estadios larvarios planctónicos que caracterizan a la mayor parte de las especies marinas.

Una implicación de esta hipótesis se deriva de la escala espacial de los procesos involucrados: aunque el enriquecimiento puede ocurrir en áreas extensas (p.e. un corredor de surgencias), la generalidad de los procesos que favorecerían la concentración y la retención, como los giros y los frentes, corresponden a la mesoescala. Ello significaría que la producción biológica en el océano podría estar concentrada en áreas relativamente pequeñas; de ser así, éstas podrían facilitar significativamente el estudio de los ecosistemas marinos, ya que su muestreo podría ser suficiente para caracterizar variaciones en la producción del sistema en su conjunto (Martínez-García & Lluch-Belda, 2000).

Es claro que, entre especialistas, siempre ha existido el reconocimiento tácito de que ciertas áreas son notablemente más productivas que la generalidad de la zona costera. Evidentemente que las causas han sido objeto de estudio, si bien más sobre la base de las particularidades de cada caso que partiendo de un enfoque comparativo que permita definir las como principios ecológicos generales. Esta generalización sería la aportación sustancial que se pretende lograr con el desarrollo del modelo del Centro de Actividad Biológica, o BAC por sus siglas en inglés. Los primeros pasos se dieron en talleres de trabajo

financiados por el Instituto Interamericano para el Estudio del Cambio Global (Lluch-Belda, 1997). Estos permitieron avanzar en forma significativa en la precisión de la hipótesis de trabajo, así como de las actividades de investigación que su exámen requerirá en el corto y mediano plazos.

En cambio, ni el formato ni los objetivos de los talleres, orientados mayormente a la planeación de la investigación, permitieron concluir sobre algunos aspectos, y especialmente sobre la definición formal del BAC. Por el contrario, su discusión por parte de expertos con especialidades y ópticas diferentes hizo evidentes las dificultades que el ejercicio implica. Estas son abordadas en detalle en otros capítulos del presente (p.e., Lluch-Belda, 2000); baste mencionar aquí que el concepto debe integrar dos aspectos fundamentales: uno formal, en cuanto a la identificación de los mecanismos físicos que expliquen la existencia de los BAC; y uno intuitivo, en cuanto al reconocimiento generalizado de que estas áreas especialmente productivas efectivamente existen.

Para el caso del noroeste mexicano se propuso la existencia de cuatro BAC, tres ubicados en la costa occidental de la península de Baja California (Punta Baja, Punta Eugenia y Bahía Magdalena), y uno más correspondiente a la región del Canal de Ballenas en el Golfo de California. En esa etapa inicial de los trabajos, la propuesta debió basarse en la información relevante ya existente: (1) la pesquera, en cuanto a identificar regiones a las que el esfuerzo pesquero se dirige consistentemente; (2) la de programas como el California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations (CalCOFI) y los del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR), dedicados al estudio de la distribución y abundancia de estadios tempranos de las especies de pelágicos menores; y (3) la de pigmentos fotosintéticos derivada de satélite.

Un ejemplo de la primera fuente es la integración del conocimiento pesquero para Baja California Sur realizada por Casas-Valdez & Ponce-Díaz (1996), que incluyó las principales zonas de pesca de los diferentes recursos. De este ejercicio resulta claro que, en relación con otras áreas de la costa occidental del Estado, las inmediaciones de Punta Eugenia proporcionan capturas comparativamente elevadas de un buen número de recursos; desde invertebrados bentónicos de elevado valor comercial (León-Carballo & Muciño-Díaz, 1996; Vega *et al.*, 1996; Singh, 1996; Morales & Cáceres, 1996); hasta un buen número de especies demersales (Balart, 1996a; Ramírez-Rodríguez, 1996). Quizá más significativo como evidencia de su producción biológica, la zona presenta concentraciones importantes de poblaciones masivas de macroalgas (Casas-Valdez & Hernández-Guerrero, 1996; Casas-Valdez *et al.*, 1996), langostilla (Balart, 1996b) y pelágicos menores (Rodríguez-Sánchez *et al.*, 1996).

Respecto de la segunda fuente de información, Lluch-Belda *et al.* (1991, 1992) analizaron los registros del Programa CalCOFI e identificaron a Punta Eugenia como una región en la que el desove de la sardina (*Sardinops caeruleus*) ocurre a lo largo de todo el año, a diferencia del desove estacional que se registra en otras áreas de la costa occidental (véase también Hernández-Rivas *et al.*, 2000).

Aunque no tan notable en términos de persistencia como Punta Eugenia, la zona de Punta Baja también se destacó como una en las que el desove de sardina es relativamente intenso. En el extremo sur, los trabajos ictioplanctónicos y fitoplanctónicos del CICIMAR indican que el área adyacente a Bahía Magdalena destaca por su productividad y por la intensidad del desove de algunas especies de pelágicos menores (Funes-Rodríguez *et al.*, 2000; Martínez-López & Verdugo-Díaz, 2000).

Para el Golfo de California, algunos estudios *in situ* han mostrado que la región de las Grandes Islas mantiene niveles de producción primaria durante todo el año, como resultado del enriquecimiento que genera la mezcla por mareas (p.e., Badán-Dangón *et al.*, 1985; Alvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991). Lluch-Belda *et al.* (1986) propusieron, sobre la base de la presencia de sardina en esta zona, que las inmediaciones de las grandes islas constituyen el único reducto de dicha población durante eventos de calentamiento. Trabajos más recientes (Lluch-Cota *et al.*, 1999; Lluch-Cota, 2000) han mostrado que el área principal de desove de la especie coincide con la región para la cual la modelación oceanográfica sugiere la existencia de giros de mesoescala, que se suponen favorecen la retención y concentración de los productos del desove. La experiencia pesquera también señala esta particularidad: en periodos en los que la disponibilidad de la sardina ha disminuido en las áreas tradicionales de pesca, mucho del esfuerzo del esfuerzo exitoso se obtiene de esta región (Nevárez-Martínez, 2000).

A estas y otras evidencias, acumuladas por los diversos grupos de trabajo a lo largo de varios años, se han venido a sumar recientemente las estimaciones de biomasa fitoplanctónica mediante sensores remotos. Si bien existen discrepancias respecto de la precisión de las estimaciones en escalas espaciales y temporales finas, no hay duda de que éstas son muy útiles para realizar estudios comparativos, por su gran cobertura espacial y temporal. En consecuencia, su análisis ha sido uno de los elementos utilizados para proponer la existencia de BAC en las regiones mencionadas. En general, los resultados sugieren que la biomasa fitoplanctónica de estas zonas se mantiene relativamente elevada a lo largo del ciclo estacional promedio (Arias Aréchiga, 1998; Lluch-Belda, 2000; Lluch-Cota & Arias-Aréchiga, 2000; Morales-Zárate, 1999; Morales-Zárate *et al.*, 2000).

La presente investigación busca determinar si esta característica persiste en la escala interanual, en especial durante periodos de empobrecimiento fitoplanctónico como los que acompañan el desarrollo de eventos El Niño en la región (Lluch-Cota *et al.*, 1995, 1999). Colateralmente, se plantea determinar si la variabilidad de la biomasa fitoplanctónica en los BAC puede o no ser indicativa de la variabilidad en la totalidad del sistema. Esta propiedad, implícita en el supuesto de que los BAC concentran una proporción significativa de la productividad biológica total, es importante desde una perspectiva práctica ya que implicaría la factibilidad de establecer esquemas de muestreo restringidos. En contraparte, es posible que las mismas condiciones que distinguen a los BAC del resto del sistema impliquen que el BAC sea un mal indicador de la

variabilidad regional, lo que haría necesario plantear esquemas de muestreo que incluyan tanto al BAC como al área adyacente.

### MÉTODOS

Los datos de concentración pigmentaria fueron obtenidos de la base de datos CD-ROM, USA-NASA-JPL-PODAAC-A005 V. 1.0, publicada por el Jet Propulsion Laboratory de la National Ocean Atmosphere Administration de los Estados Unidos (Tran *et al.*, 1993). La base está integrada a partir de las observaciones de irradiancias en bandas del espectro visible, obtenidas durante la fase experimental de prueba del sensor Coastal Zone Color Scanner (CZCS) el cual estuvo en operación entre 1978 y 1986. La base incluye la aplicación del algoritmo de transformación, un control de calidad de los datos, y un pre-procesamiento consistente en la estimación de medias mensuales por fotel para todo el periodo. De estos datos se extractaron las medias mensuales para todos los foteles incluidos en las áreas totales presentadas en la Figura 1.

La resolución temporal del análisis se determinó examinando gráficamente la cobertura del sensor para los siguientes intervalos: mensual (*i.e.*, la resolución original de la base de datos), bimestral (promedio de dos medias mensuales consecutivas por fotel) y estacional (promedio de tres medias mensuales consecutivas por fotel). Se optó por la resolución bimestral, ya que la mensual original no permite estimar valores para los cuadrantes seleccionados (BAC y no BAC) en un número elevado de meses, especialmente los de verano cuando la presencia de huracanes y tormentas ocasiona nublados frecuentes y extensos. Pese a la reducción de la escala, se observó una pobre cobertura para dos periodos, mayo-agosto de 1984 en el Golfo de California, y mayo-octubre del mismo año en la costa occidental, que por lo tanto fueron excluidos del análisis.

Una vez definida la resolución temporal, cada imagen mensual fue completada mediante la interpolación en dos dimensiones (latitud y longitud) de los datos existentes. Dado que los campos de pigmentos no siguen gradientes suaves ni extendidos, se buscó minimizar el error aplicando un interpolador de tipo exacto (*i.e.*, que conserva los datos observados y utiliza los interpolados sólo para remplazar los faltantes), una resolución espacial que se aproxima a la original, y el menor radio de búsqueda posible. A fin de evidenciar el ciclo estacional, por cada fotel se estimó un valor medio bimestral representativo en la siguiente forma:

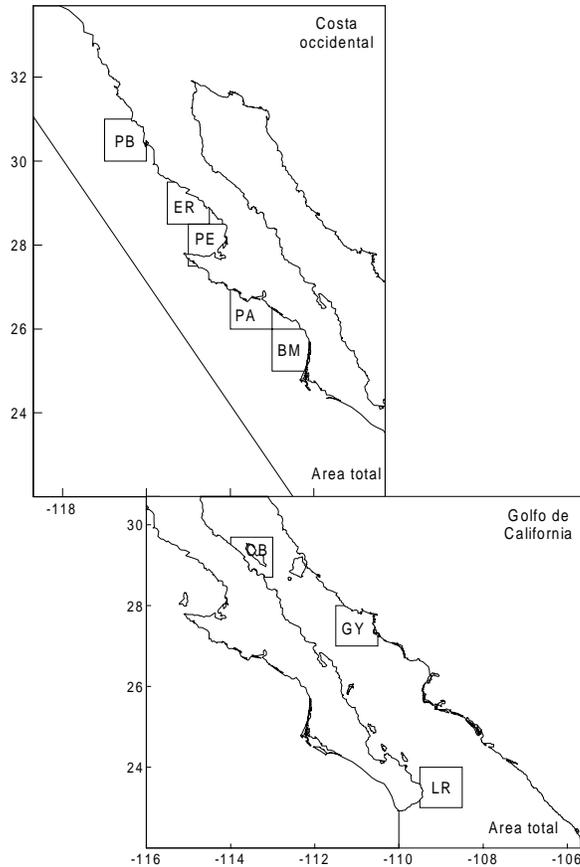
$$B(F_{m1,m2}) = \left( \sum_{i=1}^{n1} F_{m1i} + \sum_{i=1}^{n2} F_{m2i} \right) / (n1+n2) \dots \dots \dots \text{(ec. 1)}$$

Donde:

**B(F<sub>m1,m2</sub>)** es el valor medio del fotel F para el bimestre m<sub>1</sub> - m<sub>2</sub> (p.e., bimestre enero - febrero).

**F<sub>m1i</sub>** es la i-ésima observación para el fotel F y el mes m<sub>1</sub> (p.e., enero)

**n<sub>1</sub>** es el número de observaciones para el fotel F y el mes m<sub>1</sub>, y alcanza un



**Figura 1.** Areas utilizadas para el análisis. Arriba: costa occidental; área total y cuadrantes aledaños a Punta Baja (PB), El Rosario (ER), Punta Eugenia (PE), Punta Abrejos (PA) y Bahía Magdalena (BM). Abajo: Golfo de California; área total y cuadrantes aledaños al Canal de Ballenas (CB), Guaymas (GY) y La Rivera (LR).

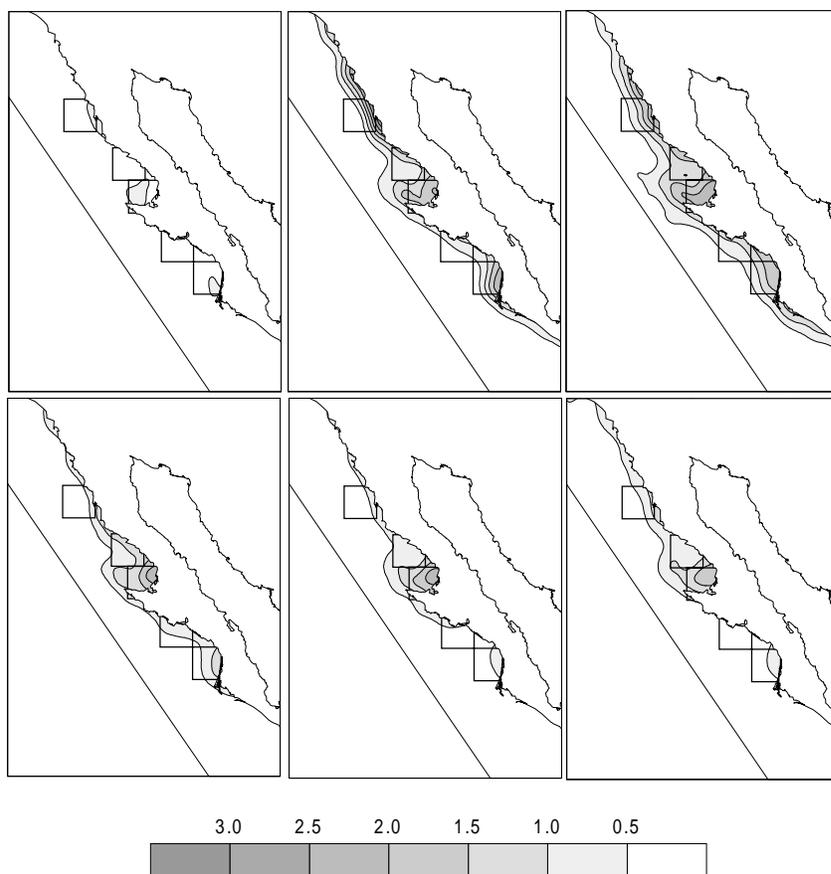
valor máximo de nueve (p.e., nueve valores para los meses de enero entre 1978 y 1986).

**F<sub>m2i</sub>** es la i-ésima observación para el fotel F y el mes m<sub>2</sub> (p.e., febrero).

**n<sub>2</sub>** es el número de observaciones para el fotel F y el mes m<sub>2</sub>, y alcanza un valor máximo de nueve (p.e., nueve valores para los meses de febrero entre 1978 y 1986).

Los valores obtenidos fueron agrupados y graficados en imágenes promedio por bimestre (seis imágenes por área, Figs. 2 y 3). Respecto de las imágenes individuales, los foteles fueron promediados por bimestre conforme a:

$$M(F_{m1i}, F_{m2i}) = [(F_{m1i} + F_{m2i})/2] \dots\dots\dots(\text{ec. 2})$$



**Figura 2.** Isolíneas de concentración pigmentaria ( $\text{mg}\cdot\text{m}^3$ ) en la costa occidental, medias bimensuales (de izquierda a derecha y de arriba a abajo) para el periodo 1980-1985.

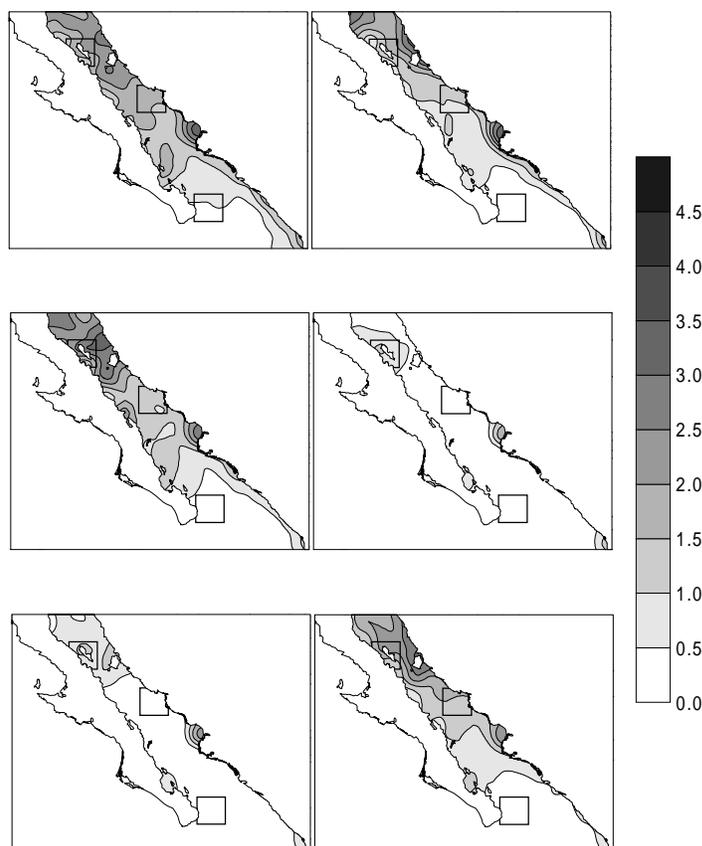
Donde:

$M(\mathbf{F}_{m1i}, \mathbf{F}_{m2i})$  es el  $i$ -ésimo valor medio (i.e., promedio de dos meses) del fotel  $F$  para el bimestre  $m_1i - m_2i$  (p.e., bimestre enero - febrero de 1980).

$\mathbf{F}_{m1i}$  es la  $i$ -ésima observación para el fotel  $F$  y el mes  $m_1$  (p.e., enero de 1980).

$\mathbf{F}_{m2i}$  es la  $i$ -ésima observación para el fotel  $F$  y el mes  $m_2$  (p.e., febrero de 1980).

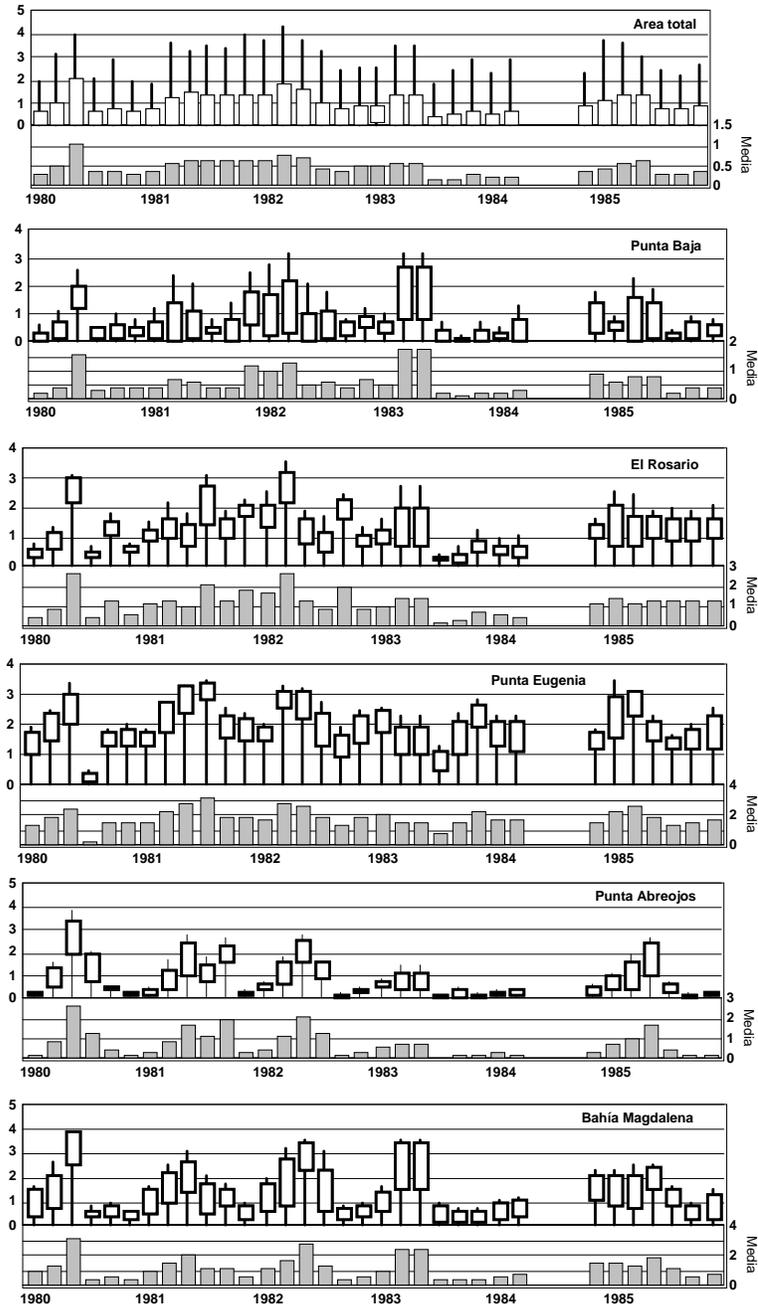
El procedimiento resultó en 36 imágenes bimestrales correspondientes al periodo de 1980 a 1985; y a partir de éstas se estimó el valor medio con su correspondiente desviación estándar, así como los valores máximo y mínimo observados. Esta información se obtuvo tanto para la totalidad de cada sistema (Golfo de California y costa occidental de Baja California) como por cada uno de los cuadrantes de interés (BAC y no BAC), y se graficó como series de tiempo a fin de permitir una valoración visual de la variabilidad interanual en cada caso



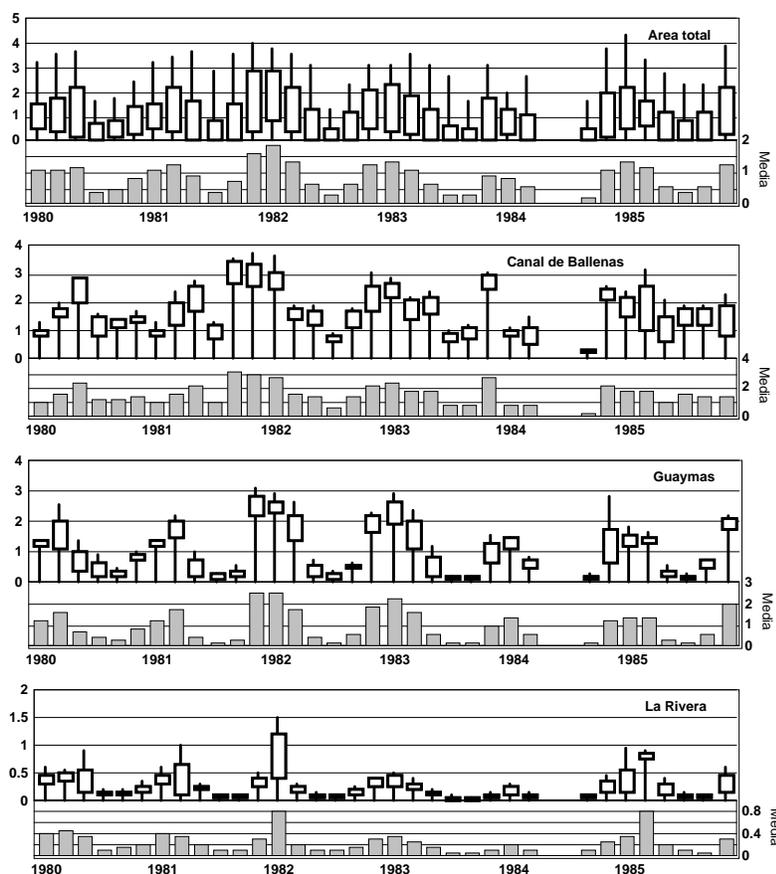
**Figura 3.** Isolíneas de concentración pigmentaria ( $\text{mg}\cdot\text{m}^3$ ) en el Golfo de California, medias bimensuales (de izquierda a derecha y de arriba a abajo) para el periodo 1980-1985.

(Figs. 4 y 5). Adicionalmente, cada serie se resumió mediante gráficas de "cajas" para la mediana, los percentiles al 25% y 75%, y los valores máximo y mínimo (Fig. 6).

Se observó que las distribuciones de medias se apartan considerablemente de la normal, por lo que se optó por estadísticos no paramétricos para establecer comparaciones entre cada uno de los cuadrantes seleccionados y el área total correspondiente. Al efecto, se utilizó la prueba de signos como una alternativa a la prueba de  $t$  para muestras dependientes; esta prueba es aplicable cuando se desea establecer si dos variables continuas (p.e., media de pigmentos para un cuadrante y media para el área total) son o no diferentes. Una vez ordenados los valores en función de su magnitud, se procede a cuantificar el número de veces en el que el valor de la primera variable es mayor que el de la segunda. Bajo la hipótesis nula de que las dos variables no son diferentes, la frecuencia relativa observada se contrasta contra la esperada (*i.e.*, 50%) sobre la base de la



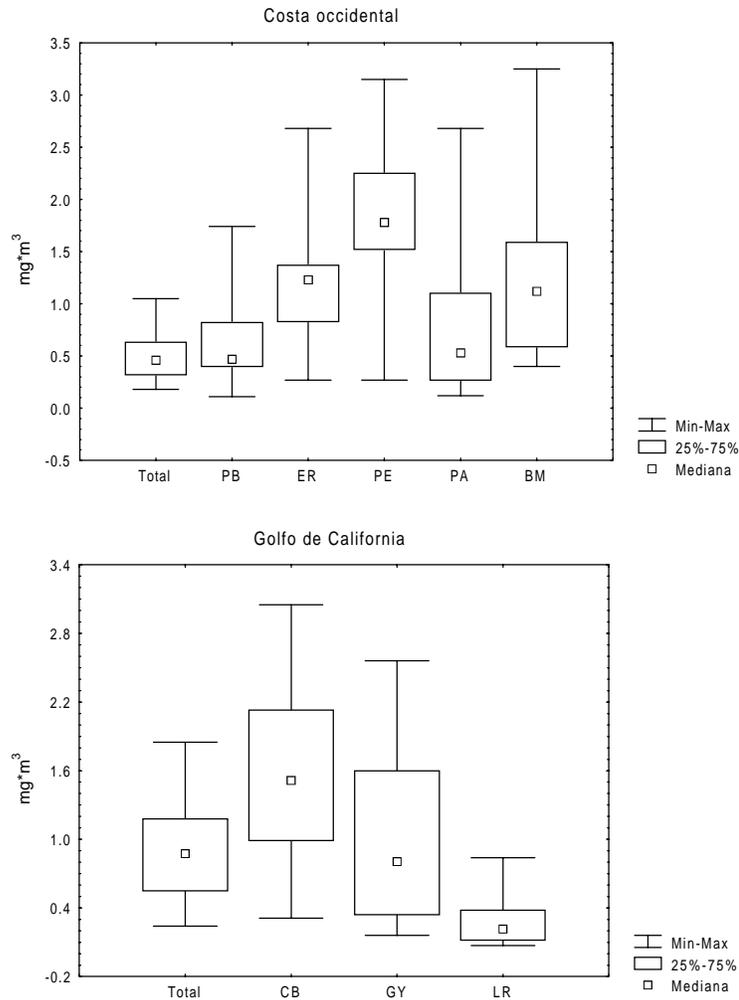
**Figura 4.** Series bimensuales de concentración pigmentaria ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) para la costa occidental y los cuadrantes seleccionados, periodo 1980-1985. Para cada bimestre se presentan los valores máximo y mínimo (línea), la media más y menos una desviación estándar (barra clara), y la media (barra oscura).



**Figura 5.** Series bimensuales de concentración pigmentaria ( $\text{mg}\cdot\text{m}^3$ ) para el Golfo de California y los cuadrantes seleccionados, periodo 1980-1985. Para cada bimestre se presentan los valores máximo y mínimo (línea), la media más y menos una desviación estándar (barra clara), y la media (barra oscura).

distribución binomial, obteniéndose el valor de  $z$  y la probabilidad asociada correspondiente (Tabla 1).

A partir de las series de tiempo se investigó la relación lineal entre la biomasa fitoplanctónica media en cada uno de los cuadrantes seleccionados respecto del sistema correspondiente. Se utilizó el coeficiente  $R$ -Sperman como alternativa no paramétrica a la correlación, a fin de determinar en que grado cada una de los cuadrantes covaría con el área total (Tabla 2). La interpretación de este coeficiente es equivalente a la  $R$ -Pearson, salvo en que no implica normalidad en la distribución de las variables que se relacionan sino únicamente que éstas se presentan en una escala ordinal. Para cada comparación se graficaron los valores en formato  $X$  vs.  $Y$ , a fin de examinar visualmente el nivel de covariación obtenido (Fig. 7).



**Figura 6.** Distribuciones de las medias de concentración pigmentaria, area total y cuadrantes considerados para la costa occidental (arriba) y el Golfo de California (abajo). Las referencias de los cuadrantes son las que se presentan en la Figura 1.

## RESULTADOS

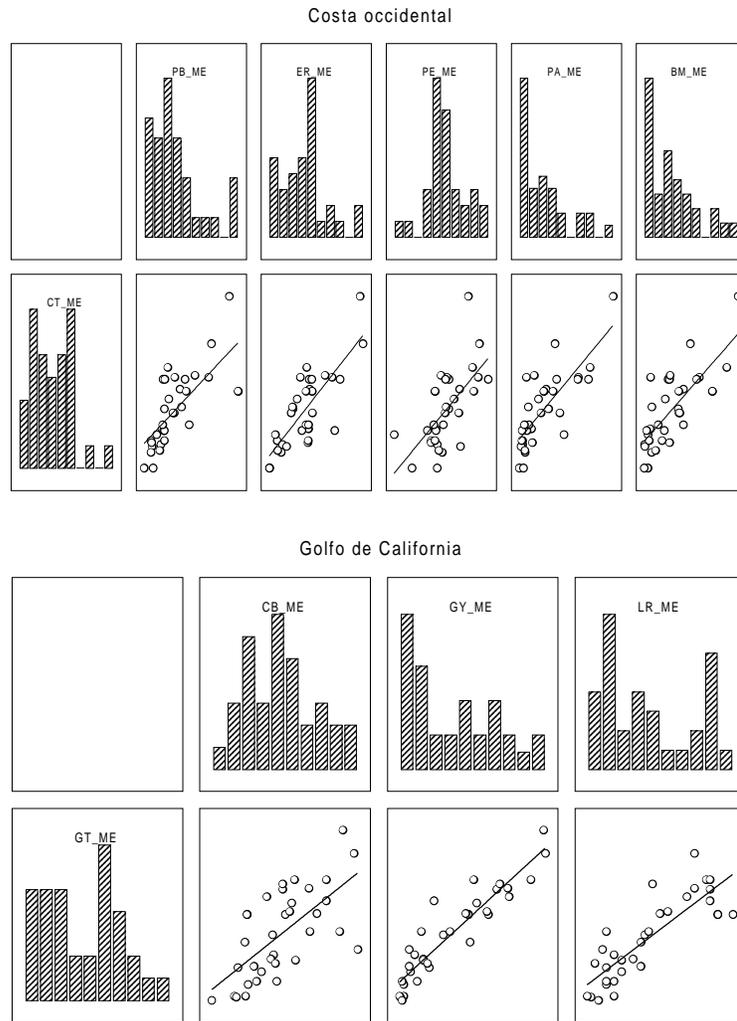
Para la costa occidental, las imágenes bimestrales promedio permiten apreciar una marcada estacionalidad, con biomásas elevadas en primavera y verano que disminuyen durante el otoño y alcanzan su mínimo en el invierno (Fig. 2). El área total presenta biomásas medias del orden de  $0.5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  de clorofila (Fig. 6), comparables a las de los cuadrantes de Punta Baja y Punta Abreojos pero significativamente inferiores a las observadas en El Rosario, Punta Eugenia y Bahía Magdalena, donde persisten valores relativamente elevados durante el periodo de empobrecimiento general del sistema (Fig. 2, Tabla 1).

**Tabla 1.** Resultados de la prueba de signos para determinar diferencias significativas entre los cuadrantes seleccionados y el sistema correspondiente. N: pares de valores comparados diferentes de cero. %: proporción de eventos en los que el valor correspondiente al sistema resultó mayor que el del cuadrante. Z: estadístico Z de la distribución binomial. *p*: probabilidad asociada a la hipótesis nula (i.e., que no existan diferencias significativas).

Sistema y cuadrante		N	%	Z	p
Costa occidental	Punta Baja	32	69	1.945	0.05
	El Rosario	33	100	5.570	< 0.01
	Punta Eugenia	33	97	5.222	< 0.01
	Punta Abreojos	32	63	1.237	0.22
	Bahía Magdalena	33	97	5.222	< 0.01
Golfo de California	Canal de Ballenas	34	94	4.973	< 0.01
	Guaymas	33	58	0.696	0.49
	La Rivera	34	0	5.659	< 0.01

**Tabla 2.** Correlaciones no paramétricas entre cada uno de los cuadrantes seleccionados y el sistema correspondiente. N: número de pares de valores. R: coeficiente de correlación de Sperman. t(N-2): estadístico t de la distribución t-Student. *p*: probabilidad asociada a la hipótesis nula (i.e., que no exista covariación).

Sistema y cuadrante		N	R	t(N-2)	p
Costa occidental	Punta Baja	33	0.809	7.67	< 0.01
	El Rosario	33	0.719	5.76	< 0.01
	Punta Eugenia	33	0.637	4.60	< 0.01
	Punta Abreojos	33	0.763	6.57	< 0.01
	Bahía Magdalena	33	0.746	6.23	< 0.01
Golfo de California	Canal de Ballenas	34	0.693	5.44	< 0.01
	Guaymas	33	0.925	13.74	< 0.01
	La Rivera	32	0.820	7.84	< 0.01



**Figura 7.** Distribuciones de frecuencia, diagramas de dispersión y rectas de regresión de las medias de concentración pigmentaria, área total contra cuadrantes seleccionados de la costa occidental (arriba) y el Golfo de California (abajo). CT-ME: área total, costa occidental. GT-ME: área total, Golfo de California. Las demás referencias son las de los cuadrantes seleccionados que se presentan en la Figura 1.

Considerando el sistema en su conjunto, la biomasa fitoplanctónica fue relativamente baja en 1980 y tendió a incrementarse entre 1981 y mediados de 1983 (Fig. 4). A finales de este año, y hasta mediados de 1984, la biomasa registró valores bajos, aparentemente asociados al fenómeno El Niño y sus efectos en la región. Posteriormente se observó una tendencia al incremento, con un máximo a principios de 1985. Salvo algunos eventos extraordinarios (p.e., el bimestre mayo-junio de 1983), este patrón general se conserva en los cuadrantes

seleccionados, resultando en correlaciones significativas entre cada uno y el área total (Fig. 7, Tabla 2).

En principio, ello significa que todos los cuadrantes considerados permitirían predecir, en alguna medida, la variabilidad interanual del sistema. No obstante, se observan diferencias en el grado de explicación de cada una de las relaciones, que implican que algunos cuadrantes son mejores indicadores de la variabilidad regional que otros (Tabla 2). El mejor indicador resultó ser Punta Baja (0.81) seguido por Punta Abreojos (0.76); mientras que los peores fueron Punta Eugenia (0.64) y El Rosario (0.72). Para los dos casos extremos, ello significa una diferencia en el nivel de explicación ( $R^2$ ) del orden del 24% (65% de Punta Baja respecto del 41% de Punta Eugenia), lo que puede considerarse una diferencia importante en términos del potencial de cada cuadrante como indicador del sistema.

La biomasa fitoplanctónica también presenta una marcada estacionalidad en el Golfo de California, con biomásas elevadas en invierno y primavera que disminuyen en verano y alcanzan su mínimo en otoño (Fig. 3). En promedio el sistema presenta niveles del orden de  $0.9 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  de clorofila (Fig. 6), que son inferiores a los observados en el Canal de Ballenas, similares a los presentes en Guaymas y superiores a los de La Rivera (Tabla 1). En general, la biomasa fitoplanctónica fue relativamente baja en 1980 y tendió a incrementarse hasta 1982. La biomasa disminuyó durante 1983 y 1984, probablemente como consecuencia de El Niño y sus efectos en la región, y para 1985 retornó a valores comparables a los registrados antes del evento (Fig. 5). Este patrón se mantuvo en los cuadrantes seleccionados, resultando en correlaciones significativas para todos los casos (Fig. 7, Tabla 2). La relación más estrecha se presentó con Guaymas (0.92), seguido de La Rivera (0.82), y el peor predictor resultó ser el Canal de Ballenas (0.69). Entre ambos extremos, la diferencia en el nivel de explicación alcanza el 37%.

## DISCUSIÓN

La mayoría de las localidades propuestas como BAC: Punta Eugenia, Bahía Magdalena y el Canal de Ballenas, efectivamente mantienen biomásas fitoplanctónicas permanentemente elevadas. Esta característica se mantiene no sólo en la escala estacional, sino como condiciones adecuadas para la producción biológica en forma permanente, o al menos durante el periodo analizado. No obstante, el otro de los sitios propuesto como BAC, Punta Baja, presentó biomásas que no son significativamente superiores a las de la generalidad del sistema. Por su parte, el cuadrante de El Rosario, no considerado BAC por Lluch-Belda (2000), presenta biomásas ligera pero significativamente más elevadas que el área total. Este resultado, aparentemente contradictorio respecto de la hipótesis manejada, probablemente pueda ser explicado a partir del efecto que sobre esta región puedan tener las altas concentraciones de clorofila presentes en el área adyacente de Punta Eugenia.

Respecto de la escala interanual, todas las áreas mostraron una relación lineal

significativa con las variaciones del sistema en su conjunto. Para el caso de la costa occidental, el único periodo de empobrecimiento que pudiera relacionarse con los efectos de El Niño ocurrió hacia finales de 1983 y principios de 1984; un resultado que llama la atención dado que los efectos de este evento en el ambiente físico (p.e., temperatura superficial) son detectables desde finales de 1982 (Lluch-Cota *et al.*, 1999). En general, los cuadrantes seleccionados mostraron disminuciones de la biomasa fitoplanctónica durante el mismo periodo, indicativas de que los procesos que determinan la variabilidad interanual del fitoplancton en cada uno son fundamentalmente los mismos que gobiernan al sistema en su conjunto. Para el Golfo de California los resultados fueron similares: empobrecimiento del sistema desde mediados de 1983 y hasta finales de 1984; efecto de El Niño que es reflejado por las series de Guaymas, La Rivera y, aunque en menor medida, del Canal de Ballenas.

La desviación más notable estuvo dada por el área de Punta Eugenia, que consistentemente mantuvo elevados niveles sin que la señal de El Niño sea detectable (ver Fig. 4). Pese a que la prueba estadística no indicó diferencias significativas para la totalidad del periodo considerando  $P < 0.01$ , las diferencias resultan significativas si el criterio se relaja a  $P < 0.05$  (ver Tabla 1). Este resultado es especialmente relevante, al sugerir la existencia de mecanismos que afectan la variabilidad fitoplanctónica adicionales a los que dominan el resto del sistema.

Finalmente, se buscó evaluar si la variabilidad de la biomasa fitoplanctónica en los BAC puede o no ser indicativa de la variabilidad en la totalidad del sistema. Como se mencionó en el apartado introductorio, esta propiedad sería relevante desde una perspectiva práctica, ya que implicaría la factibilidad de establecer sistemas de muestreo restringidos. En principio, los resultados obtenidos indican que la variabilidad en cualquiera de las áreas seleccionadas, tanto BAC como no BAC, está significativamente correlacionada con la del sistema en su conjunto, por lo que todas las áreas analizadas podrían ser utilizadas como predictores del sistema en cuanto a las fluctuaciones de la biomasa fitoplanctónica.

No obstante, los menores coeficientes de correlación se obtuvieron para dos de las áreas propuestas como BAC: Punta Eugenia y el Canal de Ballenas. Ello sugiere que las mismas condiciones que distinguen a los BAC del resto del área implican que el BAC sea un mal indicador del sistema, en relación con otras áreas que no presentan estas peculiaridades. Cabe destacar que esta conclusión preliminar sólo es estrictamente aplicable a la biomasa fitoplanctónica, aunque probablemente sea cierta también para otras variables físicas que la determinan. En todo caso, no guarda relación directa con el potencial del BAC como indicador de la producción biológica y pesquera del sistema; éste potencial depende de otros factores, por ejemplo, del papel del BAC como área de refugio ante condiciones adversas en el resto del sistema.

Consideramos que el presente contribuye a precisar el concepto de Centro de Actividad Biológica, en la medida en que hace evidente la dificultad de establecer criterios únicos. A la luz del análisis de la biomasa fitoplanctónica,

la definición más amplia de BAC, y la única que incluiría todos los propuestos por Lluch-Belda (2000), es la de una región que presenta, permanente o temporalmente, biomasa significativamente más elevada que la generalidad del sistema. Ello no es poca cosa, ya que tiene implicaciones relevantes en cuanto a la producción biológica y pesquera que puede esperarse de una región especialmente rica.

El ampliar la definición a otros aspectos, como la persistencia de biomasa elevada, ya presenta dificultades. Una solución posible, la más simple, es admitir que la definición incluya la característica de persistencia, implicando entonces que no todas las áreas propuestas pueden considerarse BAC. En el otro extremo, es posible limitar la definición a su sentido más amplio y admitir entonces que existen diferentes clases de BAC, los que requerirían a su vez de definirse. Consideramos que, entre ambos extremos, el criterio más importante debiera ser la identificación de los mecanismos físicos que permitan condiciones especialmente favorables para la producción biológica.

Al menos tres de los BAC originalmente propuestos parecen sugerir la existencia de tales mecanismos. El caso más claro parece ser el de Punta Eugenia: de hecho, se conoce que en la Bahía de Sebastián Vizcaíno existen giros cuasi-permanentes (p.e. Hewitt, 1981; Amador-Buenrostro *et al.*, 1995) que posiblemente expliquen la presencia de biomasa fitoplanctónica permanentemente elevada vía la retención de las células al interior del giro. El mecanismo, cualquiera que sea, confiere además a esta región una característica única entre los casos analizados: los efectos de El Niño en la zona se vieron claramente atenuados, sin reflejarse en una disminución apreciable del fitoplancton. Por su parte, el Canal de Ballenas presenta mecanismos de enriquecimiento bien identificados: la mezcla por mareas (Badán-Dangón *et al.*, 1985; Alvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991; ). No obstante, el mecanismo no resultó suficiente como para inhibir completamente los efectos de El Niño en la biomasa fitoplanctónica. En Bahía Magdalena, no parece claro todavía cuál podría ser el mecanismo involucrado en la elevada biomasa que el área presenta; en todo caso, tampoco permitió mantener sin decremento los niveles de pigmentos fotosintéticos durante El Niño. Finalmente, consideramos que la propuesta de Punta Baja como un BAC no parece quedar justificada bajo ninguno de los criterios que hasta el momento se han manejado.

## AGRADECIMIENTOS

La idea del presente trabajo es resultado del privilegio de asistir al desarrollo del concepto de los BAC por parte de todos los asistentes a los talleres de trabajo, y en especial por parte de su primer autor, el Dr. Daniel Lluch-Belda. GTG participó gracias a las facilidades otorgadas por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, en el marco de su Programa de Formación de Recursos Humanos. La presente contribución recibió apoyo de los proyectos CIBNOR/AYCG-14 y SIMAC970106044.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Alvarez-Borego, S. & J.R. Lara-Lara. 1991. Physical environment and primary productivity of the Gulf of California, 47:555-567. En: Ketchum, B.H. (Ed.). The Gulf and Peninsular provinces of the Californias. Mem. Am. Assoc. Petr. Geol.
- Amador-Buenrostro, A., M.L. Argote-Espinoza, M. Mancilla-Peraza & M. Figueroa-Rodríguez. 1995. Variaciones de periodo corto de la circulación anticiclónica en Bahía Sebastián Vizcaíno, B.C. Ciencias Marinas, 21(2): 201-223.
- Arias-Aréchiga, J.P. 1998. Regionalización del Golfo de California: Una propuesta a partir de concentración de pigmentos fotosintéticos (CZCS). Tesis Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur. 50 pp.
- Badán-Dangón, A., D. Koblinsky & T. Baumgartner. 1985. Spring and summer in the Gulf of California: observations of surface thermal patterns. Oceanol. Acta 8(1): 13-22.
- Bakun, A. 1996. Patterns in the ocean. Ocean processes and marine population dynamics. California Sea Grant & Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, 323 pp.
- Balart, E.F. 1996a. Pesquería de lenguados, 273-286. En: Casas-Valdez, M. & G. Ponce- Díaz (Eds.). Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. Semarnap/ Gobierno del Estado de B.C.S./ FAO / INP / UABCS / CIB / CICIMAR / Cet-Mar.
- Balart, E.F. 1996b. Recurso langostilla, 167-180. En: Casas-Valdez, M. & G. Ponce-Díaz (Eds.). Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. Semarnap/ Gobierno del Estado de B.C.S./ FAO / INP / UABCS / CIB / CICIMAR / Cet-Mar.
- Casas-Valdez, M., G. Hernández-Carmona & C.J. Hernández-Guerrero. 1996. Recurso *Macrocystis pyrifera*, 431-444. En: Casas-Valdez, M. & G. Ponce-Díaz (Eds.). Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. Semarnap/ Gobierno del Estado de B.C.S./ FAO / INP / UABCS / CIB / CICIMAR / Cet-Mar.
- Casas-Valdez, M. & C.J. Hernández-Guerrero. 1996. Recurso *Gelidium robustum*, 419-430. En: Casas-Valdez, M. & G. Ponce-Díaz (Eds.). Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. Semarnap/ Gobierno del Estado de B.C.S./ FAO / INP / UABCS / CIB / CICIMAR / Cet-Mar.
- Casas-Valdez, M. & G. Ponce-Díaz (Eds.). 1996. Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. Semarnap/ Gobierno del Estado de B.C.S./ FAO / INP / UABCS / CIB / CICIMAR / Cet-Mar. 693 pp.
- Funes-Rodríguez, R., M.E. Hernández-Rivas, J.R. Saldierna-Martínez, A. Hinojosa M., R. Avendaño-I. & P.A. Jiménez-Rosenberg. 2000.

- Composición y abundancia del ictioplancton del Golfo de Ulloa, Baja California Sur, un Centro de Actividad Biológica. En: Lluch-Belda, D., J. Elorduy-Garay, S.E. Lluch-Cota & G. Ponce-Díaz (Eds.). Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. CIBNOR/CONACYT. Este volumen.
- Hernández-Rivas, M.E., S.P. Jiménez-Rosenberg, R. Funes-Rodríguez & J.R. Saldierna-Martínez. 2000. El Centro de Actividad Biológica de la Bahía Sebastián Vizcaíno, una primera aproximación. En: Lluch-Belda, D., J. Elorduy-Garay, S.E. Lluch-Cota & G. Ponce-Díaz (Eds.). Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. CIBNOR/CONACYT. Este volumen.
- Hewitt, R.P. 1981. Eddies and speciation in the California Current. CalCOFI Rep. 22: 96-98.
- León-Carballo, G. & M. Muciño-Díaz. Pesquería de abulón, 15-41. En: Casas-Valdez, M. & G. Ponce-Díaz (Eds.). Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. Semarnap/ Gobierno del Estado de B.C.S./ FAO / INP / UABCS / CIB / CICIMAR / Cet-Mar.
- Lluch-Belda, D., J.F. Magallón & R.A. Schwartzlose. 1986. Large fluctuations in the sardine fishery in the Gulf of California: Possible causes. CalCOFI Reports, 27: 136-140.
- Lluch-Belda, D., S. Hernández-Vázquez & R.A. Schwartzlose. 1991. A hypothetical model for the fluctuation of the California sardine population (*Sardinops sagax caerulea*), 293-300. En: Kawasaki, T., S. Tanaka, Y. Toba & A. Taniguchi (Eds.). Long term variability of pelagic fish populations and their environment. Pergamon Press, Oxford.
- 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. S. Afr. J. Mar. Sci. 12: 147-155.
- Lluch-Belda, D. 1997. A proposal for IAI Phase II Research Biological Action Centers: Background. Report on the IAI Phase I Workshop: Comparative studies on the physical and biological environments of upwelling areas: Biological Action Centers (BAC). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR), Inter-American Institute for Global Change Research (IAI). La Paz, B.C.S., México.
- Lluch-Belda, D. 2000. Centros de Actividad Biológica en la costa occidental de Baja California. En: Lluch-Belda, D., J. Elorduy-Garay, S.E. Lluch-Cota & G. Ponce-Díaz (Eds.). Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. CIBNOR/CONACYT. Este volumen.
- Lluch-Cota, S.E. 2000. Propuesta de bases para un sistema de información ambiental para la pesquería de sardina del Golfo de California. Tesis

- Doctoral. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. 43 pp. más anexos.
- Lluch-Cota, S.E. & J.P. Arias Aréchiga. 2000. Sobre la importancia de considerar la existencia de Centros de Actividad Biológica para la regionalización del océano: el caso del Golfo de California. En: Lluch-Belda, D., J. Elorduy-Garay, S.E. Lluch-Cota & G. Ponce-Díaz (Eds.). Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. CIBNOR/CONACYT. Este volumen.
- Lluch-Cota, S.E., D.B. Lluch-Cota, D. Lluch-Belda, M.O. Nevárez-Martínez, A. Parés-Sierra & S. Hernández-Vázquez. 1999. Variability of sardine catch as related to enrichment, concentration and retention processes in the central Gulf of California. CalCOFI Rep. 40: 184-190.
- Lluch-Cota, D.B., C.A. Salinas-Zavala, P. del Monte-Luna & D. Lluch-Belda. 1995. El Niño y la Pesca en el Noroeste de México. Oceanología. DGCTM-SEP, México. 4(8) 19-42.
- Lluch-Cota, D.B., D. Lluch-Belda, S.E. Lluch-Cota, J. López-Martínez, M.O. Nevárez-Martínez, G. Ponce-Díaz, C.A. Salinas Zavala, A. Vega V., R. Lara-Lara, M.G. Hammann & J. Morales. 1999. Las Pesquerías y El Niño, 137-178. En: Magaña-R., V.O. (Ed.). Los Impactos de El Niño en México. DGPC / SG / UNAM / IAI / SEP-CONACYT. México.
- Mann, K.H. & J.R.N. Lazier. 1996. Dynamics of marine ecosystems. Biological-physical interactions in the ocean. 2<sup>a</sup>. Ed. Blackwell Science, London New York, 394 pp.
- Martínez-García, M. & D. Lluch-Belda. 2000. Cambio climático global y Centros de Actividad Biológica. En: Lluch-Belda, D., J. Elorduy-Garay, S.E. Lluch-Cota & G. Ponce-Díaz (Eds.). Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. CIBNOR/CONACYT. Este volumen.
- Martínez-López, A., & G. Verdugo-Díaz. 2000. Composición y dinámica del fitoplancton en el BAC de Bahía Magdalena, B.C.S. En: Lluch-Belda, D., J. Elorduy-Garay, S.E. Lluch-Cota & G. Ponce-Díaz (Eds.). Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. CIBNOR/CONACYT. Este volumen.
- Morales, H.R., & C. Cáceres M. 1996. Pesquería de almeja mano de león *Lyropecten subnodosus*, 87-100. En: Casas-Valdez, M. & G. Ponce-Díaz (Eds.). Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. Semarnap/ Gobierno del Estado de B.C.S./ FAO / INP / UABCS / CIB / CICIMAR / Cet-Mar.
- Morales-Zárate, M.V. 1999. Comparación entre dos zonas de alta productividad biológica en la Costa Occidental de Baja California. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Sinaloa. 42 pp.
- Morales-Zárate, M.V., S.E. Lluch-Cota, D. Voltolina & E.M. Muñoz-Mejía. 2000. Comparación entre zonas de alta actividad biológica en la costa

- occidental de Baja California: Punta Eugenia y Punta Baja. En: Lluch-Belda, D., J. Elorduy-Garay, S.E. Lluch-Cota & G. Ponce-Díaz (Eds.). Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. CIBNOR/CONACYT. Este volumen.
- Nevárez-Martínez, M.O. 2000. Variabilidad de la población de sardina monterrey (*Sardinops caeruleus*) en el Golfo de California, México. Tesis Doctoral. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. 120 pp.
- Ramírez-Rodríguez, M. 1996. Pesquería de escama, 287-304. En: Casas-Valdez, M. & G. Ponce-Díaz (Eds.). Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. Semarnap/ Gobierno del Estado de B.C.S./ FAO / INP / UABCS / CIB / CICIMAR / Cet-Mar.
- Rodríguez-Sánchez, R., S. Hernández-Vázquez, D. Lluch-Belda, R. Felix-Uraga, S. Ortega-García, A. Villa-Arce, G. Ponce-Díaz & D.B. Lluch-Cota. 1996. Pesquería de pelágicos menores (sardinias y anchovetas), 317-350. En: Casas-Valdez, M. & G. Ponce-Díaz (Eds.). Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. Semarnap/ Gobierno del Estado de B.C.S./ FAO / INP / UABCS / CIB / CICIMAR / Cet-Mar.
- Singh, C.J. 1996. Pesquería de caracol panocha, 43-58. En: Casas-Valdez, M. & G. Ponce-Díaz (Eds.). Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. Semarnap/ Gobierno del Estado de B.C.S./ FAO / INP / UABCS / CIB / CICIMAR / Cet-Mar.
- Tran, A.V., E. Smith, J. Hyon, R. Evans, O. Brown & G. Feldman. 1993. Satellite-derived multichannel sea surface temperature and phytoplankton pigment concentration data: A CD-ROM set containing monthly mean distributions for the global oceans. Dataset compiled by the PODAAC/Jet Propulsion Lab. JPL D-10351, California Institute of Technology.
- Vega, V.A., G. Espinoza-Castro & C. Gomez-Rojo. 1996. Pesquería de Langosta *Panulirus* spp, 227-262. En: Casas-Valdez, M. & G. Ponce-Díaz (Eds.). Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. Semarnap/ Gobierno del Estado de B.C.S./ FAO / INP / UABCS / CIB / CICIMAR / Cet-Mar.

# 15

## LAS POBLACIONES DE ALMEJA CATARINA *Argopecten ventricosus* EN EL CENTRO DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE BAHÍA MAGDALENA, MÉXICO

Alfonso N. Maeda-Martínez<sup>1, 2</sup>, María Teresa Sicard<sup>1</sup>, Liliانا Carvalho<sup>1</sup>,  
Salvador E. Lluch-Cota<sup>1</sup> & Daniel B. Lluch-Cota<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Apartado Postal 128. La Paz, B.C.S., México 23000. E-mail: amaeda@cibnor.mx <sup>2</sup>Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Apartado Postal 1735. Hermosillo, Son. México 83000

### RESUMEN

En el presente trabajo se analizó el estado actual de las poblaciones de almeja catarina (*Argopecten ventricosus*) en el Centro de Actividad Biológica (BAC) de Bahía Magdalena, a través de la actualización, con datos de los 1990s, de un modelo planteado en 1993, que explica la formación de bancos de almeja catarina basándose en las fluctuaciones térmicas, la pesquería, el reclutamiento de juveniles, la presencia y/o abundancia de langostilla (*Pleuroncodes planipes*) y la presencia de pastizales marinos. Los resultados indican que el modelo es consistente con sus postulados. Adicionalmente se encontró que el cultivo de la almeja catarina en el BAC, contribuye a la formación de bancos someros de almeja catarina, siempre y cuando la temperatura permita el desarrollo de pastizales donde las larvas se fijen y obtengan el refugio necesario contra los depredadores.

**Palabras clave:** Almeja catarina, Reclutamiento, Pesquerías, Langostilla, Pasto marino.

### ABSTRACT

In the present work, the validity of the model to explain the formation of catarina scallop populations in the Biological Activity Center of Bahia Magdalena (BAC) published in 1993, was assessed with data from the last decade. Temperature fluctuations, fishery landings, spat recruitment, and the occurrence of red crab *Pleuroncodes planipes* and sea grass beds in the bay during the 90's, were considered for the analysis. Results indicate that the model is

consistent with its postulates. Additionally it was found that that the catarina scallop aquaculture in the BAC, contributes to the formation of shallow scallop stocks during prolonged cold events, since the large sea grass beds serve as primary substrate for larval recruitment and shelter against predators for the resulting spat and adult scallops.

**Key words:** Catarina scallop, Recruitment, Fishery, Red crab, Seagrass.

## INTRODUCCIÓN

En el Centro de Actividad Biológica (BAC) de Bahía Magdalena existen 24 especies de moluscos pectínidos (Keen, 1979). De éstas, las almejas mano de león (*Nodipecten subnodosus*), la almeja voladora (*Pecten vogdesi*) y la almeja catarina (*Argopecten ventricosus*) son las que alcanzan mayor talla y valor comercial, y en consecuencia han recibido una mayor atención científica. Las almejas mano de león y la voladora no forman bancos en este sitio y solamente se sabe de su existencia por la ocurrencia ocasional de juveniles que se reclutan en colectores artificiales instalados para captar semillas de moluscos. Sin embargo, la presencia de almeja catarina en el BAC es constante y ha traído muchos beneficios económicos para México, pero su abundancia al ser extremadamente variable, ha creado serios problemas sociales en el estado de Baja California Sur a lo largo de las dos últimas décadas. Cuando la almeja catarina es abundante, miles de personas de este estado y del noroeste de México se dedican a su explotación, porque representa una de las pocas oportunidades de tener ingresos económicos importantes. Dependiendo del tamaño del banco, la explotación puede durar desde unos pocos meses hasta un máximo de ocho meses, que es el tiempo que permiten las vedas. Debido a ello, los pescadores cambian de especie a explotar y muchos obreros y jornaleros dedicados a la agricultura o a otras actividades, abandonan sus trabajos para dedicarse a la explotación de la almeja. El método de extracción es por buceo semiautónomo, donde el aire para el buzo es suministrado por medio de un compresor de gasolina instalado sobre la borda de una embarcación de 7.5 m de eslora. Este método de extracción exige una división del trabajo bien definida, que incluye al buzo, al javero (quien se encarga de asistir al buzo de operar el compresor y de sacar a la borda las almejas colectadas por el buzo en una red), y a los matadores (los cuales son los encargados de bajar las almejas de la lancha y de desconchar las almejas para extraer el músculo o “callo”). El sitio donde se establece el campo pesquero para hacer el desconche, depende de la ubicación del banco de almejas en el mar. En estos campos, se construyen plantas de desconche provisionales con piso de concreto y se instala un pueblo completo de casas de material ligero sin servicios básicos, cuyo acceso es por terracerías alejadas de los núcleos de población, que dificulta el suministro de agua y alimentos. Los subproductos de la almeja incluyen las conchas, los mantos y gónadas. Estos son desechados a cielo abierto, trayendo como consecuencia la proliferación de insectos y el deterioro ambiental. Recientemente, las autoridades están exigiendo que los subproductos sean colocados en fosas

cavadas *ex profeso*, pero aún así, persiste la contaminación del ambiente. Cuando la extracción concluye, los campos pesqueros son dejados en condiciones deplorables y las personas quedan sin trabajo o regresan a sus actividades habituales percibiendo salarios muy bajos. Las soluciones a estos problemas están en la mejor comprensión del fenómeno pesquero por parte de los pescadores y de las autoridades, en la posible predicción de la formación de macropoblaciones, y en el desarrollo de la acuicultura de esta especie como una alternativa para amortiguar el impacto de la gran variabilidad de la pesquería.

La abundancia de esta especie, estimada por datos oficiales de explotación y no por censos poblacionales, indican que de 1981 a 1988, la producción fue de 9.6 t anuales en promedio, a partir de una población aproximada de 1.6 millones de organismos (6 g por callo) en el BAC. Sin embargo, durante los años de 1989 y 1990 se produjeron más de 2,500 toneladas de músculos por año a partir de 416 millones de organismos. Ésto motivó la realización de una investigación (Maeda-Martínez *et al.*, 1993), donde se describe un modelo que explica las posibles causas de esa variabilidad poblacional, empleando información de la década de los 1980s. Para desarrollar el modelo, fue necesario analizar la información de algunos estudios disponibles sobre la especie incluyendo la biología, la ecología, los periodos de reproducción de la población, la depredación, la pesquería, etc. Este modelo propone que la formación de los grandes bancos de almejas en el BAC, está condicionada a la ocurrencia de un periodo anormalmente frío, tomando como evidencia principal la coincidencia entre la producción masiva de callos ocurrida en 1989 y 1990, con las anomalías térmicas mas bajas de los años previos (1988 y 1989).

Existen muchos estudios que demuestran la influencia determinante del clima sobre las capturas de otros recursos pesqueros. Por ejemplo, durante la fase cálida del ENSO suelen presentarse elevadas capturas de camarón café (*Farfantepenaeus californiensis*) en la costa occidental de la península. Aunque se trata de un área de pesca tradicional del recurso, durante El Niño la captura llega a ser superior a la acostumbrada en esta región, más aún considerando que se trata del límite boreal de distribución de la especie (Lluch-Cota *et al.*, 1999). En la misma zona, la sardina (*Sardinops sagax*) puede experimentar un corrimiento de sus poblaciones hacia el norte durante El Niño. En el Golfo de California, esta misma especie reduce significativamente su movimiento estacional a lo largo de las costas de Sonora y Sinaloa, y la mayor parte de la población permanece en la región de las Grandes Islas donde las surgencias locales permiten condiciones comparativamente frías (Badán *et al.*, 1985; Lluch-Belda *et al.*, 1986). En contraste, la sardina crinuda (*Ophistonema* spp.) compuesta por un conjunto de especies de afinidad tropical, extiende su distribución hacia el norte, incrementando su presencia en las zonas de pesca de Sonora y Sinaloa, lo que se refleja en las capturas así como en los rendimientos (Lluch-Belda *et al.*, 1986; Ruíz-Luna, 1995).

En el caso de la almeja catarina, no fue sino hasta la publicación del modelo en 1993, cuando se empezaron a entender las posibles causas de su gran variabilidad poblacional. Sin embargo, en dicho modelo quedaron algunas

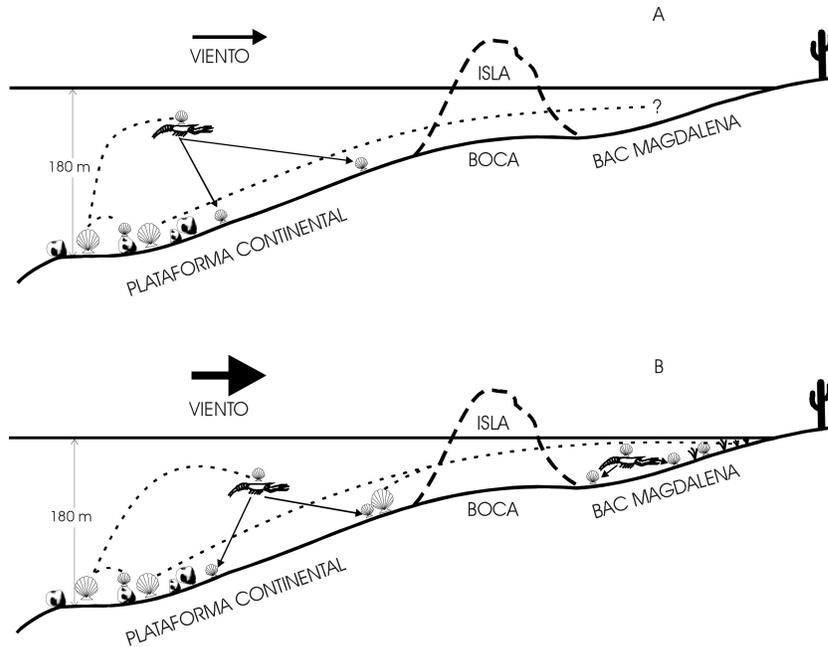
interrogantes que requieren ser confirmadas. En el presente trabajo se analiza el modelo con eventos ocurridos en el BAC durante la década de los 1990s. Para ello se empleó información sobre los volúmenes de producción de callos, las anomalías térmicas y el reclutamiento natural de juveniles. Para hacer más claro el análisis, se transcribe enseguida un resumen del modelo.

El factor más importante en que se sustenta el modelo, es la existencia probada de un banco de almeja catarina autosostenible en la plataforma continental de Baja California entre los paralelos 25 y 27 °N y entre 13 y 180 m de profundidad. El tamaño de esta población no se conoce y por su importancia, merece ser estudiada. Las condiciones de temperatura que prevalecen en la plataforma continental donde habitan estas poblaciones, varían dentro de los rangos tolerables por la especie (Sicard *et al.*, 1999) y la nutrición de las mismas está garantizada por la capacidad exportadora de plancton del BAC. Gracias a los registros de captación de semillas en el BAC, se conoce que el desove del banco de almejas de la plataforma continental ocurre entre marzo y abril de cada año cuando la temperatura declina, dos o tres meses después de alcanzada la temperatura máxima anual del agua.

Las larvas resultantes pueden generar tres poblaciones distintas dependiendo de la deriva larval producida por los vientos, y de la influencia de otros factores como se explica mas adelante. Una de ellas se establece en la misma plataforma continental, la otra en las zonas someras del BAC y la última en las zonas profundas de esta bahía.

Si la deriva larval es baja, como ocurre en eventos cálidos (Fig. 1A), las larvas contribuirán al mantenimiento de la población de la plataforma continental fijándose a rocas, conchas de moluscos o al cefalotorax y apéndices de la langostilla (*Pleuroncodes planipes*), la cual es un crustáceo pelágico abundante, ampliamente distribuido en la plataforma continental frente al BAC. Debido a las altas temperaturas en el BAC, la langostilla permanecerá en la plataforma continental donde las semillas de almeja serán liberadas, contribuyendo así al mantenimiento de la población externa. La probabilidad de supervivencia de estas almejas es alta gracias a la baja depredación, temperatura adecuada y la disponibilidad de alimento. Sin embargo, es muy probable que aquellas larvas que lleguen a penetrar al BAC, no encuentren substratos donde fijarse y mueran.

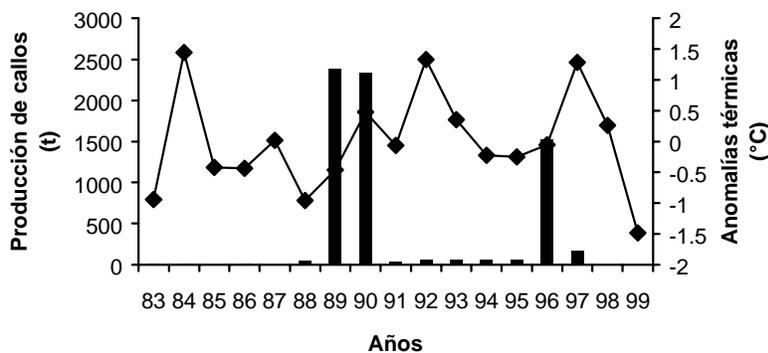
En eventos fríos (Fig. 1B), los vientos son mas fuertes que en años cálidos (Maeda-Martínez *et al.*, 1993) y, en consecuencia, se incrementa la cantidad de larvas que penetran al BAC. Las larvas que darán lugar a las poblaciones someras, se fijarán al pasto marino el cual prolifera en la zona fótica gracias a la alta concentración de nutrientes y a la baja temperatura del agua. *Zoostera marina*, la especie dominante en los pastizales del BAC, tiene una termotolerancia superior de 25 °C (Evans *et al.*, 1986; Marsh *et al.*, 1986; Zimmerman *et al.*, 1989). Dependiendo de la densidad del pastizal, será la supervivencia de las almejas hasta la talla comercial, ya que éste constituye el refugio de las almejas contra depredadores que abundan en las zonas someras del BAC (Maeda *et al.*, 1992). Las poblaciones que se formen a través de este



**Figura 1.** Modelo que explica la formación de los bancos de almeja catarina (*Argopecten ventricosus*), en el Centro de Actividad Biológica de Bahía Magdalena, durante un evento cálido (A) y uno extremadamente frío (B). El grosor de la flecha denota la intensidad del viento.

mecanismo, son quizás las que estén produciendo las capturas no extraordinarias de la Figura 2.

Por otra parte, los bancos de almeja catarina de las zonas profundas del BAC, resultan de un mecanismo diferente. En años extremadamente fríos, las larvas resultantes de la población de la plataforma continental que se lleguen a asentar sobre la langostilla, crecerán y viajarán sobre ella al interior del BAC (Fig. 1B), hasta donde se encuentre la isoterma 16 °C, la cual impone el límite de su distribución (Aurioles-Gamboa, 1992). En virtud de que la isoterma 16 °C solamente se ha registrado en las zonas profundas del BAC entre las islas Margarita y Magdalena, es hasta ese sitio donde ocurrirá la liberación de los juveniles. El número de juveniles liberados, estará en función del tiempo de residencia de la langostilla dentro del BAC. Un ejemplo de este tipo de población, es la que se explotó en "El Blanquizcal" durante 1989 y 1990 frente a la isla Magdalena a 20-30 m de profundidad. En los años previos (1988-1989) la isoterma 16°C se registró en el interior de la bahía durante dos o tres meses (Hernández *et al.*, 1992) y por lo tanto, el tiempo probable de residencia de la langostilla fue de cuando menos ese tiempo. La presencia de langostilla en el interior del BAC ha sido estudiada por Aurioles-Gamboa *et al.* (1994). Estas poblaciones dieron lugar a los bancos naturales de almeja mas grandes que se hayan explotado en México. Debido a la alta profundidad en que se encontraba el banco, se registraron decesos e incidentes de buzos descompresionados.



**Figura 2.** Producción de callos de almeja catarina (*Argopecten ventricosus*) (columnas), y anomalías térmicas (línea) registradas en el Centro de Actividad Biológica de Bahía Magdalena de 1983 a 1999. Las anomalías térmicas fueron calculadas a partir de la base de datos Reynolds (Reynolds y Smith, 1994), como la diferencia entre cada valor mensual y el valor correspondiente del ciclo anual promedio (1983-1999).

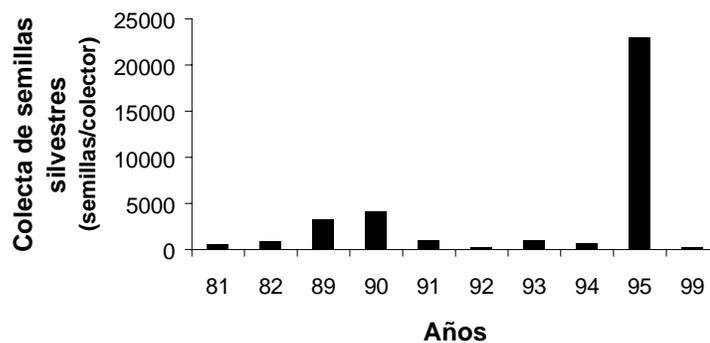
### Validación del modelo con información de la década de los 1990s

En el periodo comprendido entre 1991 y 1999, se registró un solo evento de producción masiva de callos de almeja (1996; Fig. 2) en Bahía Almejas ubicada en la porción sur del BAC, con 1,522 t de callos provenientes de 253 millones de individuos, a un peso por callo de 6 g. Las poblaciones explotadas fueron del tipo somero, las cuales se ubicaron en los bancos de “El Muerto”, “La Concha” y “El Cuervo” frente al poblado Puerto Chale, a una profundidad máxima de 13 metros (J. Hernández com. pers.). Este evento, ocurrió dos años después de que inició un periodo de enfriamiento de 1994 a 1996 (Fig. 2), lo cual no concuerda con el modelo propuesto, que establece que la macropoblación debe aparecer al año siguiente del inicio el evento frío. La posible explicación de la nula formación de macropoblaciones en 1995, (lo cual es también aplicable al periodo frío 1985-1987; Fig. 2), es que en esos eventos la temperatura del agua fue baja pero no lo suficientemente fría como para permitir la inmigración de la langostilla al BAC, la cual se distribuye a temperaturas inferiores a 16 °C. En 1985, 1986, 1987 y 1995, las poblaciones que se formaron fueron del tipo somero, dando producciones que variaron entre 1.2 y 57.8 t.

Por lo tanto, para explicar la formación de la población explotada en 1996, se requiere analizar otros factores como el efecto de las poblaciones cultivadas de almeja catarina sobre el reclutamiento de semillas silvestres y la ubicación de los bancos de almeja. Desde 1987, se viene realizando investigación para desarrollar el cultivo de almeja catarina en el BAC, y particularmente en el estero Rancho Bueno localizado en su extremo sur. Se ha evaluado el cultivo de la almeja en suspensión (Maeda-Martínez et al., 1997) y se ha desarrollado un nuevo sistema de cultivo (Maeda & Ormart, 1995), el cual fue evaluado a nivel comercial en 1995 (Maeda-Martínez et al., 2000). Durante ese tiempo, se han

llevado registros del reclutamiento de juveniles de almeja catarina, colocando sistemáticamente colectores de semillas. Los resultados (Fig. 3) muestran que durante 1992, el reclutamiento fue el más bajo registrado a la fecha, posiblemente debido al fenómeno del El Niño, cuando ocurrió una disminución del 26 % en la velocidad promedio del viento que limitó la inmigración de las larvas provenientes de los bancos de almeja de la plataforma continental hacia el BAC (Maeda-Martínez *et al.*, 1993). En 1993 y 1994, la colecta de semillas se incrementó a 1,000 y 700 semillas/colector respectivamente, limitándose el periodo de colecta a solamente dos meses: marzo y abril. Sin embargo, en 1995 ocurrió un reclutamiento sin precedentes de 23,000 semillas/colector, el cual ocurrió en el mes de enero y se extendió al menos hasta junio de ese año ya que no se colocaron colectores en los meses siguientes. El alto reclutamiento se atribuye a los desoves de los 5 millones de almejas adultas que cultivaba una empresa en el estero Rancho Bueno, empleando el nuevo sistema de cultivo mencionado. Ese año, la empresa cosechó 21 t de callos provenientes de los 3.5 millones de almejas cultivadas sobrevivientes, la cual equivalió al 36% de la producción de callos en el BAC en 1995. El efecto del incremento en las poblaciones cultivadas sobre el reclutamiento de juveniles, esta bien documentada en *Patinopecten yessoensis* (Ito, 1991).

A pesar de que la dirección del viento dominante en el BAC es noroeste y de que éste tiende a mantener las larvas en el mismo cuerpo de agua, la dispersión de las larvas provenientes de la población cultivada en Rancho Bueno en 1995, pudo ocurrir, aunque de manera limitada, en dirección opuesta por el reflujo de la corriente de mareas. Durante el periodo frío 1994-1996, los pastizales de *Zoostera marina* estuvieron presentes (A. Maeda com. pers.), los cuales pudieron servir de sustrato de fijación para las larvas y de refugio a las almejas resultantes, ocurriendo de esta manera la formación de los bancos explotados en 1996 en las zonas someras. Estos bancos se localizaron a solamente 12 km al norte del estero Rancho Bueno.



**Figura 3.** Eficiencia máxima anual de captación de semillas silvestres de almeja catarina (*Argopecten ventricosus*), en el Centro de Actividad Biológica de Bahía Magdalena de 1981 a 1999. Los datos de captación a partir de 1991, se obtuvieron del estero Rancho Bueno y el resto en Tripp-Quezada, 1985 y Félix-Pico *et al.*, 1991.

Con estos datos recientes, se puede concluir que el modelo planteado en 1993, es consistente con sus postulados, y que el cultivo de la almeja puede contribuir a la formación de bancos someros de almeja catarina, si existen las condiciones de temperatura que permitan la proliferación de pastizales donde las larvas se fijen y obtengan el refugio necesario contra los depredadores. No obstante, aún es necesario confirmar el modelo durante otro evento extremadamente frío como el de 1988-1989, el cual es probable que ocurra a partir de 1999, ya que ese año se registraron anomalías térmicas negativas incluso mayores que las de 1988-1989 (Fig. 2). También es necesario concluir el estudio de variabilidad genética de poblaciones de almeja catarina (Maeda-Martínez et al., 1999), el cual fue iniciado en 1998 para comprobar la estrecha relación filogenética, que se especula existe entre las poblaciones de la plataforma continental con las del BAC, en contraste con ocho poblaciones de la costa del Pacífico y del Golfo de California incluyendo una de Guayaquil, Ecuador.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los M. en C. Esteban Félix Pico y Germán Ponce del CICIMAR y CIBNOR respectivamente, y a los señores Carlos Aceves García y Biól. José Hernández Lizardi de la Delegación Federal de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca en B.C.S., por proporcionar la información sobre las capturas y la ubicación de los bancos de almeja catarina. El Ing. Alfonso Aguilar del CIAD, A.C. dibujó la Figura 1. Finalmente se agradece al Téc. Pablo Ormart Castro y a la empresa Cultivos Técnicos del Mar Sudcaliforniano S.A. de C.V. por proporcionar la información sobre la colecta de semillas silvestres en el estero Rancho Bueno, B.C.S.

### BIBLIOGRAFÍA

- Auriolles-Gamboa, D. 1992. Inshore-offshore movements of pelagic redcrabs *Pleuroncodes planipes* (Decapoda, Anomura, Galatheididae) off the Pacific coast of Baja California Sur, Mexico. Crustaceana, 62: 71-84.
- Auriolles-Gamboa, D., M.I. Castro-González & R. Pérez-Flores. 1994. Annual mass strandings of pelagic red crabs (*Pleuroncodes planipes*; crustacea: anomura: galatheididae) in Bahía Magdalena Baja California Sur, México. Fishery Bulletin, 92 (2): 464-470.
- Badán, D.A., C.J. Koblinsky & T. Baumgartner 1985. Spring and summer in the Gulf of California: observations of surface thermal patterns. Oceanol. Acta, 8(1): 13-22.
- Evans, A.S., K.L. Webb & P.A. Penhale. 1986. Photosynthetic temperature acclimation in two coexisting seagrasses, *Zostera marina* L. and *Ruppia maritima* L. Aquat. Bot., 24: 185-197
- Félix-Pico, E.F., J. Amador-Buenrostro, G. Bojorquez-Verástica, J. Morales-Hernández & G. López-García. 1991. New record of pectinid spat (*Argopecten circularis*) on artificial collectors in Bahías Concepción and

- Magdalena, B.C.S., México. En: Memoirs of the 8<sup>th</sup> International Pectinid Workshop, Cherbourg, France. 12p.
- Ito, H. 1991. Japan, 1017-1055. En: Shumway, S.E. (Ed.). Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture. Elsevier.
- Lluch-Belda, D., F.J. Magallón & R.A. Schwartzlose. 1986. Large fluctuations in the sardine fishery in the Gulf of California: Possible causes. CalCOFI Rep. 27:136-140.
- Lluch-Cota, D.B., D. Lluch-Belda, S.E. Lluch-Cota, J. López-Martínez, M. Nevárez-Martínez, G. Ponce-Díaz, C. Salinas-Zavala, A. Vega-Velazquez, J.R. Lara-Lara, G. Hammann & J. Morales. 1999. Las pesquerías y El Niño, 137-178. En: Magaña R.V.O. (Ed.). Los impactos de El Niño en México. SG-UNAM-IAI-SEP/CONACyT, México, D.F.
- Maeda-Martínez, A.N., P. Ormart, V. Polo, T. Reynoso, P. Monsalvo, S. Avila & M. Espinosa. 1992. The potential predator impact, on bottom cultured Mexican Catarina Scallops (*Argopecten circularis*). Aquaculture '92 Conference and Exposition, Orlando Florida, May 21-25. Book of Abstracts 53p.
- Maeda-Martínez, A.N., T. Reynoso-Granados, F. Solís-Marín, A. Leija-Tristán, D. Auriolles-Gamboa, C. Salinas-Zavala, D. Lluch-Cota & P. Ormart-Castro. 1993. A model to explain the formation of catarina scallop (*Argopecten circularis*) beds in Magdalena Bay, Mexico. Aquac. & Fish. Management. 24: 323-339.
- Maeda-Martínez, A.N. & P. Ormart. 1995. Sistema marino para crecimiento y engorda hasta la fase adulta de almeja catarina. Patente otorgada por el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial a favor del CIBNOR No. 180211.
- Maeda-Martínez, A.N., T. Reynoso-Granados, P. Monsalvo-Spencer, M.T. Sicard, J.M. Mazón-Suástegui, O. Hernández, E. Segovia & R. Morales. 1997. Suspension culture of catarina scallop *Argopecten ventricosus* (= *circularis*) (Sowerby II, 1842), in Bahia Magdalena, Mexico, at different densities. Aquaculture. 158: 235-246.
- Maeda-Martínez, A.N., N. Hernández-Saavedra, E. Balart-Páez, E. Amador-Silva, A. Sierra-Beltrán & D. Rojas. 1999. Variabilidad genética de las poblaciones naturales de almeja catarina (*Argopecten ventricosus*=*circularis* Sowerby II, 1842). Informe final. Proyecto CONABIO L226, 20p.
- Maeda-Martínez, A.N., P. Ormart, L. Mendez, B. Acosta & M.T. Sicard. 2000. Scallop growout using a new bottom-culture system. Aquaculture. 189:73-84
- Marsh, J.A., W.C. Dennison, & R.S. Alberte. 1986. Effects of temperature on photosynthesis and respiration in eelgrass (*Zostera marina* L.). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 101: 257-267

- Reynolds, R.W. & T.M. Smith. 1994. Improved global sea surface temperature analyses using optimum interpolation. J. Climate. 7: 929-948.
- Ruíz-Luna, A. 1995. Comparación de modelos globales con un modelo empírico para la evaluación de la producción pesquera de la sardina crinuda *Ophistonema* spp. Ciencias del Mar U.A.S. 14:26-31.
- Sicard, M.T., A.N. Maeda-Martínez, P. Ormart, T. Reynoso-Granados & L. Carvalho. 1999. Optimum temperature for growth in the catarina scallop (*Argopecten ventricosus*- *circularis*, Sowerby II, 1842). J. Shellfish Res. 18: 383-390.
- Tripp-Quezada, A. 1985. Explotación y cultivo de la almeja catarina (*Argopecten circularis*) en Baja California Sur. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar. I.P.N., La Paz, B.C.S., Mexico 164 pp.
- Zimmerman, R.C., R.D. Smith & R.S. Alberte. 1989. Thermal acclimation and whole plant carbon balance in *Zostera marina* L. (eelgrass). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 130: 93-109.

# 16

## ANÁLISIS DE TRES VARIABLES OCEANOGRÁFICAS EN LA REGIÓN DE GUAYMAS, SONORA, MÉXICO

*Juana López-Martínez<sup>1,2</sup>, Manuel O. Nevárez-Martínez<sup>3,2</sup>, Armando Leyva-Contreras<sup>4</sup> & Osvaldo Sánchez<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., A. P. 128. La Paz, B.C.S. México 23000. E-mail: jlopez@cibnor.mx. <sup>2</sup>Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN). A. P. 592. La Paz, Baja California Sur, México. 23000. <sup>3</sup>Centro Regional de Investigación Pesquera, Instituto Nacional de la Pesca. Calle 20 No. 605 sur. Centro. Guaymas, Sonora, México. 85400. <sup>4</sup>Instituto de Geofísica, UNAM, C.U. México, D. F. 04510.

### RESUMEN

Se presentan los resultados de un análisis espectral en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia de la temperatura, salinidad y nivel medio del mar, tres variables oceanográficas de las más usadas como indicadores de cambios ambientales en el Golfo de California para el periodo de 1952 a 1996. La información fue obtenida de la estación mareográfica de Guaymas, Sonora. Los resultados muestran una marcada estacionalidad en todas las series, con tendencia creciente en el nivel medio del mar y una tendencia a disminución en la salinidad, la cual presenta además alta heterogeneidad, mientras que la temperatura mostró una tendencia ascendente hasta 1978 y un posterior descenso hasta 1996. Los ciclos más recurrentes en las tres variables analizadas fueron el ciclo de 2.5 años que pudiera ser el reflejo (alterado) del ciclo cuasi bienal de la circulación estratosférica, relacionados con la actividad solar; y el ciclo de 3.5 años, posiblemente relacionado con eventos de larga escala espacial como el evento El Niño. Adicionalmente la temperatura y el nivel medio del mar mostraron un ciclo de 11-12 años posiblemente relacionado a procesos astronómicos como las manchas solares. La temperatura mostró además un ciclo de 45 años, del cual deberá ser explorado el mecanismo causal.

**Palabras clave:** Temperatura, Salinidad, Nivel del mar, Ciclos, Golfo de California.

### ABSTRACT

Results are presented of an spectral analysis in the dominion of time and in

the dominion of the frequency of temperature, salinity and mean sea level, three of the oceanographic variables most used as indicators of environmental changes in the Gulf of California for the period from 1952 to 1996. The information was obtained from the mareographic station of Guaymas, Sonora. Results show a marked seasonality in all series, with an increasing tendency in the mean sea level, and a tendency to decrease in salinity, which also shows a high heterogeneity. Meanwhile temperature showed an ascending tendency to 1978, and a later decrease to 1996. The most recurrent cycles in the three analyzed variables were the cycle of 2.5 years which could be the reflection (altered) of the quasi biennial cycle of stratospheric circulation, related to solar activity. The 3.5 years cycle, possibly related to large spatial scale events, such as El Niño event. Additionally, temperature and mean sea level showed a 11 – 12 years cycle possibly related to astronomic processes such as the solar spots. Temperature also showed a 45 years cycle the causal mechanism of which should be explored.

**Key words:** Temperature, Salinity, Sea level, Cycles, Gulf of California.

## INTRODUCCIÓN

El impacto de la variabilidad ambiental sobre la distribución y abundancia de los recursos marinos ha sido conocido por los pescadores por centurias y sólo recientemente ha sido descubierta o reconocida por la ciencia y categorizada en diferentes escalas temporales y espaciales; éstas abarcan, desde movimientos pequeños de las poblaciones (migraciones), que pueden estar relacionados con fluctuaciones de pequeña escala en el ambiente, cambios interanuales y en escala de décadas y de cuenca, que impactan a todo el ecosistema (Smith, 1978; Sharp, 1978; McCleave *et al.*, 1984; Mendelssohn & Cury, 1987; Aebischer *et al.*, 1990; Ebbesmeyer *et al.*, 1991; Polovina *et al.*, 1994; Beamish, 1995; Polovina, 1996). Estos cambios no sólo afectan la distribución y abundancia de los recursos, sino que tienen efectos a nivel fisiológico, en procesos tan importantes como son la reproducción, la supervivencia larval, el crecimiento, la mortalidad y el reclutamiento (Del-Valle-Lucero, 1989; Gracia, 1989a, b; Cushing, 1990; Farrell *et al.*, 1991; Hannah, 1993; Pineda, 1994; Criales & Lee, 1995). Como es natural, todos estos procesos repercuten en las capturas (Barrett & Ralph, 1977; Castello & Moller, 1978; Hettler & Chester, 1982; Da-Silva, 1986; Mendo & Tam, 1993; Sheridan, 1996).

Si bien, se ha reconocido el efecto del ambiente en los organismos, sólo recientemente el tema ha cobrado importancia y aún así la mayor parte de los estudios se centran en el efecto de cambios ambientales de corta escala. Aunque se reconoce la influencia de la variabilidad en el ambiente de larga escala, el principal problema para su estudio es la dificultad de encontrar series de datos cuya extensión permita analizar esta variabilidad (Del-Valle-Lucero, 1989). Entre otras, la temperatura del agua, la salinidad y el nivel medio del mar, son las variables del ambiente que más se observan o miden en la práctica oceanográfica y a las que se puede recurrir más frecuentemente para el estudio

de la influencia del medio ambiente en los ecosistemas acuáticos y las pesquerías. Históricamente, la temperatura y la salinidad han sido vistas como las variables del medio ambiente de mayor interés cuando se examinan las fluctuaciones de las pesquerías. Por otra parte, el nivel medio del mar a sido considerado un indicador confiable de eventos de larga escala espacial como El Niño (Robles & Marinone, 1987), cambios en la profundidad de la capa de mezcla, la entrada de ondas internas (Merrefield & Winant, 1989; Thunell *et al.*, 1996) y de otros fenómenos de carácter regional, cada uno de ellos con fuertes implicaciones en la distribución de los organismos acuáticos.

Con base en lo anterior, el presente trabajo es una primera aproximación al análisis de los patrones de variabilidad de estas tres variables oceanográficas, mediante el uso de series de tiempo, tanto en el dominio del tiempo (función de autocorrelación) como en el de la frecuencia (función de densidad espectral).

### **Características climáticas atmosféricas de la región**

Debido a que la porción septentrional del país se encuentra en el cinturón de altas presiones del hemisferio norte, una buena parte del territorio nacional, el 52% según Schmidt (1989), lo constituyen zonas áridas y semiáridas. La región del noroeste mexicano, donde se ubica el Desierto de Sonora, cuenta con la influencia de la celda semipermanente de alta presión del Pacífico nororiental y de la corriente oceánica fría de California, con un componente importante que influye en el clima de su margen oriental, el Golfo de California (Hastings & Turner, 1965; García & Mosiño, 1968; Salinas-Zavala *et al.*, 1998).

De acuerdo a la clasificación de Köppen, modificada por García (1964), el tipo de clima prevaleciente en la región es el BWhw, que corresponde a clima seco desértico, con heladas ocasionales y dos temporadas de lluvias muy marcadas. La temperatura promedio anual del aire en superficie para la región de Guaymas es de 24.8 °C, presentándose temperaturas medias mensuales por arriba de los 18 °C (Tabla 1), que siguen la tendencia de la curva de insolación anual (García 1974). La precipitación pluvial anual media para la región es de 231.3 mm, con un período de lluvias de 27 días al año y una precipitación máxima en 24 horas de 150 mm, presentándose la media mensual más baja en abril y la máxima en agosto, con 1.7 mm y 66.7 mm, respectivamente. Los valores mensuales de precipitación varían con respecto al valor medio anual de precipitación, dependiendo de la influencia de fenómenos de diverso origen, como son las vaguadas polares que traen consigo frentes fríos en el invierno, además de las tormentas extratropicales, los eventos ciclónicos de origen tropical y lo que se conoce como la circulación monzónica de verano (Serra, 1971; Hales, 1972; Latorre & Penilla, 1988; Reyes & Cadet, 1988).

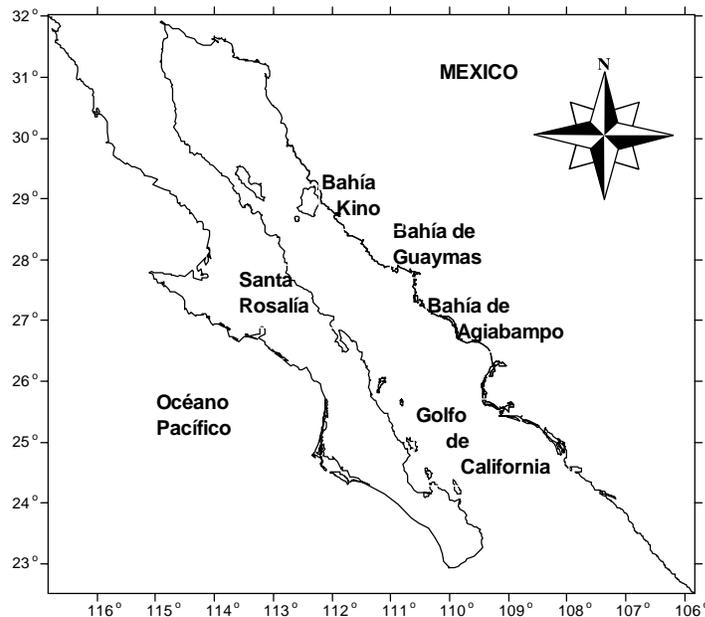
La evaporación anual mínima es de 0.01 mm y máxima de 21.6 mm y los vientos dominantes son del oeste-noroeste, en invierno, y durante el verano son del sur-suroeste con menor intensidad. La incidencia ciclónica es poca, con mayor riesgo relativo en septiembre, ya que durante este tiempo pueden presentarse trombas ó ciclones de diferentes intensidades.

**Tabla 1.** Temperatura del aire y precipitación pluvial media mensual en la Bahía de Guaymas

MES	Temperatura ambiental (°C)	Precipitación pluvial (mm)
Enero	18.0	12.7
Febrero	19.2	5.5
Marzo	20.8	4.1
Abril	23.3	1.7
Mayo	26.2	1.9
Junio	29.3	2.0
Julio	31.0	45.0
Agosto	30.9	66.7
Septiembre	30.2	45.0
Octubre	27	18.9
Noviembre	22.5	8.4
Diciembre	19.2	19.5

### Características del ambiente oceánico

El Golfo de California, en el cual se encuentra el Puerto de Guaymas, es un mar marginal del Océano Pacífico limitado por la península de Baja California en el oeste y el continente mexicano en el este (Fig. 1). Tiene una longitud de 1,000 km y una anchura promedio de 150 km. Debido al exceso de evaporación sobre la precipitación se le ha caracterizado como una gran cuenca de evaporación, con un gran rango anual de temperaturas y salinidades relativamente altas (Roden, 1954; Robles & Marinone, 1987; Bray, 1988; Lavín *et al.*, 1997).

**Figura 1.** Bahía de Guaymas en el Golfo de California, México.

Hidrológicamente se ha dividido al golfo en tres regiones principales: 1) la región norte, comprendida entre la boca del Río Colorado y la Isla Tiburón, que se caracteriza por ser una zona somera con profundidad promedio de 200 m y amplios rangos de variación de temperatura, salinidad y de marea; 2) la región central, localizada entre la Isla Tiburón y Topolobampo, que es una zona profunda con comunicación directa con el Océano Pacífico y que presenta un rango amplio de variación de la salinidad, y 3) la región sur comprendida entre Topolobampo y Cabo Corrientes, región que se caracteriza por presentar profundidades mayores de 3000 m y por ser el punto de convergencia de tres masas de agua superficial con características fisicoquímicas diferentes: a) agua fría de la Corriente de California de baja salinidad, que fluye hacia el sur a lo largo de la costa Oeste de Baja California; b) agua cálida del Pacífico Tropical oriental de salinidad intermedia que fluye en el área del sureste y c) agua cálida del Golfo de California de alta salinidad (Rodén, 1958; Rodén & Groves, 1959; Bray, 1988; Lavín *et al.*, 1997).

La intensa fuerza de mareas, los vientos, la radiación solar, junto con la interacción con el Océano Pacífico abierto, crean una vigorosa circulación en el golfo. Esta circulación interactúa con la profundidad variable para crear un complejo espectro de energía cinética, limitado en tiempo principalmente a periodos menores de un mes (Badán-Dangón *et al.*, 1985). Usando imágenes de satélite Fu & Holt (1984) describieron trenes de olas internas sobre los umbrales de la Cuenca Tiburón y el Canal de Ballenas, con amplitudes de 50 m y atribuyeron el origen de éstas olas al amplio rango de mareas (4m). Así mismo se han descrito parches constantes de agua fría en el Canal de Ballenas, delineados por un sistema de frentes cuya configuración depende de la dirección de los vientos locales, así como plumas de agua fría de surgencias que atraviesan la parte sur del golfo (Badán-Dangón *et al.*, 1985).

La circulación general del golfo se caracteriza por una entrada de agua profunda y una salida de agua superficial (Gilbert & Allen, 1943). Bray (1988) propuso un patrón de circulación de tres capas: flujo hacia afuera entre los 50-250 m, entrada entre los 250-500 m y una capa superficial en la que la dirección del transporte cambia con las estaciones a gran escala en función de los vientos. Se ha observado que el flujo superficial promedio entre febrero y abril es hacia afuera del golfo (Wyllie, 1966) y que la mayor parte de éste flujo sale a lo largo de la costa de Baja California (Rosas-Cota, 1976; Lavín *et al.*, 1997). En junio, el flujo superficial se revierte, entrando al golfo a través de la boca, principalmente por la parte central y este, y persiste hacia el norte como una corriente que cambia hacia el este en agosto (Rosas-Cota, 1976).

Las surgencias, determinadas por la divergencia del transporte de Ekman, son más fuertes a lo largo del lado este del golfo durante invierno y principios de primavera, época en la que predominan los vientos del noroeste. Durante verano y principios de otoño, el régimen de vientos predominante es del sureste y las surgencias se presentan en el lado oeste del golfo, siendo menos intensas que en el invierno-primavera (Badán-Dangón *et al.*, 1985). Estos procesos causan una excepcional productividad del fitopláncton, con tasas en el golfo comparables

a las de la Bahía de Bengala o las áreas de surgencia de la costa oeste de Baja California o noroeste de África (Valdez-Holguín & Lara-Lara, 1987).

En el Golfo de California ocurren procesos de mezcla por efecto de vientos, surgencias (Roden, 1954) y diversos fenómenos oceánicos y atmosféricos inducen la formación de ecosistemas únicos (Brinton *et al.*, 1986) con una fuerte influencia regional, que exacerba la climatología característica del Noroeste Mexicano. La circulación superficial en la costa de Sonora y Sinaloa está influenciada además del patrón de vientos estacionales, por ondas internas que viajan a lo largo de la costa y que tienen su origen en los centros de baja presión comunes en el área cercana a Manzanillo, Colima y que originan tormentas y ciclones, muchos de los cuales viajan por la costa y se desvían en dirección NW o NE cerca de la boca del Golfo y que originan que dichas ondas internas queden atrapadas (Merrefield & Winant, 1989). Estas ondas pueden originar una diferencia en el nivel medio del mar de hasta 20 cm y un abatimiento en la profundidad de la termoclina de hasta 10 m.

### **La Bahía de Guaymas**

En el eje central del Golfo de California se localiza la Cuenca de Guaymas, que es una depresión alargada en posición NW-SE, con su porción más amplia a la altura del Sur del Puerto de Guaymas (Rusnack & Fisher, 1964). La Bahía de Guaymas está localizada en el Estado de Sonora alrededor de los 27° 31'20" de latitud norte y los 110° 59'07" longitud oeste (Fig. 1). Cuenta con una superficie aproximada de 39.5 km<sup>2</sup>, una profundidad promedio de 8.5 m y esta comunicada con la parte central del Golfo de California por una entrada de 1.2 km de ancho situada al sur (Díaz & Ruvalcaba, 1969). La amplitud de la marea es de 0.46 m y el tipo de marea característico de la región es mixta, aunque algunos autores la consideran diurna (Anónimo, 1995).

## **METODOLOGÍA**

Con la finalidad de dar seguimiento a algunas condiciones oceanográficas relevantes, el Servicio Mareográfico del Instituto de Geofísica de la UNAM ha mantenido 12 estaciones mareográficas en el Pacífico mexicano y Golfo de California, una de ellas localizada en la Bahía de Guaymas, Sonora. Dicha estación mareográfica se encuentra operando desde 1952 y los datos que aquí se analizan corresponden a los valores medios mensuales para el periodo de 1952 a 1989 (38 años) del nivel del mar (en pies), referidos al cero de la regla de marea, así como promedios mensuales de temperatura (medida en grados centígrados; periodo 1952-1995, 44 años) y salinidad (medida en partes por mil; periodo 1952-1990, 39 años) de la capa de agua superficial. Los datos mareográficos fueron tomados con un mareógrafo de gráfica continua y la temperatura y salinidad del agua de mar se obtuvieron por mediciones realizadas con un termómetro y un hidrómetro de muestras de agua *in situ*. La salinidad del agua de mar, definida como el número de gramos de sal contenida en 1,000 gramos de agua de mar se obtuvo en base a la densidad media obtenida con el

hidrómetro y reducida a una temperatura estándar de 15 °C.

Las series de tiempo de las variables analizadas tenían omisiones que iban de un mes a dos y medio años. Con la finalidad de tener las series de tiempo completas, las omisiones fueron estimadas de la siguiente manera: para el caso en que faltaba sólo un mes, el valor se obtuvo por interpolación tomando en cuenta los valores de los meses vecinos, así como el valor de ese mes en el año anterior y el año posterior. Para el caso de omisiones en periodos de tiempo más largos, el valor de cada mes se obtuvo a través de interpolación siguiendo el comportamiento gráfico de cada mes en particular, a lo largo de toda la serie de tiempo. Es decir, se reprodujo la curva anual promedio, pero apoyada en los meses con datos observados en el año correspondiente. Para probar la confiabilidad de los valores estimados, se efectuó una prueba de independencia de  $X^2$  entre la distribución de frecuencias de los datos observados y los calculados, no encontrando diferencias significativas entre ambas distribuciones ( $X^2=5$ ;  $p>0.05$ ).

Una vez rellenas las series de datos, se realizó un análisis exploratorio gráfico con la finalidad de observar si presentaban tendencia, estacionalidad y datos anómalos, además de caracterizar el ciclo anual promedio. Para la determinación de la estacionalidad se utilizó una prueba de rangos múltiples entre el valor promedio de los meses (Sokal & Rolf, 1981), que demostró que los datos podían ser agrupados en dos estaciones: invierno y verano. Para quitar la estacionalidad a las series (debido a que la varianza en los datos inducida por la estacionalidad es la más dominante de las diversas fuentes de variación total en las tres series), en base a los resultados de las pruebas de rangos múltiples, cada serie (temperatura, salinidad y nivel medio del mar) fue separada en dos sub-series (promedio de los meses de verano y de invierno de cada año).

Con la finalidad de transformar a cada una de esas sub-series de no-estacionarias a estacionarias y poder aplicar así los diversos análisis de series de tiempo (que están básicamente desarrollados para series estacionarias), se eliminó la tendencia de las series mediante una diferenciación de primer orden (Box & Jenkins, 1970; Chatfield, 1992), donde las nuevas series son formadas de las originales  $\{x_1, \dots, x_N\}$  por

Con la finalidad de describir la evolución de las variables analizadas a través del tiempo (análisis en el dominio del tiempo) se aplicó la función de

$$y_t = x_{t+1} - x_t = \nabla x_{t+1}$$

autocorrelación, la cual mide la correlación entre observaciones de la misma serie a diferentes distancias, de acuerdo a la siguiente ecuación:

En donde:

El error estándar al retraso  $k$  es

donde:

$$r_k = \frac{C_k}{C_0}$$

$$C_k = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (y_t - \bar{y})(y_{t+k} - \bar{y})$$

$$\bar{y} = \frac{\left( \sum_{t=1}^n y_t \right)}{n}$$

$y_t$  = observación al tiempo  $t$

$$k = \sqrt{\frac{1}{n} \left\{ 1 + 2 \sum_{v=1}^{k-1} r_v^2 \right\}}$$

$n$  = numero de observaciones

$c_k$  = coeficiente de autocovarianza al retraso  $k$

$r_k$  = coeficiente de autocorrelación al retraso  $k$

Posteriormente se calculó la función de densidad espectral (periodograma) usando la Transformada Rápida de Fourier (FFT), en donde el valor de la

$$I(f_i) = \frac{n}{2} (a_i^2 + b_i^2)$$

ordenada a cada frecuencia  $f_i$  esta dado por:

Donde:

que describe como la variación en el tiempo puede ser explicada por componentes cíclicos en diferentes frecuencias (análisis en el dominio de la

$$a_i = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n y_t \cos(2\pi f_i t)$$

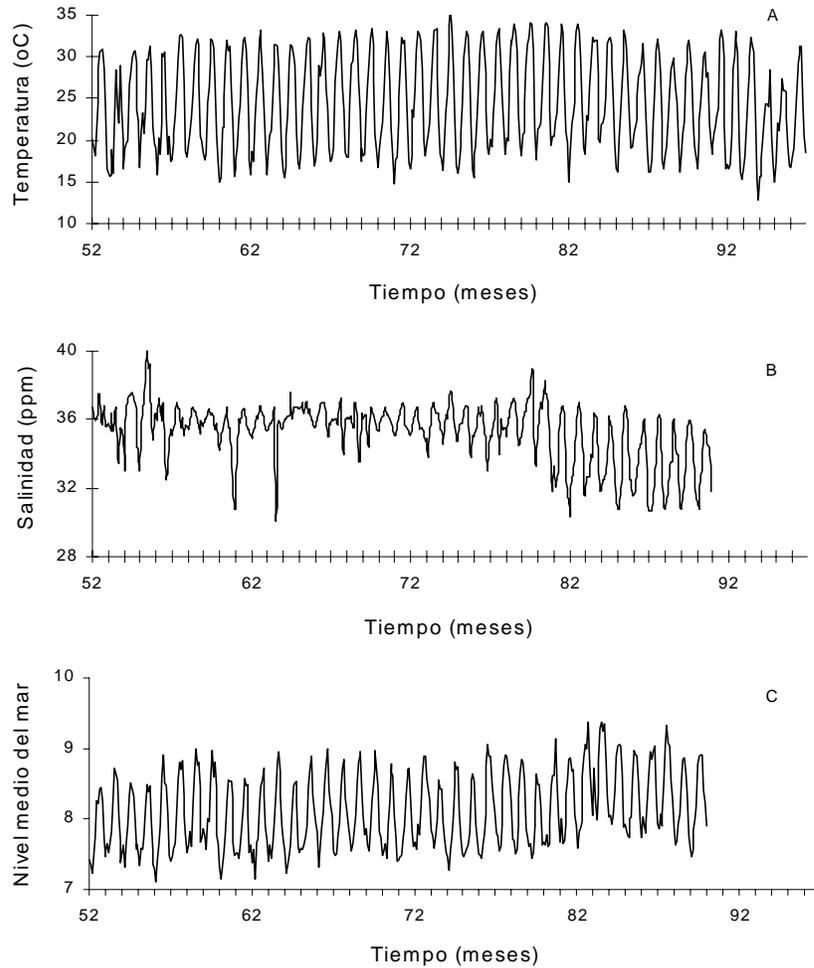
$$f_i = \frac{i}{n}$$

$$b_i = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n y_t \sin(2\pi f_i t)$$

frecuencia; Chatfield, 1992). Todos los cálculos fueron efectuados con el paquete estadístico STATGRAPHICS PLUS v. 1.1.

## RESULTADOS

Las series de tiempo de temperatura superficial del mar, nivel medio del mar y salinidad mostraron estacionalidad muy marcada (Figs. 2 y 4), además de una obvia tendencia (Fig. 3), que en el caso de la temperatura muestra incremento sostenido de 1950 a 1977 y un posterior descenso desde 1978 en adelante. Igualmente resalta una mayor variabilidad para los años 50s y los 90s, o sea, la parte inicial y terminal de la serie. En el caso de la salinidad la serie muestra una franca tendencia a la disminución, mostrando un punto de quiebre de la serie en los años de 1979-1880, además de mostrar un incremento en la estacionalidad en la serie, lo cual hizo necesario separar la serie en dos periodos. El nivel medio

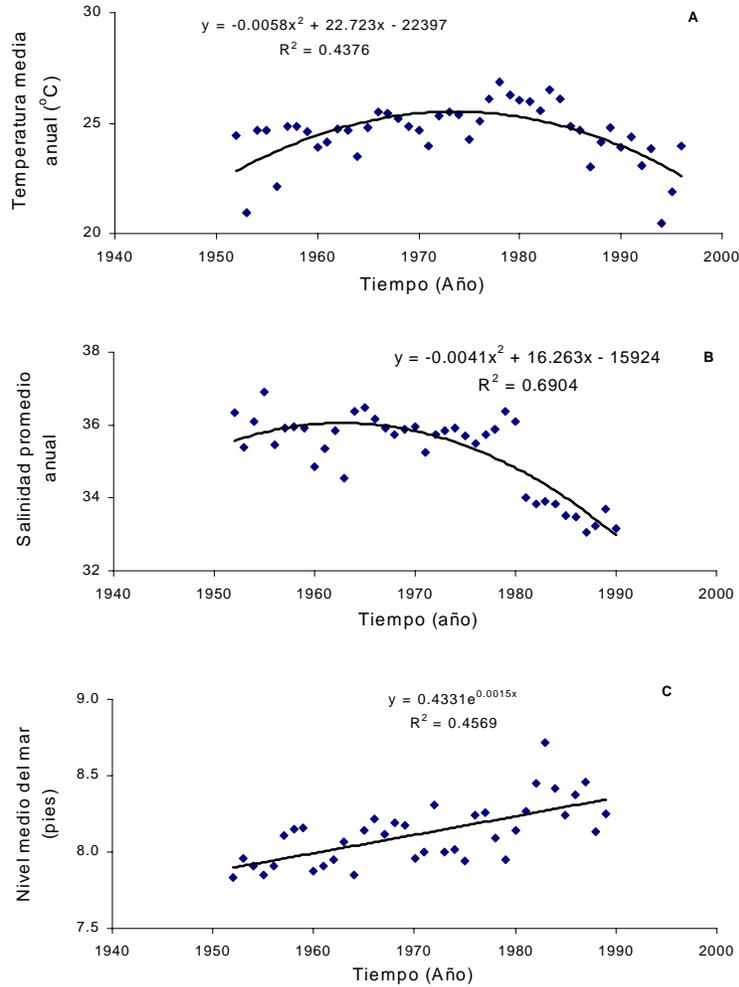


**Figura 2.** Series de tiempo de temperatura (A), salinidad (B) y nivel medio del mar (C) en Guaymas, Sonora.

del mar por otra parte mostró una tendencia a incrementarse en forma sostenida (Fig. 3).

Con respecto a los meses que se agruparon para cada estación, estos fueron los mismos para las tres variables, excepto en el caso del nivel medio del mar, variable en la que la estación invernal fue de enero a marzo en lugar de diciembre a febrero (Fig. 4c y Tabla 2). La salinidad mostró un punto de quiebre en la serie en 1979-1980, hecho que hizo necesario separar la serie original en dos periodos para su análisis (Tabla 2).

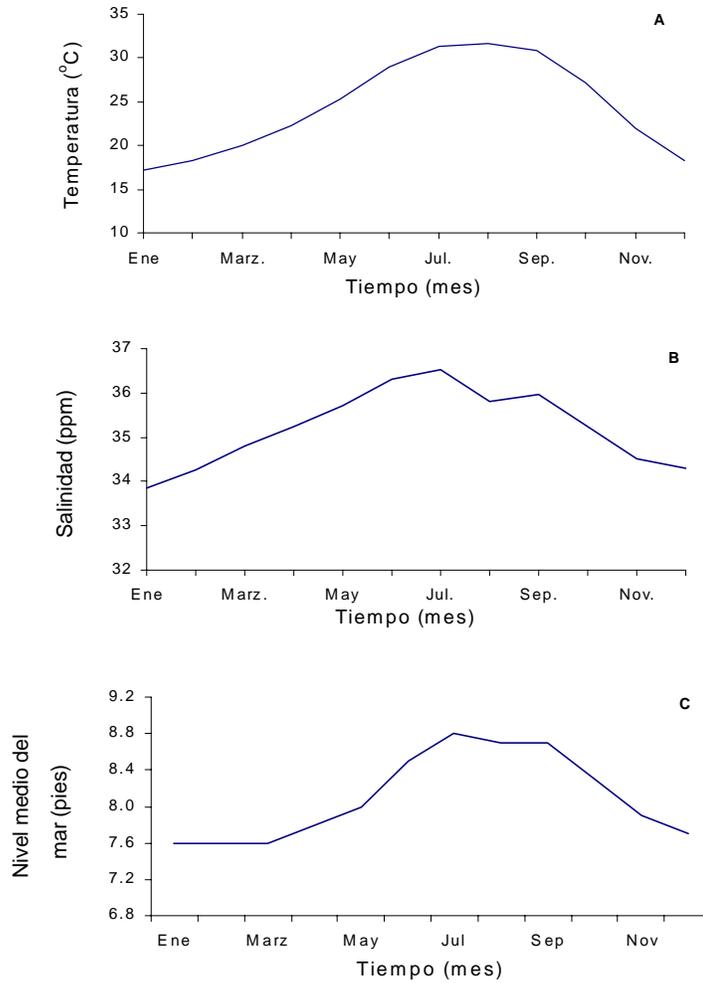
Los correlogramas indican que las series de tiempo analizadas tienen un comportamiento aleatorio, si bien las subseries de temperatura de invierno, y las



**Figura 3.** Tendencia de la temperatura (A), salinidad (B) y nivel medio del mar (C) en Guaymas, Sonora.

de salinidad y nivel medio del mar de verano muestran una correlación significativa de corto término (Tabla 2; Anexo).

Por otra parte, los periodogramas indicaron que el nivel medio del mar presenta ciclos de 3.6 y 2.1 años, si bien la señal de 3.6 es más fuerte durante invierno y la de 2.1 en verano (Tabla 3; Anexo). En el caso de la temperatura esta mostró los ciclos mas importantes de 3.6 y 2.5 años, pero también se marcan ciclos de 11 y 45 años, tanto en la serie de invierno como en la de verano (Tabla 3; Anexo). En el caso de la salinidad, durante el primer periodo (1952-79) predomina la señal de 3.3 años, tanto en invierno como en verano, mientras que para el segundo periodo (1980-1990) en ambas estaciones predomina la señal de 5 años si bien también se presentó la de 3.3 años (Tabla 2; Anexo).



**Figura 4.** Patrón medio anual de la temperatura (A), salinidad (B) y nivel medio del mar (C) en Guaymas, Sonora.

**Tabla 2.** Indicadores de la series de nivel medio del mar (NMM), salinidad (S) y temperatura (T).

Característica	NMM	S 1	S 2	T
Periodo de la serie	ene 1952 - dic 1990	ene 1952 - dic 1979	ene 1980 - dic 1990	ene 1952 - dic 1995
Estacionalidad	+	+	+	+
meses de invierno	enero-marzo	diciembre-febrero	diciembre-febrero	diciembre-febrero
meses de verano	julio-septiembre	julio-septiembre	julio-septiembre	julio-septiembre
media invierno	7.6	35.5	31.0	19° C
media verano	8.7	37.0	36.5	31° C
Correlograma invierno	serie aleatoria	serie aleatoria	serie aleatoria	Autocorrelación de corto término
Correlograma verano	autocorrelación de corto termino	autocorrelación de corto termino	autocorrelación de corto termino	serie aleatoria

**Tabla 3.** Frecuencia fundamental (F en años) de los ciclos y su amplitud (A) en las series de temperatura (T), salinidad (S) y nivel medio del mar (NMM) en Guaymas, Sonora. I= invierno, V=verano.

NMM-I		NMM-V		S1-I		S1-V		S2-I		S2-V		T-I		T-V	
F	A	F	A	F	A	F	A	F	A	F	A	F	A	F	A
3.6	0.39	2.12	0.48	3.3	4.9	3.25	14.5	5.0	3.0	5.0	1.75	3.6	21.0	2.8	32.0
2.0	0.23	3.03	0.25	6.4	3.7	2.38	12.5	3.3	2.8	2.5	1.15	2.6	18.0	3.1	15.0
2.7	0.16	5.12	0.12	2.6	2.3	5.2	4.0					3.1	10.5	3.7	13.0
5.1	0.09	6.06	0.14	2.4	2.3							5.5	8.0	11.1	7.0
12.0	0.02	8.9	0.09	2.0	1.55							4.4	4.0	6.2	3.0
		3.6	0.07	25.0	0.04							11.1	2.5	4.4	2.5
												45.0	1.0	45.0	2.5

## DISCUSIÓN

Como se observa en los resultados, la estacionalidad es la principal fuente de variación en las tres variables analizadas, observándose bajos valores de temperatura, salinidad y nivel medio del mar en invierno y altos en verano, lo que se esperaría para esta región del planeta; también se observa una tendencia ascendente en la temperatura y en el nivel medio del mar y una disminución en la salinidad, así es claro que la gráfica es suficiente para mostrarnos los rasgos obvios y describirnos la variación dominante en las series de tiempo. Sin embargo, un análisis más completo (en el dominio del tiempo y de la frecuencia) se requirió para detallarnos los rasgos no visibles en las series. Las variaciones en el tiempo de una serie puede ser causada por variaciones a diferentes frecuencias, por ejemplo, en nuestro caso, por la longitud de las series, estacionales, interanuales o de década. Estos son los armónicos que contribuyen a la varianza total de los datos, lo que ha sido previamente mencionado por Chatfield (1992).

De acuerdo a los resultados aquí presentados, en general se puede decir que si bien las series en el análisis en el dominio del tiempo (correlogramas) no mostraron mas que autocorrelaciones de corto término, el comportamiento del mismo correlograma mostró oscilaciones que sugieren la presencia de ciclos “no visibles” en los datos de mayor amplitud, los cuales a través del análisis de densidad espectral (periodogramas) si se lograron separar. De acuerdo a dicho análisis existen variaciones interanuales, de 3.6 años en el nivel medio del mar, de 3.3 y 2.6 años en salinidad y de 11, 4.4, 3.5 y 2.6 años en la temperatura, con diferencias en la composición espectral entre las épocas de invierno y verano. Sin embargo, las variaciones de 3.3 a 3.6 años presentes en todas las series, fueron el rasgo dominante. Es probable que esta periodicidad este relacionada con la señal de El Niño-Oscilación del Sur, un evento oceanográfico-atmosférico de gran escala espacial y que se ha demostrado (Baumgartner &

Christensen, 1985; Robles & Marinone, 1987; Lavín *et al.*, 1997; Parés *et al.*, 1997) afecta también al Golfo de California.

La serie de temperatura mostró una tendencia a incrementarse y posteriormente a disminuir (forma de parábola) lo que coincide con lo reportado por Hansen *et al.* (1981). El periodograma de ésta serie mostró ciclos tanto en escala interanual (2.5, 3.3, 5), de década (11 años) y cuadridecadal (45 años); estos resultados coinciden con los previamente reportados por Lau y Weng (1998) para la región entre las latitudes 60° Norte y 40° Sur, si bien estos autores utilizan otra fuente de información (COADS). Es posible que la periodicidad de 11 años este relacionada a procesos astronómicos como las manchas solares (A. Leyva Contreras, com. per.)

La serie de nivel medio del mar mostró una franca tendencia creciente, coincidiendo con la tendencia reportada en regiones tales como San Francisco, CA., Key West, Fl., Baltimore, MD, Nueva York, etc. (Titus & Narayanan, 1995; Titus *et al.*, 1998). Sin embargo, debido a que han sido registrados ciclos de larga escala en otras regiones del mundo (Gornitz *et al.*, 1982; Hoffman *et al.*, 1993) cuya duración es mayor que la longitud de la serie de tiempo examinada, esta tendencia pudiera ser parte de un ciclo que no se ha completado.

El punto de quiebre de la serie de salinidad es muy interesante debido a que durante la primera parte de la serie, la diferencia en el valor medio entre las estaciones es menor que en la segunda parte de la serie, además que la primera parte de la serie no mostró ninguna tendencia, mientras que la segunda mostró una tendencia negativa definida y se incremento la diferencia entre el valor medio de cada estación. Este hecho puede tener repercusiones muy importantes para el ecosistema marino de la Bahía de Guaymas, dado que la salinidad es uno de los factores limitantes más importante para algunos organismos, afectándolos tanto en su distribución, como en su desarrollo. Si se considera la diferencia de salinidad entre verano e invierno, es muy probable que los componentes de la comunidad hayan cambiado, tendiendo a disminuir los organismos estenohalinos (poco tolerantes a los cambios en la salinidad) y predominando los organismos eurihalinos (con rangos amplios de tolerancia a la salinidad).

Las posibles causas de la disminución en la salinidad y de los cambios más marcados entre estaciones pueden ser diversas, como son la construcción del Patio Fiscal "Sánchez Taboada", localizado en el lado norte de la boca de la Bahía, para el cual se le "ganó" terreno al mar, hecho que pudo haber cambiado la tasa de recambio de las aguas. Por otra parte, el incremento de las descargas domésticas (Burrola-Sánchez, com. per.), aunado a la disminución de la tasa de recambio de la Bahía, pudieron originar un "efecto domino" en el sistema. Aún con todo esto, y las variaciones entre estaciones y las tendencias, las dos partes de la serie mostraron dos ciclos definidos: uno de ellos de 5 años y otro de 3.3-3.6 años tanto para primavera como para verano, posiblemente relacionados con eventos de larga escala espacial tipo El Niño. En cuanto a los ciclos de menos de 2.5 años, pudieran ser reflejos (alterados) del ciclo cuasi bienal de la circulación estratosférica, relacionados con la actividad solar (A. Leyva Contreras, com. per.).

## BIBLIOGRAFÍA

- Aebischer, N.J., J.C. Coulson & J.M. Colebrook. 1990. Parallel long trend across four marine trophic levels and weather. *Nature.*, (347):753-755.
- Anónimo, 1995. Tabla de predicción de Mareas. Instituto de Geofísica UNAM.
- Badan-Dangon, A., C.J. Koblinsky & T. Baumgartner. 1985. Spring and summer in the Gulf of California: observations of surface thermal patterns. *Oceanologica Acta*, 8(1):13-22.
- Barrett, B. & E.J. Ralph 1977. Environmental conditions relative to shrimp production in coastal Louisiana along with shrimp catch data for the Gulf of México. *Tech. Bull.*, 26. Dpto. Wildlife Fisheries.
- Baumgartner, T. & N. Christensen. 1985. Coupling of the Gulf of California to large-scale interannual climatic variability. *J. Mar. Res.*, (43):825-848.
- Beamish, R.J. (Ed.). 1995. Climate change and northern fish populations, 121. Can. Spec. *Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 739 p.
- Box, G.E.P. & G.M. Jenkins. 1970. Time series analysis, forecasting and control. San Francisco: Holden-Day.
- Bray, N.A. 1988. Thermohaline circulation in the Gulf of California. *J. Geophys. Res.*, 95(C5):4993-5020.
- Brinton, E., A. Fleminger & D.C. Siegel. 1986. The temperate and tropical planktonic biotas of the Gulf of the California. *CalCOFI Rep.*, (27):228-266.
- Castello, J.P. & O.O. Moller. 1978. On the relationship between rainfall and shrimp production in the estuary of the Patos Lagoon, Río Grande, Brasil. *CDU-595.384*. 34 (285).
- Criales, M.M. & N.T. Lee 1995. Larval distribution and transport of penaeoid shrimps during the presence of the Tortugas Gyre in may-june 1991. *Fish. Bull.*, (93):471-482.
- Cushing, D.H. 1990. *Adv. Mar. Biol.*, (26):249-293.
- Chatfield, C. 1992. The analysis of time series. An introduction. Chapman & Hall. 241 p.
- Da-Silva. 1986. River runoff and shrimp abundance in a tropical coastal ecosystem. The example of the Safala Bank, Central Mozambique. *NATO ASI Series* (67).
- Del-Valle, L. 1989. Estrategia de producción y explotación en una laguna costera de México. Tesis de doctorado. Universidad Politécnica de Cataluña, España. 265 p.
- Díaz, H.B. & R.C. Ruvalcaba, 1969. Estudio Hidrográfico de la Bahía de Guaymas. Tesis de Licenciatura. ITESM-Guaymas. Guaymas, Son. 90 p.
- Ebbesmeyer, C.C., D.R. Cayan, D.R. McLain, F.H. Nichols, D.H. Peterson & R.T. Redmond. 1991. 1976 step in the Pacific Climate: forty parameter

- changes between 1968-1975 and 1977-1984, 115-126. En: Betancourt, J.L. & V.L. Tharp, (Eds.). Proceeding of the 9<sup>th</sup> Annual Pacific Climate (PACLIM) Workshop, 1991. Asilomar, California. Tech. Rep. Interagency Ecol. Studies Prog. Sacramento-San Joaquin Estuary. CL|PACLIM01ATR|91-26, Cal. Dep. Water Resources, Sacramento.
- Farrell, T. M., D. Bracher & J. Roughgarden. 1991. Cross-shelf transport causes recruitment to intertidal populations in Central California. Limnol. and Oceanog., 36(2):279-288.
- Fu, L.L. & B. Holt. 1984. Internal waves in the Gulf of California: observations from a spaceborne radar. J. Geophys. Res., 89(C2):2053-2060.
- García, E. 1964. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- García, E. & A.P. Mosiño, 1968. Los climas de Baja California. Memoria 1966-67. Decenio Hidrológico Internacional. UNAM.
- Gilbert, J.Y. & W.E. Allen. 1943. The phytoplankton of the Gulf of California obtained by the "E.W. Scripps" in 1939 and 1940. J. Mar. Res., 5(2):89-110.
- Gornitz, V., S. Lebedeff & J. Hansen. 1982. Global sea level trend in the past century. Science 215:1611-1614.
- Gracia, A. 1989a. Ecología y pesquería de camarón blanco *Penaeus setiferus* 1767 en la Laguna de Términos-Sonda de Campeche. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 127 p.
- Gracia, A. 1989b. Relationship between environmental factors and white shrimp abundance in the southwestern Gulf of México. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Auton. México, 16(1):171-182 .
- Hales, J.E. 1972. Surges of maritime tropical air northward over the Gulf of California. Mon. Wea. Rev., (100):298-306.
- Hannah, R.W. 1993. Influence of environmental variation and spawning stock levels on recruitment of ocean shrimp (*Pandalus jordani*). Can. J. Fish. Aquat. Sci., (50):612-622.
- Hansen, J.E., D. Johnson, A. Lacis, S. Lebedeff, D. Rind & G. Russell. 1981. Climate impact of increasing atmospheric carbon dioxide. Science, (213):957-966.
- Hastings, J.R. & R.M. Turner. 1965. Seasonal precipitation regimes in Baja California, Mexico. Geograf. Annal., (47):204-223.
- Hettler, W.F. & A.J. Chester 1982. The relationship of winter temperature and spring landings of pink shrimp. Fish. Bull., 80(4).
- Hoffman, J.S., D. Keyes & J.G. Titus. 1993. Projecting future sea level rise. U.S. GPO # 055-000-0236-3. Washington, D.C.: Government printing office.
- Latorre, C. & L. Penilla. 1988. Influencia de los ciclones en la precipitación de Baja California Sur. Atmosfera., 1(2):99-112.

- Lau, K.M. & H. Weng. 1998. Interannual, decadal-to-interdecadal and global warming signals in sea surface temperature during 1955-1997. J. Climate. En prensa.
- Lavin, M.F., E. Beier E. & A. Badan. 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: escalas estacional e interanual, 139-169. En: Lavin, M.F. (Ed.). Contribuciones a la oceanografía física de México. Monografía 3 UGM.
- McCleave, J.D., G.P. Arnold, J.J. Dodson & W.H. Neill, (Eds.). 1984. Mechanisms of migration in fishes. Plenum Press, New York. 574 p.
- Mendelsohn, R. & P. Cury. 1987. Fluctuations of a fortnightly abundance index of the Ivorian coastal pelagic species and associated environmental conditions. Can. J. Fish. Aquat. Sci., (44): 408-421.
- Mendo, J. & J. Tam 1993. Multiple environmental states affecting Penaeid shrimp production in Perú. Naga, the ICLARM quarterly april-july. 44-46.
- Merrefield, M.A. & C.D. Winant, 1989. Shelf circulation in the Gulf of California: A description on the variability, J. Geophys. Res., 94 (c12):18133-18160.
- Pares-Sierra, A., M. López & E. G. Pavia. 1997. Oceanografía física del Océano Pacífico Nororiental, 1-24. En: Lavin, M.F. (Ed.). Contribuciones a la oceanografía física de México. Monografía 3 UGM P.
- Pineda, J. 1994. Internal tidal bores in the near shore: water fronts, seaward gravity, currents, and the on shore transport of neustonic larvae. Journal of Mar. Res., (52):427-458.
- Polovina, J.J. 1996. Decadal variation in the trans-Pacific migration of northern bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) coherent with climate-induced change in prey abundance. Fisheries Oceanography., (5):114-119.
- Polovina, J.J., G.T. Mitchum, N.E. Graham, M.P. Craig, E.E. De Martini & E.N. Flint. 1994. Physical and biological consequences of a climate event in the central North Pacific. Fisheries Oceanography., (3):15-21.
- Reyes, S. & D.L. Cadet. 1988. The southwest branch of the North American monsoon during summer 1979. Mon. Wea. Rev., (116):1175-1187.
- Robles-Pacheco, J.M. & S.G. Marinone. 1987. Seasonal and interannual thermo-haline variability in the Guaymas Basin of the Gulf of California. Continental Shelf Res., (7):715-733.
- Roden, G.I. 1954. Oceanographic aspects of the Gulf of California, Mem. 3: 20-38. En: Am. Assoc. Petrol. Geol. Marine geology of the Gulf of California.
- Roden, G.I. 1958. Oceanographic and meteorological aspects of the Gulf of California. Pac. Sci., 12(1): 21-45.
- Roden, G.I. & G.W. Groves. 1959. Recent oceanographic investigations in the

- Gulf of California. J. Mar. Res., 18(1):10-35.
- Rosas-Cota, A. 1976. Corrientes geostróficas en el Golfo de California en la superficie y a 200 m durante las estaciones de invierno y verano. CalCOFI Rep., (19):89-106.
- Rusnack, G.A. & R. L. Fisher 1964. Structural history and evolution of Gulf of California, 144-156. En: Van-Andel, T.H. & G.G. Shor (Eds.). Marine Geology in the Gulf of California. American Association Petroleum Geologists Memoir 3.
- Salinas-Zavala, C.A., D. Lluch-Belda, S. Hernández-Vázquez & D.B. Lluch-Cota. 1998. La aridez en el noroeste de México. Un análisis de su variabilidad espacial y temporal. Atmosfera, (11):29-44.
- Schmidt, Jr.R.H. 1989. The arid zones of Mexico: climate extremes and conceptualization of the Sonoran Desert. J. Arid Environ., (16):241-256.
- Serra, S. 1971. Hurricanes and tropical storms of the West Coast of Mexico. Mon. Wea. Rev., 99(4):302-308.
- Sharp, G.D. 1978. Behavioral and physiological properties of tunas and their effects on the vulnerability to fishing gear, 397-449. En: The physiological ecology of tunas.
- Sharp & A.E. Dizon (Eds.). Academic Press, San Francisco.
- Sheridan, P. 1996. Forecasting the fishery for pink shrimp, *Penaeus duorarum*, on the Tortugas Grounds. Florida. Fish. Bull., (94):743-755.
- Smith, E. P. 1978. Biological effects of ocean variability: time and space scales of biological response. Rapp. P. V Reun. Cons. Int. Explor. Mer., (173):117-127.
- Sokal, R. R. & J. Rolf. 1981. Biometry. W.H. Freeman & Co., Nueva York. 859 p.
- Thunell, R. 1996. Continental margin particle flux. Seasonal cycles and archives of global change. Oceanus, 40(2):20-23.
- Titus, G.J., R. Park, S. Leatherman, R. Weggel, M. Greene, P. Mausel, S. Brown, G. Gaunt, M. Trehan & G. Yohe. 1998. Greenhouse effect and sea level rise. The cost of holding back the sea. Environmental Protection Agency. Library of Congress Cataloging in publication data. 37 p.
- Titus, G.J. & V.K. Narayanan. 1995. The probability of sea level rise. Environmental Protection Agency. Library of Congress Cataloging in publication data. 195 p.
- Valdez-Holguin, J.E. & J.R. Lara-Lara. 1987. Productividad primaria en el Golfo de California: efectos del evento El Niño 1982-1983. Ciencias Marinas, 13(2):34-50.
- Willie, J.G. 1966. Geostrophic flow of the California Current at the surface and at 200 meters. CalCOFI Atlas 4: (VII-XIII):288 cartas.

# **A N E X O**

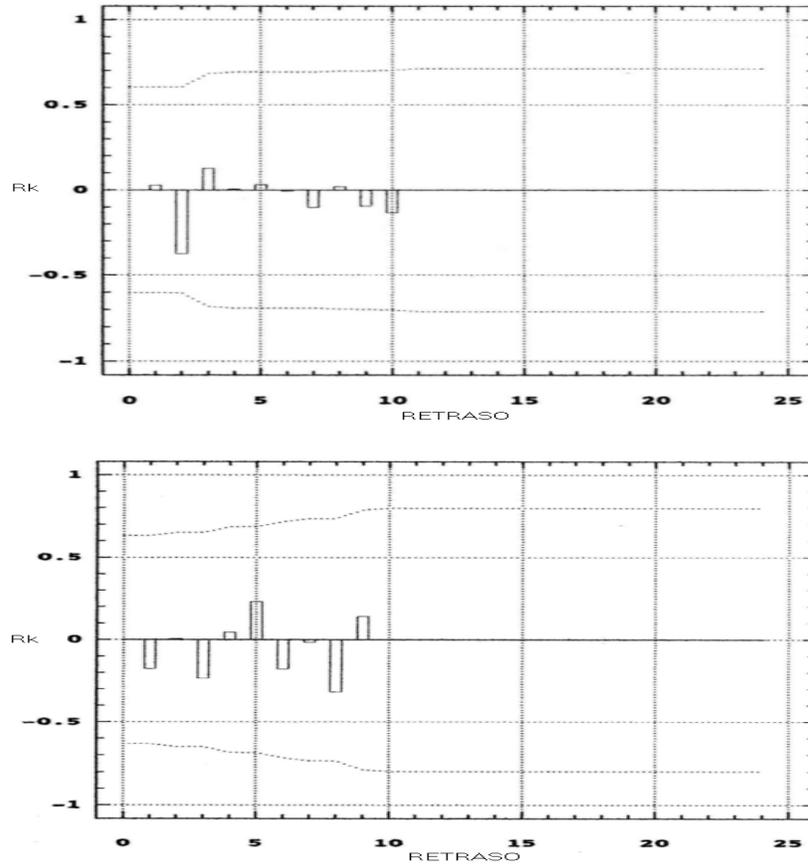
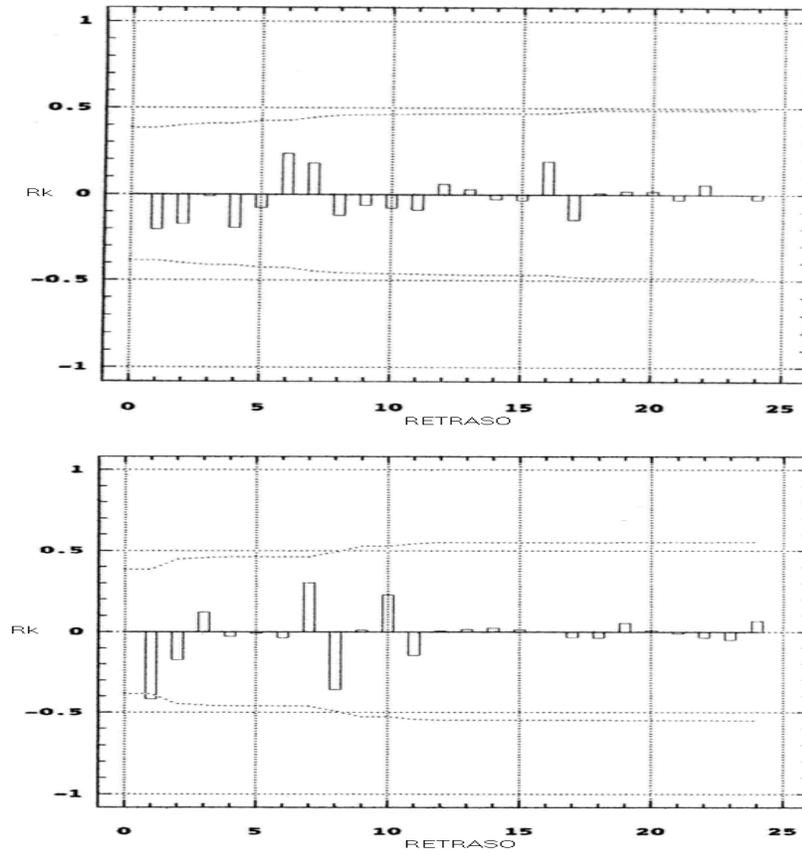


Figura A. Correlograma para la salinidad. Periodo 1978-89.



**Figura B.** Correlograma para la salinidad. Periodo 1952-77.

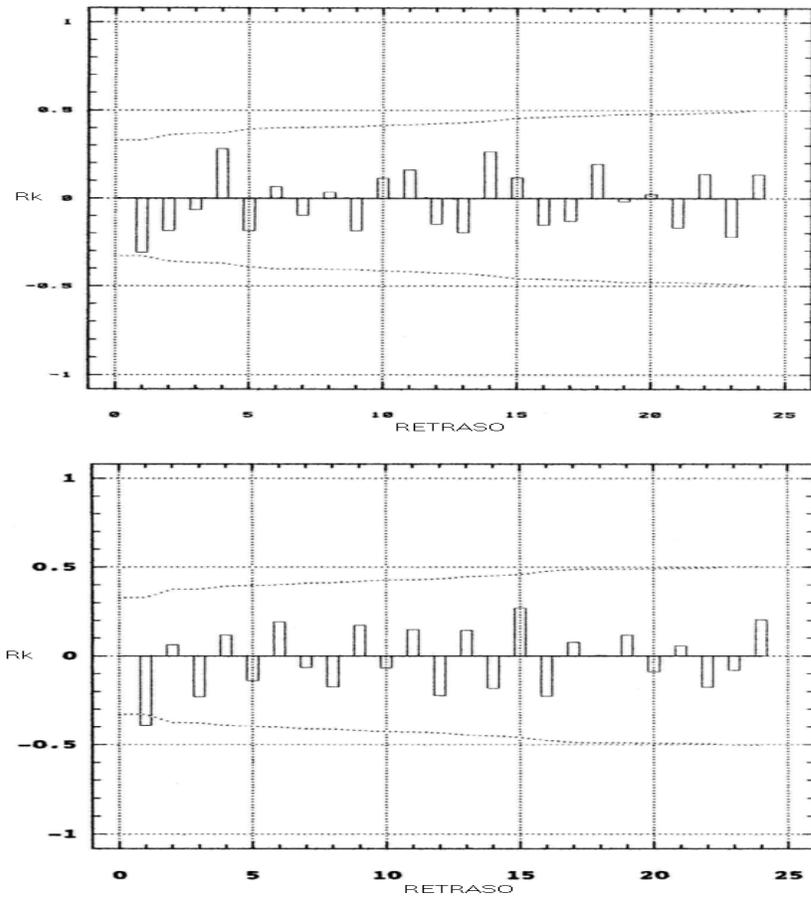


Figura C. Correlograma para el nivel medio del mar. Periodo 1952-89.

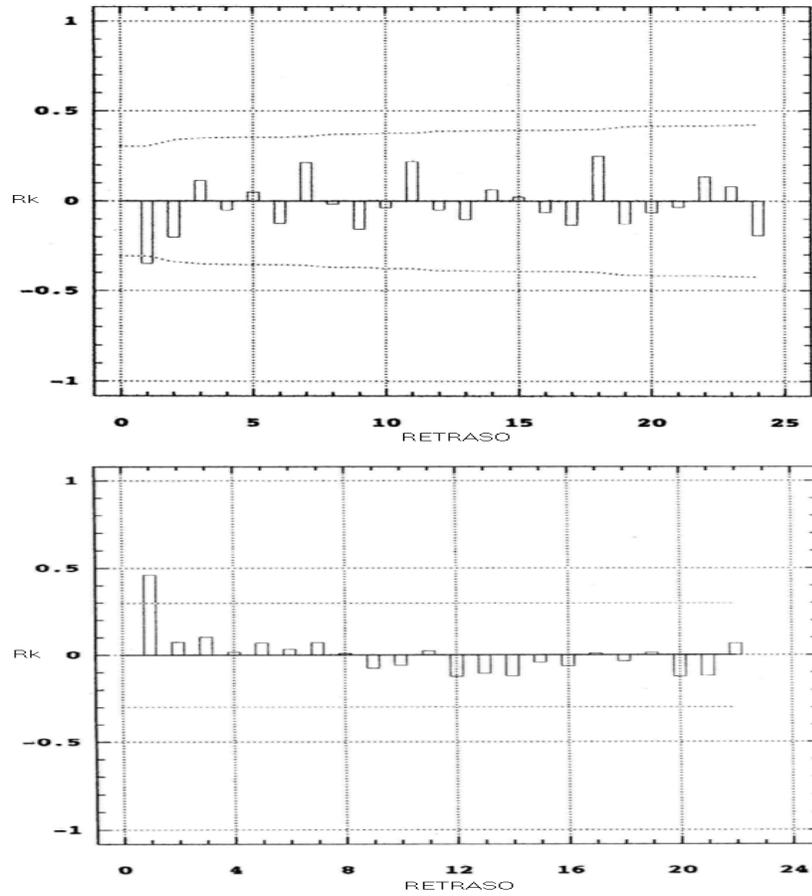


Figura D. Correlograma para la temperatura superficial del mar. Periodo 1952-95.

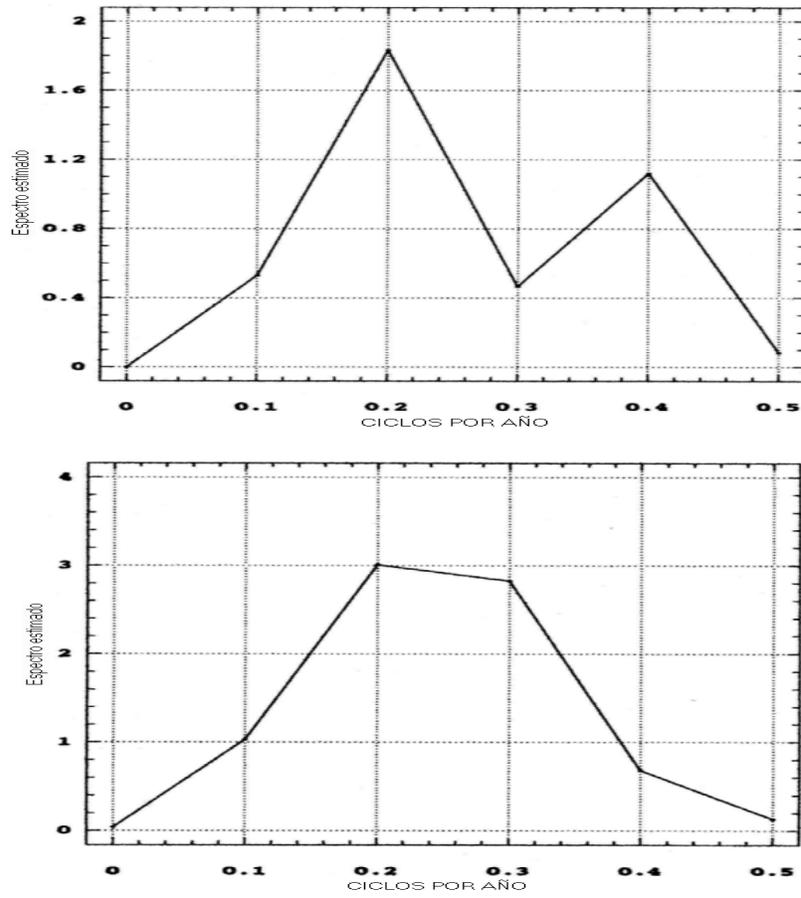


Figura E. Periodograma para la salinidad. Periodo 1978-89.

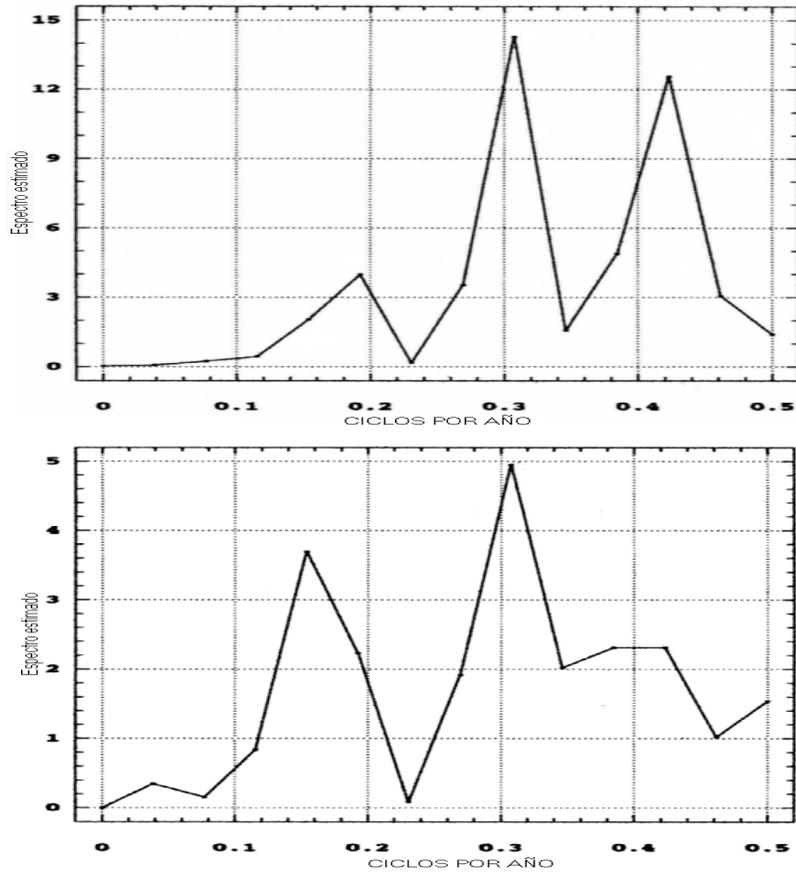


Figura F. Periodograma para la salinidad. Periodo 1952-77.

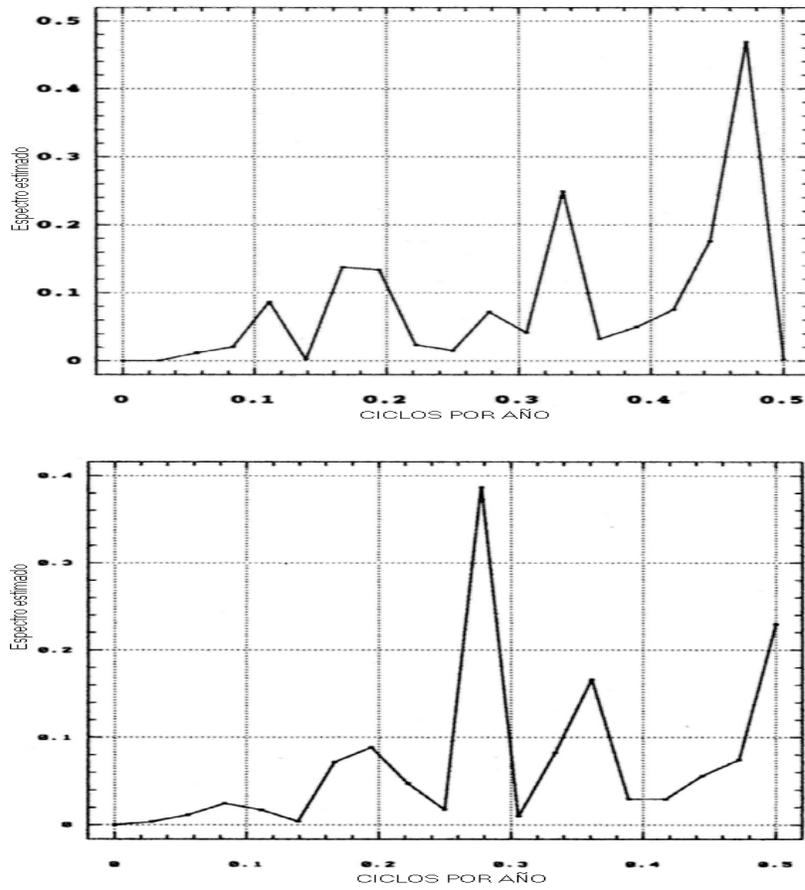
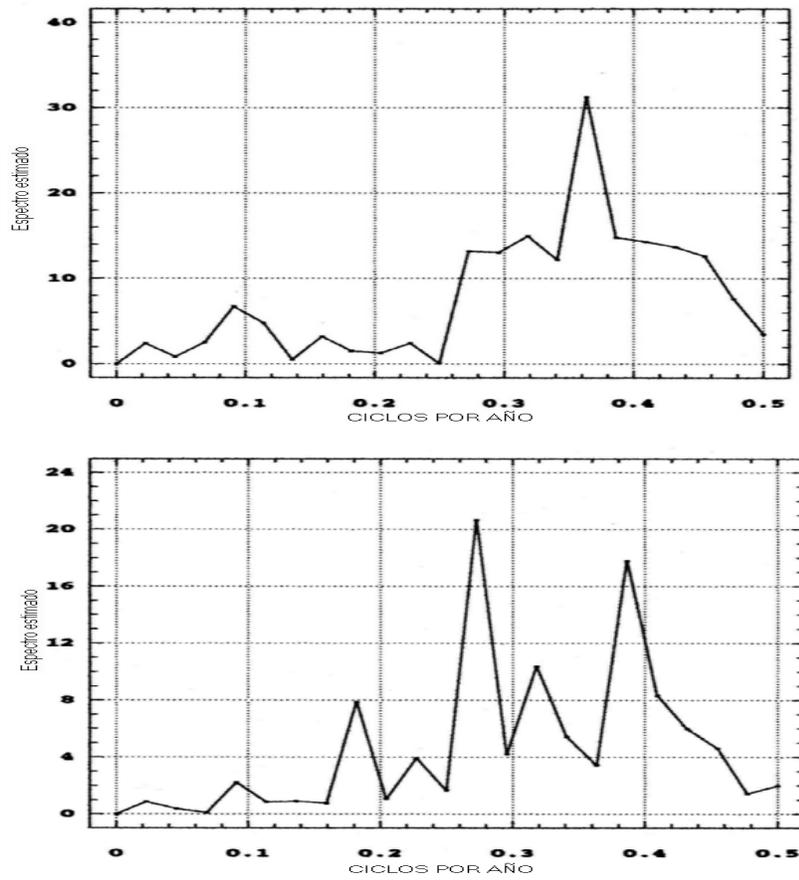


Figura G. Periodograma para el nivel medio del mar. Periodo 1952-89.



**Figura H.** Periodograma para la temperatura superficial del mar. Periodo 1952-95.

# 17

## **SOBRE LA IMPORTANCIA DE CONSIDERAR LA EXISTENCIA DE CENTROS DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA PARA LA REGIONALIZACIÓN DEL OCÉANO: EL CASO DEL GOLFO DE CALIFORNIA**

*Salvador E. Lluch-Cota & Juan Pedro Arias-Aréchiga*

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

### **RESUMEN**

La evaluación de la actividad fotosintética en el océano y su variabilidad en el tiempo es tema prioritario en la investigación de cambio climático. Sin embargo, representa una tarea difícil debido a la falta de mediciones en campo. La capacidad de registrar sinópticamente el color del mar desde sensores remotos representa una alternativa prometedora, pero es necesario realizar caracterizaciones de la distribución vertical de biomasa fitoplanctónica y de parámetros de fotosíntesis, para subsanar las limitaciones de los satélites para registrar propiedades por debajo de la primera profundidad óptica. En el presente trabajo se cuestiona la propuesta de utilizar provincias biogeoquímicas de amplia cobertura espacial, utilizando el análisis de la distribución anual promedio de concentración pigmentaria en el Golfo de California como caso de estudio. Se proponen cuatro regiones dentro del golfo, las zonas norte, centro, sur y, adicionalmente, el área de las grandes islas, debido a que mantiene niveles altos de producción biológica todo el año. A partir de este ejercicio se sugiere que, como una primera aproximación para las estimaciones de producción primaria en el océano global, es conveniente considerar regionalizaciones de escala espacial amplia, como las provincias biogeoquímicas o los grandes ecosistemas marinos, y tratar de manera independiente los Centros de Actividad Biológica debido a la alta proporción de producción que aportan.

**Palabras clave:** Producción primaria, Regionalización, Golfo de California.

## ABSTRACT

The appraisal of the photosynthetic activity in the ocean, and its variability in time is a priority issue in the Climatic Change research. However, it represents a difficult task due to the lack of field measurements. The capability of registering synoptically the sea color from remote sensors represents a promising alternative. But it is necessary to characterize the vertical distribution of phytoplankton biomass and of photosynthetic parameters to correct for the limitations of satellites to register properties beneath the first optical depth. Using the analysis of the mean annual distribution of pigment concentration as study case, in the present work the proposal to use biogeochemical regions of ample spatial coverage is questioned. Four regions are proposed within the gulf, northern, central, southern, and additionally the area of the great islands because it maintains high biological production levels all year round. From this exercise it is suggested that, as a first approximation for the primary production estimation in the global ocean, it is convenient to consider regions of ample spatial scale, as the biogeochemical provinces or the large marine ecosystems, and to treat independently the Biological Activity Centers due to the high proportion of production they give.

**Key words:** Primary production, Regions, Gulf of California.

## Enfoque

El océano desempeña un papel importante como regulador del clima global. Además de su gran capacidad para almacenar y distribuir calor, representa un gran captador de dióxido de carbono gracias a la actividad fotosintética de los productores primarios. En este sentido, la medición cuantitativa de la producción primaria global del océano, la estimación real de su potencial para almacenar CO<sub>2</sub> y la posibilidad de monitorear los cambios de este potencial en el tiempo resulta de gran relevancia.

Históricamente, la limitante más fuerte para las estimaciones de productividad global ha sido la disponibilidad de información, generada *in situ*, respecto de las características biológicas (producción primaria, distribución vertical de la producción, composición y estado de las poblaciones fitoplanctónicas, etc.). El desarrollo de tecnología de percepción remota ha estimulado en la comunidad científica la posibilidad de realizar estimaciones de producción primaria a partir de la observación sinóptica de la superficie del océano. Un caso particularmente importante es el éxito de la misión del CZCS-Nimbus 7, que generó registros de radiación a diferentes longitudes de onda del espectro visible, de donde se derivaron estimaciones de biomasa fitoplanctónica para el periodo noviembre 1978 a junio de 1986 (Tran *et al.*, 1993).

Este tipo de herramientas permite abarcar grandes áreas a intervalos de tiempo relativamente cortos y con una alta resolución espacial. Sin embargo, las capacidades de los sensores remotos (basados en radiancia del espectro visible e infrarrojo) se ven limitadas por debajo de la superficie del océano. En el caso

particular del color, la información registrada por el sensor incluye únicamente la primera profundidad óptica, que puede consistir desde decenas de metros en aguas oligotróficas hasta unos cuantos centímetros en aguas con alto contenido de materia en suspensión. Más aún, la información de dicha capa que recoge el sensor no permite reconocer la distribución de las partículas respecto a la profundidad, lo que representa un problema para las determinaciones de producción primaria.

Al atacar este problema, se han desarrollado esfuerzos para relacionar la información que recoge el satélite con los perfiles tipo de distribución de biomasa fitoplanctónica, parámetros de fotosíntesis y otras propiedades relevantes (Platt & Herman, 1983; Kiefer & Atkinson, 1995; Álvarez-Borrego, 1995). De nuevo, la mayor limitante es la disponibilidad de datos para construir dichos perfiles tipo.

Platt & Sathyendranath (1988) sugirieron realizar las estimaciones globales de producción primaria a partir de cálculos en provincias biogeoquímicas, en lugar de utilizar un continuo ecológico. Esta idea fue retomada por Longhurst *et al.* (1995) quienes estimaron parámetros tipo de distribución vertical de clorofila para 57 provincias biogeoquímicas durante las cuatro estaciones del año, sobre la base de 21,872 perfiles medidos in situ, bajo el supuesto de que en las provincias existe una cierta homogeneidad de características de estructura vertical, sistemas de forzamiento y control de la producción biológica. De los 228 posibles casos (57 provincias por cuatro estaciones), únicamente 163 casos contaron con más de 25 perfiles y en 22 casos no se contó con ninguno.

Las 57 provincias biogeoquímicas se encuentran agrupadas en cuatro dominios: costero (22 provincias), polar (6), alisios (16) y grandes giros (12). De ellos, el costero es reconocido por los autores como el más problemático en cuanto a la definición de fronteras entre provincias, e incluso su número, debido a que existen más fuentes y escalas de control de la producción biológica (descargas de ríos, surgencias, sumergencias, batimetría, frentes de marea, mezcla vertical, etc.).

Claramente, para aumentar nuestra capacidad de estimación de producción primaria global de los océanos, debemos ampliar el número de observaciones en campo y aumentar la resolución de las provincias (Longhurst *et al.*, 1995). Las nuevas propuestas de regionalización, basadas en criterios ecológicos, deben permitir reconocer zonas prioritarias para investigación y muestreo. Un primer paso es reconocer que la definición de regiones es especialmente crítica en el caso de áreas con elevada producción biológica, debido a la proporción global que representan del total.

## **El Golfo de California**

En la propuesta de Longhurst *et al.* (1995), el Golfo de California se encuentra incluido en la provincia Costa de América Central (CAMR) que abarca desde Cabo San Lucas hasta el Golfo de Guayaquil, en Ecuador. Sin embargo, es claro

que esta delimitación es resultado de conveniencia operativa más que de la aplicación de criterios ecológicos.

El Golfo de California es un mar epicontinental casi totalmente rodeado por elevaciones topográficas y conectado al océano abierto únicamente en su extremo sur. Este aislamiento, junto con el hecho de representar una zona de transición templado-tropical, resulta en un juego de características atmosféricas, oceanográficas y ecológicas únicas. El enfoque de Grandes Ecosistemas Marinos (GEM; Large Marine Ecosystems, LME), adoptado por diversas agencias de las Naciones Unidas y otras organizaciones internacionales, reconoce al Golfo de California como entidad independiente, implicando que tiene características particulares de batimetría, hidrografía, productividad y estructura trófica (Sherman & Tang, 1999).

Una revisión de las características ecológicas del golfo nos debe llevar a reconocer que no es suficiente considerar al golfo como una provincia separada del Pacífico Costero Centroamericano, y que es imprescindible reconocer que dentro del golfo existen varios tipos de sistemas de producción biológica con comportamientos distintos y una fuerte variabilidad de niveles de producción en el espacio y tiempo.

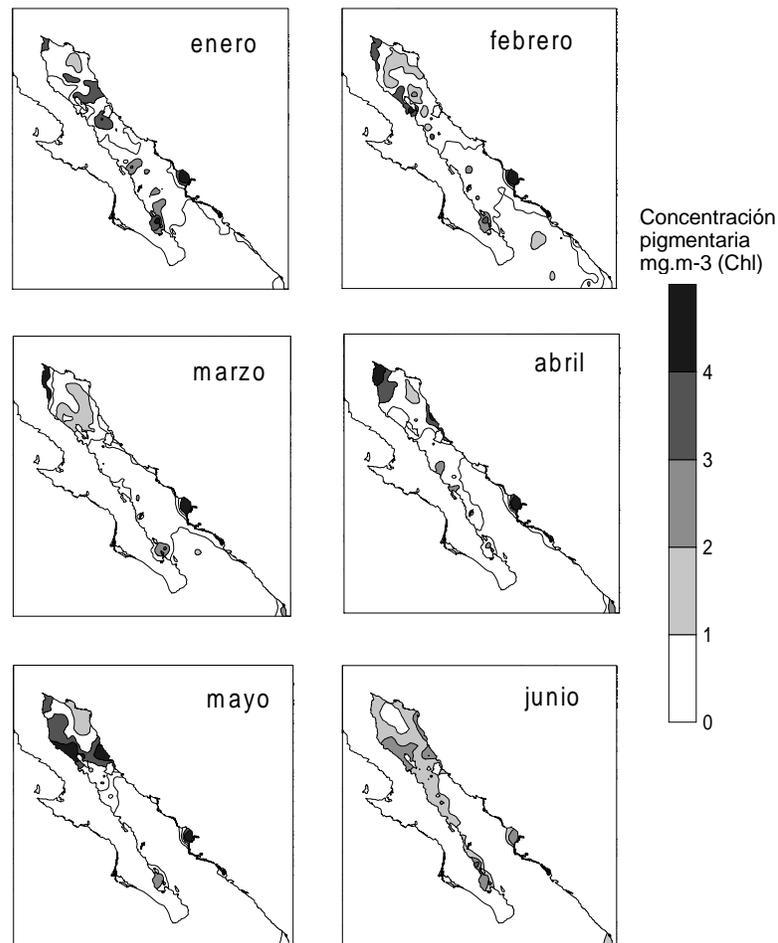
Existen varias propuestas para subdividir el golfo en regiones, basadas en distintos criterios y que resultan en diferentes grados de resolución. Por ejemplo, Sverdrup (1941) consideró que el golfo está dividido hidrográficamente en dos partes, delimitadas por las islas Tiburón y Ángel de la Guarda. Esta división concuerda con otras propuestas a partir de la composición y distribución de organismos planctónicos (crustáceos eufáusidos; Brinton & Townsend, 1980 y anfípodos; Siegel-Causey, 1982). Otras propuestas consideran dividirlo en tres (Brinton *et al.*, 1986, a partir de un análisis de abundancia de diatomeas) y cuatro regiones (Gilbert & Allen 1943, a partir de información de especies dominantes del fitoplancton; y Round, 1967, sobre la base de depositación de diatomeas en los sedimentos superficiales).

A partir de información satelital de concentración pigmentaria, Santamaría-del-Ángel *et al.* (1994) definieron 14 provincias fitogeográficas, sobre la base de un análisis de conglomerados en series de tiempo en una red de "foteles" dentro del golfo, y las relaciones entre éstas y la documentación de procesos oceanográficos relevantes. Esta propuesta presenta la ventaja de la alta resolución espacial. Sin embargo, como resultado de la escasa información en campo, su utilidad operativa para el cálculo de perfiles tipo por región en el corto plazo es muy limitada.

Arias-Aréchiga (1998) propuso una regionalización basada en un análisis de conglomerados de los ciclos estacionales de concentración pigmentaria de todos los foteles del golfo, y apoyó sus resultados en la caracterización ambiental de cada una de las regiones propuestas. En dicho trabajo, se reconocen tres regiones con distintos niveles de productividad primaria, que dependen de distintos factores de forzamiento; la región norte principalmente influida por las mareas, la región centro por forzamiento atmosférico (vientos) y una región sur influenciada principalmente por el Océano Pacífico.

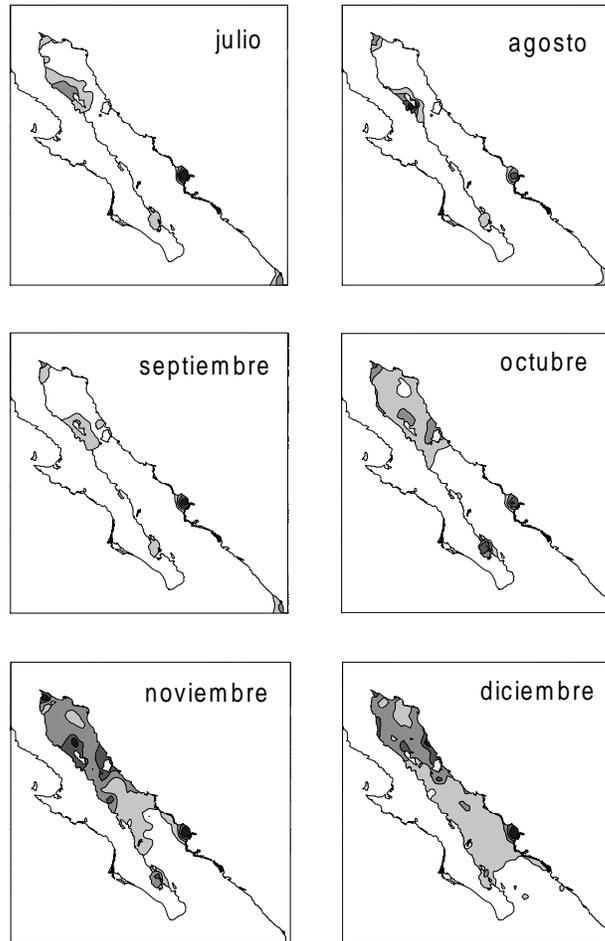
### Distribución anual de concentración pigmentaria en el Golfo de California

En el presente trabajo reportamos los resultados del procesamiento de composiciones mensuales de concentración pigmentaria derivada de satélite, para el periodo noviembre de 1978 a junio de 1986 (Trann *et al.*, 1993). A partir de estas composiciones, se calculó el comportamiento anual tipo para cada uno de los 649 foteles válidos dentro del Golfo de California (hasta los 22°N), mediante el promedio de cada uno de los meses del año y para todo el periodo (p.e. promedio de los enero desde 1979 hasta 1986). Los gráficos de isóneas de concentración pigmentaria, correspondientes a los doce meses del año, permiten observar el desarrollo anual de los principales eventos de mesoescala que intervienen en la producción biológica del Golfo de California (Fig. 1).



**Figura 1.** Comportamiento anual de la concentración de pigmentos fotosintéticos en el Golfo de California según datos del scanner de color de la zona costera (CZCS).

Continuación de la Figura 1.



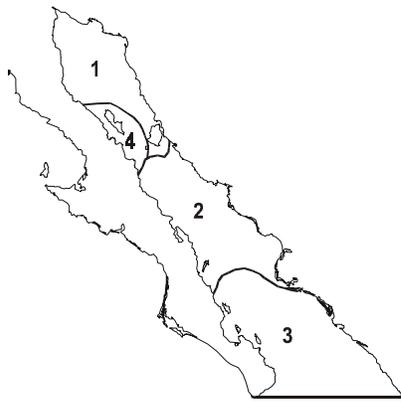
**Figura 1.** Continuación.

Las principales características que resaltan en la Figura 1 son: a) que en la región aledaña al Canal de Ballenas se presentan consistentemente los valores más altos de concentración pigmentaria de todo el golfo; b) que se presenta un proceso de enriquecimiento de la parte central del golfo que inicia en octubre y avanza cubriendo el golfo a todo lo ancho, alcanzando su máxima influencia hacia el sur durante enero y a partir de ahí disminuye gradualmente, de sur a norte, hasta valores mínimos durante verano; y c) que la parte de la boca del golfo mantiene niveles bajos de concentración pigmentaria todo el año, aunque es posible reconocer la presencia de aguas aún más pobres durante el verano.

### Observaciones y propuesta

La provincia Costa de América Central (CAMR) considerada por Longhurst *et al.* (1995) contribuye, según los autores, con cerca del 0.84% de la productividad primaria global; lo que equivale a niveles de producción primaria de  $0.92 \text{ g C m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  (menos que el  $1.1 \text{ g C m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  promedio para el dominio costero). A pesar de que la falta de datos no ha permitido estimar valores de producción primaria para el golfo completo, y ni siquiera valores tipo por región del golfo, algunas estimaciones puntuales de productividad primaria integrada señalan que en la región de la boca se presentan valores alrededor de  $0.95 \text{ g C m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  (Álvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991), comparables a lo estimado para la provincia CAMR. Sin embargo, en la zona de las grandes islas se han reportado valores mayores a  $4 \text{ g C m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  (Álvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991), es decir, de hasta más de cuatro veces la producción tipo de la provincia.

Arias-Aréchiga (1998) concluye que es conveniente considerar tres regiones en la mesoescala dentro del Golfo de California, debido a las fuertes diferencias que existen respecto a los niveles de concentración pigmentaria y sistemas de forzamiento físico que operan. Considerando en conjunto dichos resultados y las observaciones hechas en el presente trabajo, proponemos como una alternativa considerar cuatro regiones para la estimación de perfiles tipo de biomasa fitoplanctónica y parámetros fotosintéticos (Fig. 2); las tres de mesoescala propuestas por Arias-Aréchiga (1998) y, adicionalmente, la parte del Canal de Ballenas que se diferencia del resto del golfo por sus mayores niveles de concentración pigmentaria, la permanencia de dichos niveles a lo largo del año y las características particulares de configuración batimétrica y oceanográfica (Badán-Dangon *et al.*, 1985).



**Figura 2.** Regionalización propuesta en este trabajo para la estimación de parámetros de fotosíntesis y perfiles tipo de clorofila, basada en la propuesta de Arias-Aréchiga (1998) y el reconocimiento de una zona adicional con altos niveles de concentración durante todo el año.

Parece factible que este tipo de situaciones se presenten igualmente en otras áreas del océano, especialmente en aquellas donde existan focos de producción biológica (i.e. BAC). También es bastante claro que existen problemas en el reconocimiento de regiones dentro de las grandes áreas, en diferentes sistemas alrededor del océano mundial, especialmente en el dominio costero. Es inocente presumir que se realizarán estudios y muestreos *in situ* con la cobertura y resolución necesarias en los próximos años, por lo que es imperante adoptar estrategias de investigación, proponer enfoques alternativos y reconocer aquellas zonas prioritarias en las que el conocimiento y la generación de datos permitan avanzar en la capacidad de estimación de manera más significativa.

Una primera aproximación sería considerar las grandes regiones ya existentes (como aquellas de los LME o las provincias biogeoquímicas utilizadas por Longhurst *et al.*, 1995) para la estimación de parámetros y perfiles tipo en áreas homogéneas y de bajos niveles relativos de producción biológica; e independientemente, las pequeñas regiones del océano donde los niveles de producción biológica son mayores que en el resto del sistema donde se encuentran (Centros de Actividad Biológica) y donde se puede aumentar la resolución del estudio, sea por la recopilación de información histórica o por la medición directa en campañas oceanográficas de poca cobertura espacial y, comparativamente, bajo costo.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por los Proyectos SIMAC-970106044, CONACyT R-29374B y CIBNOR AYCG-7.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-Borrego, S. & R. Lara-Lara. 1991. Physical environment and primary productivity of the Gulf of California, 47:555-567. En: The gulf and peninsular provinces of the Californias. Mem. Am. Assoc. Petrol. Geol.
- Álvarez-Borrego, S. 1995. Satellite derived photosynthetic pigment surveys: A review of marine phytoplankton biomass and productivity. Geofísica Internacional. 35(1):51-61.
- Arias-Aréchiga, J.P. 1998. Regionalización del Golfo de California: una propuesta a partir de concentración de pigmentos fotosintéticos. Tesis de Licenciatura. Departamento de Biología Marina. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 57 p.
- Badan-Dangon, A., D. Koblinsky & T. Baumgartner. 1985. Spring and summer in the Gulf of California: observations of surface thermal patterns. Oceanol. Acta, 8(1):13-22.
- Brinton, E. & A.W. Townsend. 1980. Euphausiid in the Gulf of California, the 1957 cruises. CalCOFI Rep., (21):211-236.

- Brinton, E., A. Fleminger & D. Siegel-Causey. 1986. The temperate and tropical plankton biotas of the Gulf of California. CalCOFI Rep., (28):228-266.
- Gilbert, J.Y. & W.E. Allen. 1943. The phytoplankton of the Gulf of California obtained by the "E.W. Scripps" in 1939 and 1940. J. Mar. Res., 5(2):89-110.
- Kiefer, D.A. & C.A. Atkinson. 1995. Mapping of oceanic bioluminescence and optical properties from satellite imagery: A final report to the Applied Physics Laboratory. John Hopkins Univ. Press. and Office of naval Research. 68 p.
- Longhurst, A., S. Sathyendranath, T. Platt & C. Caverhill. 1995. An estimate of global primary production in the ocean from satellite radiometer data. J. Plankton Res., 17(6):1245-1271.
- Platt, T. & A.E. Herman. 1983. Remote sensing of phytoplankton in the sea: surface layer chlorophyll as an estimate of water column chlorophyll and primary production. Int. J. Remote Sensing, 4(2):343-351.
- Platt, T. & S. Sathyendranath. 1988. Oceanic primary production: estimation by remote sensing at local and regional scales. Science, (241):1613-1620.
- Round, F.E. 1967. The phytoplankton of the Central Gulf of California, its composition, distribution and contribution to the sediments. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., (1):76-97.
- Santamaría-del-Ángel, E., S. Álvarez-Borrego & F.E. Muller-Karger. 1994. Gulf of California Biogeographic regions based on Coastal Zone Color Scanner imagery. J. Geophys. Res., (99):7,411-7,421.
- Sherman, K. & Q. Tang. 1999. Large Marine Ecosystems of the Pacific Rim: Assessment, Sustainability, and Management. Blackwell Science Co. Massachusetts, USA. 465 p.
- Siegel-Causey, D. 1982. Factors determining the distribution of hyperiid Amphipoda in the Gulf of California. Tesis de Doctorado. University of Arizona. 550 p.
- Sverdrup, H.U. 1941. The Gulf of California: Preliminary discussion of the cruise of the "E.W. Scripps" in February and March, 1939. Proc. 6th Pacific Science Congr., (3):161-166.
- Tran, A.V., E. Smith, J. Hyon, R. Evans, O. Brown & G. Feldman. 1993. Satellite-derived multichannel sea surface temperature and phytoplankton pigment concentration data: a CD-ROM set containing monthly mean distributions of the global oceans. Jet Propulsion Laboratory-Distributed Active Archive Center. 32 p.

# 18

## VARIACIONES DE LOS VOLÚMENES ZOOPLANCTÓNICOS EN EL CENTRO DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL GOLFO DE CALIFORNIA

*Alfonso Esquivel-Herrera<sup>1</sup>, Gabriela Ma. Esqueda-Escárcega<sup>2</sup> & Sergio  
Hernández-Trujillo<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> UAM-Xochimilco. Depto. El Hombre y Su Ambiente. Czda. del Hueso 1100, Col. Villa Quietud. México 04960, D.F. E-mail: aesquiv@cueyatl.uam.mx <sup>2</sup> CICIMAR. Depto. de Plancton. Av. IPN s/n, Col. Palo de Sta. Rita. La Paz 23096, B.C.S.

### RESUMEN

Se describe el patrón de variación de los volúmenes zooplanctónicos en el Centro de Actividad Biológica del Golfo de California, obtenido a partir de cinco campañas oceanográficas realizadas entre 1984 y 1986. El aspecto más general sobre la distribución de biovolúmenes zooplanctónicos a lo largo del período de estudio fue la predominancia de valores entre  $100 \text{ cm}^3 1000 \text{ m}^{-3}$  y  $500 \text{ cm}^3 1000 \text{ m}^{-3}$ , los que a su vez estuvieron asociados con un intervalo muy amplio de la temperatura superficial del mar ( $19^\circ\text{C}$  a  $32^\circ\text{C}$ ). Se discute la relación entre los valores observados y las características fisiográficas y patrones de circulación en la región central del Golfo de California, así como de la composición específica del zooplancton dominante en las áreas de mayor densidad zooplanctónica. Coincidiendo con otros autores, se observa que las variaciones en los patrones de distribución de los volúmenes zooplanctónicos varían más de una temporada del año a otra que de un año a otro.

**Palabras clave:** El Niño, Golfo de California, Volúmenes zooplanctónicos.

### ABSTRACT

This report deals with the zooplanktic volume distribution in the biological activity centre at the Gulf of California, obtained through five oceanographic surveys that comprise from 1984 to 1986. The most general feature of the zooplanktic biovolumes distribution throughout this sampling period was that values in the range from  $100 \text{ cm}^3 1000 \text{ m}^{-3}$  and  $500 \text{ cm}^3 1000 \text{ m}^{-3}$  prevail over most of the Gulf, and that these values were related to a wide range of surface

sea water temperatures (19°C to 32°C). The relationship of the observed biovolumes to the physiographic features of the Gulf, water circulation patterns in its central region and the zooplankton species composition are discussed. Zooplanktonic volume distribution changes more from one season to other than in a yearly sense, agreeing with the reports by other authors.

**Key words:** El Niño, Gulf of California, Zooplankton volumes.

## INTRODUCCIÓN

La energía solar fijada por los productores primarios en la fotosíntesis es puesta a disposición de los consumidores de mayor orden a través del zooplancton. Por lo tanto, las existencias del zooplancton (standing stocks) son un índice de la capacidad de una zona para sustentar a las poblaciones de consumidores (Wickstead, 1965).

En general, las concentraciones de zooplancton no permanecen estáticas a través del tiempo, sino presentan fluctuaciones en respuesta a cambios en el ambiente, especialmente de aquéllos que modifican las concentraciones del fitoplancton. Sin embargo, debido al mayor período entre generaciones en los organismos del zooplancton, estas fluctuaciones no se dan en fase, sino con cierto retraso, por lo que las mayores abundancias del fitoplancton no coinciden con las del zooplancton. Asimismo, los patrones de distribución son mayormente afectados por los fenómenos de dispersión y transporte, en razón de su mayor longevidad.

El efecto conjunto de todos estos factores sobre las densidades del zooplancton es de primordial importancia desde el punto de vista biológico-pesquero. Así, Lasker (1981) resalta las consecuencias de la falta de coincidencia entre los primeros estadios larvales de los clupeiformes y las concentraciones adecuadas de su alimento para su supervivencia larval y el reclutamiento.

Por lo tanto, la identificación de los patrones temporales y espaciales de variación de la biomasa zooplanctónica es necesaria para los modelos predictivos sobre los tamaños poblacionales de estos peces. En el Golfo de California, la distribución de los valores de biomasa zooplanctónica presenta variaciones importantes en respuesta a los cambios en las condiciones físicas y químicas del ambiente, a los cuales responden las poblaciones de pelágicos menores (Hammann *et al.*, 1988).

Entre los factores más importantes que determinan esta variación, están la fisiografía particular y la localización geográfica del Golfo de California. Como lo señalan varios autores (Roden & Emilsson, 1980; Álvarez-Borrego, 1983), las cadenas montañosas elevadas de la Península de Baja California aíslan al golfo de los efectos amortiguadores del Pacífico sobre el clima. La cabecera del golfo es una región somera que se comunica con las cuencas profundas de la parte sur sólo a través del Canal de Ballenas y del Canal de Salsipuedes; los aportes de agua dulce son casi nulos y la elevada evaporación durante el verano y notable enfriamiento durante el invierno, originan un tipo de agua particular

que desencadena una circulación termohalina (Roden & Emilsson, 1980; Álvarez-Borrego, 1983; Baumgartner *et al.*, 1988).

La amplitud de las mareas aumenta desde la parte de la entrada hacia la cabecera, de manera que, en el delta del Río Colorado, se tienen intervalos de hasta diez metros en las mareas vivas. El desplazamiento de este gran volumen de agua, en uno u otro sentido, se realiza a través del Canal de Ballenas. En consecuencia, esto origina la mezcla vertical de la columna de agua, debido a la turbulencia, que puede identificarse por la continua presencia de aguas frías en superficie (Badán-Dangon *et al.*, 1985). Aunque Álvarez-Borrego *et al.* (1985) determinan que la componente M<sub>2</sub> de la marea semidiurna es responsable de gran parte de esta turbulencia, Roden & Emilsson (1980) y Álvarez-Borrego (1983) señalan la importancia del efecto de encañonamiento del viento en esta zona como generador de turbulencia.

Con respecto a los efectos del viento, Badán-Dangon *et al.* (1985) emplean imágenes en infrarrojo obtenidas por satélites artificiales y datos sobre intensidad y dirección del viento, encontrando que las surgencias costeras en la primavera, cuando el viento sopla desde el noroeste, se presentan en la costa oriental del Golfo de California y que los eventos de surgencia se desplazan a la costa occidental del golfo cuando se invierte el patrón de vientos en el verano.

Es también relevante para la distribución de las densidades del zooplancton la presencia de una convergencia detectada por Sverdrup desde 1941 y que se asocia con la acumulación de plancton en una línea que va desde Isla del Carmen hasta Guaymas (Roden & Emilsson, 1980; Brinton *et al.*, 1986).

El patrón de circulación de la parte sur es complejo, puesto que depende del grado de influencia de la Corriente de California, la Corriente Mexicana -una rama de la Corriente Norecuatorial- y del agua que sale del golfo (Emilsson & Alatorre, 1980). Al menos durante el invierno, el flujo de entrada es por la costa oriental del *golfo*, mientras que el de salida es por la costa occidental. La entrada de agua es a través de una banda amplia, pero la salida parece ocurrir como un chorro estrecho (30 Km), cercano a la costa peninsular (Roden & Emilsson, 1980; Emilsson & Alatorre, 1980).

Como resultado de esto, el agua de la Corriente de California no penetra directamente al Golfo de California, por formarse un frente en la región de Cabo San Lucas. Así, el agua de la Corriente de California penetra al golfo después de mezclarse con la de las otras masas de agua presentes en la entrada de éste.

En razón de todo lo anterior, los patrones de distribución de los volúmenes del zooplancton en el Golfo de California sufren variaciones complejas en las diferentes estaciones del año. En un trabajo que incluye a uno de los cruceros analizados en la presente investigación (marzo-abril de 1984) Lavaniegos-Espejo & Lara-Lara (1990) concluyen que las variaciones en la biomasa zooplanctónica de una temporada a otra son más importantes que las variaciones interanuales. Un aspecto importante es que los trabajos oceanográficos coinciden en la continua existencia de condiciones que favorecen valores elevados de producción, algunos de los cuales son independientes de los patrones de circulación del viento.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es presentar los patrones de distribución de los volúmenes del zooplancton en el Golfo de California durante un período sumamente importante, por coincidir con la relajación de los efectos del evento El Niño de 1982-1983, considerado como el más intenso del siglo.

## MATERIAL Y MÉTODO

Los resultados presentados fueron obtenidos a partir de cinco cruceros oceanográficos en el Golfo de California: en marzo-abril, julio-agosto y noviembre-diciembre de 1984 y junio de 1986.

Las colectas de zooplancton se realizaron mediante arrastres oblicuos de una red tipo Bongo, con 0.6 m de diámetro en la boca, provista con mangas de 505  $\mu$  y 333  $\mu$  de luz de malla y flujómetros, de acuerdo con la metodología de Smith & Richardson (1979). Las muestras se fijaron con formalina al 4%, neutralizada con solución saturada de borato de sodio.

Para este trabajo únicamente se consideran los resultados correspondientes a la manga de 505  $\mu$ . En el laboratorio, la biomasa zooplanctónica fue determinada por el método de volumen desplazado, por constituir un método no destructivo de análisis, ya que estas mismas muestras han sido examinadas cuantitativamente para ictioplancton, copépodos, quetognatos y sifonóforos. La información se presenta en  $\text{cm}^3 1000 \text{ m}^{-3}$  (Smith & Richardson, 1979).

## RESULTADOS

El aspecto general más notable sobre la distribución de la biomasa zooplanctónica en los cinco muestreos analizados, es la predominancia de valores en el intervalo de  $100 \text{ cm}^3 1000 \text{ m}^{-3}$  a  $500 \text{ cm}^3 1000 \text{ m}^{-3}$  en la mayor parte del Golfo de California. En general, la composición zooplanctónica en las estaciones con mayor biomasa está dada por los copépodos *Calanus pacificus* y *Rhincalanus nasutus*, por los eufáusidos *Nyctiphanes simplex* y *Nematoscelis difficilis*, los quetognatos *Sagitta enflata* y *Sagitta minima* y el taliáceo *Thalia democratica*, en coincidencia con los resultados reportados por los cruceros CalCOFI de 1956 y 1957.

En las muestras que aquí se reportan también son abundantes el taliáceo *Doliolum gegenbauri* y los larváceos *Oikopleura dioica*, *Stegosoma magnum* y *Megalocercus huxleyi*. Las mayores abundancias del sifonóforo *Muggiaea atlantica* coinciden con las áreas de mayor densidad zooplanctónica.

A continuación se presentan las distribuciones de biomasa zooplanctónica para cada uno de los cruceros analizados, así como las distribuciones de temperatura superficial y la discusión sobre las posibles causas del patrón observado.

### Marzo-abril de 1984

La temperatura superficial del mar va de los 16°C a los 23°C. Las temperaturas más bajas se localizan en el Canal de Ballenas y Canal de Salsipuedes, entre Isla Ángel de la Guarda y la costa peninsular. Por otra parte, las temperaturas más

altas se encuentran en la parte central de la boca del golfo. En general, las temperaturas de 20°C o mayores se encuentran al sur de Guaymas (Fig. 1a).

Las mayores biomásas se encuentran en la costa oriental del golfo y las menores en su margen occidental, particularmente en el área que va desde la boca de Bahía Concepción hasta el sur de Isla Tiburón, avanzando por la parte central del golfo (Fig. 2a). Los máximos volúmenes de zooplancton se encuentran entre Laguna de Yavaros y Laguna de Agiabampo y cerca de Isla Santa Catalina. Otros valores importantes, del orden de  $501 \text{ cm}^3 1000 \text{ m}^{-3}$  a  $1000 \text{ cm}^3 1000 \text{ m}^{-3}$ , están en el área de Punta Peñasco, al norte del golfo, adentrándose a la parte central; al norte de Guaymas; en Yavaros y en una franja que se extiende desde Bahía de La Paz hasta Topolobampo.

Esta última corresponde con una franja similar a la reportada por Griffiths (1965) para la boca del golfo, pero que en este crucero aparece desplazada hacia el norte, aun cuando Rosas-Cota (1977) señala que el flujo neto del agua de los 0 m a 200 m de profundidad, durante el invierno y primavera, es hacia afuera del golfo.

En general, los puntos con mayor biomasa parecen estar asociados con temperaturas de entre 19.5°C y los 22°C.

#### *Julio-agosto de 1984*

Las temperaturas del agua superficial van desde los 27°C hasta los 32°C. Las temperaturas más bajas se encuentran al sur de Isla Ángel de la Guarda y las más altas en la costa oriental del golfo, al norte de Guaymas y de Topolobampo (Fig. 1b).

Las biomásas zooplanctónicas más bajas se encuentran en la costa oriental, coincidiendo con la inversión del patrón de vientos durante el verano, señalada por Badán-Dangon *et al.* (1985). Se localizan en el área de Puerto Peñasco; entre Guaymas y Yavaros; en una franja que va desde Isla Cerralvo hasta el área situada entre Topolobampo e Isla Altamura y con valores muy bajos cerca del Estero de Quevedo (Fig. 2b).

Notablemente, estas mismas localidades se caracterizan por sus biomásas mayores a las del promedio, durante el crucero de marzo-abril de 1984. En la costa occidental del golfo también se detectan bajos volúmenes de zooplancton en una franja que va de Punta San Felipe al norte de Isla Ángel de la Guarda, en la que las temperaturas son mayores de 29°C (Fig. 1b).

Las biomásas máximas, del orden de  $501 \text{ cm}^3 1000 \text{ m}^{-3}$  a  $1000 \text{ cm}^3 1000 \text{ m}^{-3}$ , se encuentran en una franja que va de Bahía de La Paz a la parte central del golfo, siguiendo la isoterma de los 29°C y, aparentemente, se asocian con las surgencias de verano en la costa occidental del golfo (Badán-Dangon *et al.*, 1985).

#### *Noviembre-diciembre de 1984*

La temperatura superficial del agua va desde los 16°C, al sur de Isla Tiburón, hasta los 24°C al sureste del área muestreada, en la zona próxima a Topolobampo (Fig. 1c).

Las biomásas más bajas se encuentran al norte de Isla del Carmen. Otros

valores menores que el promedio se presentan en una franja estrecha que va del sur del Canal de Salsipuedes a Bahía San Francisquito y de ahí se prolonga hacia la parte central del golfo hasta Isla Tortuga y el norte de Guaymas (Fig. 2c).

Por su parte, las biomásas más altas se encuentran en la parte norte, aparentemente provenientes de la parte occidental del delta del Río Colorado, al igual que lo señala Farfán (1973), y en la costa oriental desde Cabo Lobos hasta el norte de Isla Tiburón, prolongándose hasta Isla Ángel de la Guarda. Otros valores importantes, del orden de  $501 \text{ cm}^3 1000 \text{ m}^{-3}$  a  $1000 \text{ cm}^3 1000 \text{ m}^{-3}$ , se encuentran entre los dos núcleos mencionados, en la parte central cercana a Isla Tiburón y al sur del área muestreada, al oriente de Isla San José.

#### Marzo-abril de 1985

La temperatura del agua superficial va de los  $14^\circ\text{C}$  a los  $22^\circ\text{C}$ , las temperaturas más bajas se localizan al sur de Isla Tiburón y las mayores en la parte central del sur del área muestreada (Fig. 1d). Existe también un núcleo con temperaturas de hasta  $21^\circ\text{C}$  al norte de Isla Ángel de la Guarda, en la costa peninsular.

Aunque la cobertura es menor que la del crucero correspondiente del año anterior, es posible detectar diferencias entre ambos. En particular es notable la presencia de núcleos con biomásas menores a la del promedio en la costa oriental, al sur de Puerto Peñasco, en una franja costera al sur de Isla Tiburón y al norte de Laguna de Yavaros. Los valores en el área del delta son inferiores al promedio, coincidiendo con los resultados de Farfán (1973) para el mes de marzo. Existe otro núcleo de baja biomasa en la parte central, a la altura de Punta Final y otro más en la boca de Bahía Concepción, que es el único que se presenta en los cruceros de marzo-abril de 1984 y 1985 (Fig. 2d).

La máxima biomasa de este crucero, con valor superior a los  $2000 \text{ cm}^3 1000 \text{ m}^{-3}$ , se detectó en una estación situada al sur de Punta Peñasco. En esta localidad, Hernández-Trujillo & Esquivel-Herrera (1989) encuentran abundantes ejemplares de *Sagitta decipiens* y *S. minima*, quetognatos que son indicadores de condiciones asociadas con surgencias. De acuerdo con estos mismos autores, este elevado volumen de zooplancton está dado por la coincidencia de abundantes copépodos de las especies *Calanus pacificus* y *Rhincalanus nasutus*.

Biomásas en el intervalo de  $1001$  a  $1500 \text{ cm}^3 1000 \text{ m}^{-3}$  se presentan en Punta Final y al norte de Isla Tiburón. Aquí también son abundantes *S. decipiens* y *S. minima*; las especies que contribuyen en mayor grado a la biomasa observada son *R. nasutus*, *Sagitta inflata* y, en menor grado, *Calanus pacificus*.

En el área situada entre Isla Ángel de la Guarda e Isla Tiburón se detecta un núcleo con biomasa zooplanctónica menor de  $500 \text{ cm}^3 1000 \text{ m}^{-3}$ . En esta estación de muestreo el quetognato *S. decipiens* es abundante. En este caso, esta especie está indicando un evento de surgencia reciente el movimiento horizontal del agua a partir de este punto dispersa al plancton y es responsable del bajo valor observado.

En general, los núcleos con biomasa zooplanctónica superior a la promedio se asocian con temperaturas menores de  $20^\circ\text{C}$  (Fig. 1d).

*Junio de 1986*

La temperatura superficial del mar está en el intervalo de 21°C a 30°C. Las temperaturas más bajas se detectan en la parte occidental de la boca del golfo y se asocian con la entrada de aguas de la Corriente de California. Por otra parte, las temperaturas más altas se presentan en un núcleo cercano a la costa continental, al sur de Guaymas (Fig. 1e).

Las biomásas mínimas se encuentran al sur de Isla Ángel de la Guarda y de Topolobampo a Isla Altamura. Otros valores inferiores al promedio se localizan al norte de Isla Ángel de la Guarda, entre esta isla e Isla Tiburón, al norte de Santa Rosalía y desde Isla Altamura al sur del área muestreada (Fig. 2e).

No se detectan valores superiores a  $1000 \text{ cm}^3 1000 \text{ m}^{-3}$ . Esto puede deberse a que éste es el mes de transición en los patrones de viento de primavera y verano (Badán-Dangon *et al.*, 1985) y las surgencias originadas en la costa oriental son de baja intensidad. Esquivel-Herrera (1990) detecta abundantes individuos del sifonóforo *Lensia challengerii*, considerado un indicador de la Corriente de California, en la porción sur del golfo, pero la influencia de estas aguas no parece afectar los valores de las biomásas zooplanctónicas observadas.

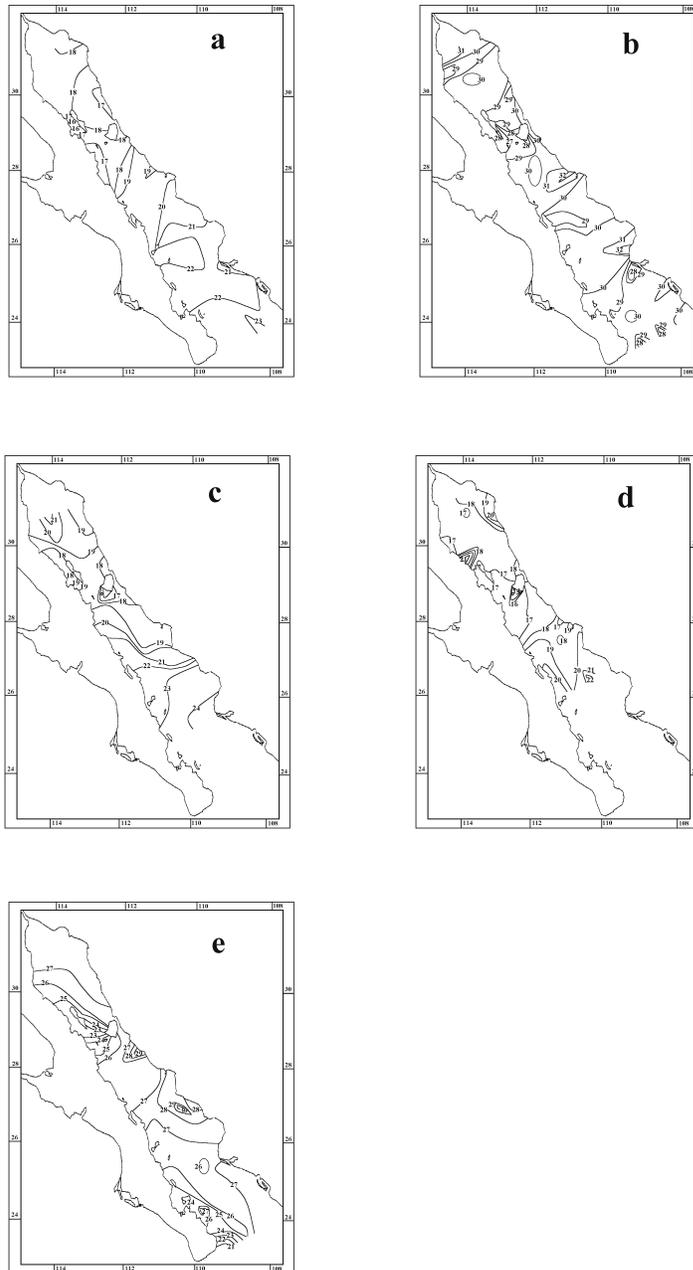
La temperatura superficial en las áreas con mayores volúmenes zooplanctónicos es mayor de 28°C (Fig. 1e).

## DISCUSIÓN

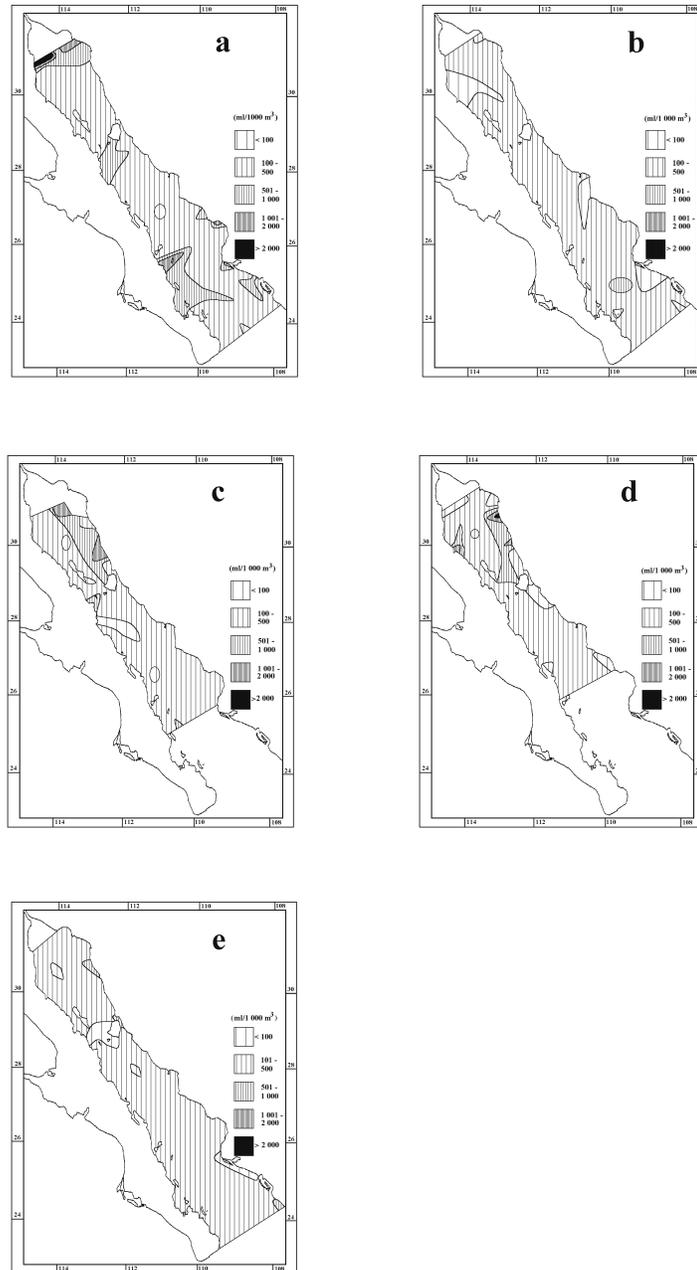
Generalmente se considera que los eventos El Niño disminuyen la producción pláncica de los sistemas del borde oriental del Océano Pacífico, debido al efecto de hundimiento de la nutriclina, que origina un menor aporte de sales nutrientes para los productores primarios (McLain *et al.*, 1985). Sin embargo, las biomásas que en promedio se encontraron durante los cruceros reportados son superiores a las del área de influencia de la Corriente de California y otras regiones del Pacífico y la variación del patrón espacial de biomásas zooplanctónicas es más importante de una temporada del año a otra, que entre diferentes años (Lavaniegos-Espejo & Lara-Lara, 1990).

Esto es debido a las características fisiográficas particulares del Golfo de California, las cuales ocasionan que durante todo el año se presenten fenómenos que favorecen el reaprovisionamiento de sales nutrientes, ya sea en la costa peninsular o en la costa continental (Badán-Dangon *et al.*, 1985). De hecho, Baumgartner *et al.* (1988) y Valdez-Holguín & Lara-Lara (1987) encuentran un aumento en la producción primaria en el Golfo de California, como respuesta al aumento en el flujo de agua procedente del sur al interior del mismo, debido al evento El Niño de 1982-1983 (Bakun, 1996). Por otra parte, Lara-Lara & Valdez-Holguín (1988) reportan que en marzo-abril de 1984 los valores de producción y biomasa planctónica vuelven a sus valores normales, después del aumento experimentado durante El Niño.

Esto corresponde con los resultados reportados, ya que en las muestras analizadas para esta investigación no detectan disminuciones importantes de los volúmenes zooplanctónicos comparables a las registradas en la región costera



**Figura 1.** Temperatura superficial del mar ( $^{\circ}\text{C}$ ): a) Marzo-abril de 1984. b) Julio-agosto de 1984. c) Noviembre-diciembre de 1984. d) Marzo-abril de 1985. e) Junio de 1986.



**Figura 2.** Biomasa zooplanctónica ( $\text{cm}^3 \bullet 1000 \text{ m}^{-3}$ ): a) Marzo-abril de 1984. b) Julio-agosto de 1984. c) Noviembre-diciembre de 1984. d) Marzo-abril de 1985. e) Junio de 1986.

del Pacífico de Baja California Sur en diciembre de 1982 o septiembre de 1983 (Hernández-Trujillo *et al.*, 1987), meses en los que Petersen *et al.* (1986) detectan la máxima intensidad del efecto El Niño.

Así, las condiciones particulares del Golfo de California permiten que se mantengan densidades zooplanctónicas importantes de un año a otro, ya que algunos de los procesos que enriquecen el contenido en sales nutrientes de sus aguas son incluso independientes de los patrones de circulación del viento. De hecho, las fluctuaciones en el tamaño poblacional de poblaciones de interés pesquero, como la sardina *Sardinops sagax caerulea* parecen ser debidos más a procesos de sustitución de unos pelágicos menores por otros, como la anchoveta *Engraulis mordax*, que por variaciones en la disponibilidad de sales nutrientes y la producción zooplanctónica (Bakun, 1996).

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-Borrego, S. 1983. Gulf of California, Mexico, 427-449. En: Ketchum, B.H. (Ed.). *Ecosystems of the World. Estuaries and Enclosed Seas*. Elsevier Publ. Co. Amsterdam.
- Álvarez, L.G., A. Badán-Dangon & J.M. Robles. 1984. Lagrangian observations of near-surface currents in Canal de Ballenas. *CalCOFI Rep.*, (25):35-42.
- Badán-Dangon, A., C.J. Koblinsky & T. Baumgartner. 1985. Spring and summer in the Gulf of California: observations of surface thermal patterns. *Oceanol. Acta*, 8(1):13-22.
- Bakun, A. 1996. *Patterns in the Ocean. Ocean Processes and Marine Population Dynamics*. California Sea Grant/Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, B.C.S., México. 323 p.
- Baumgartner, T., J.M. Robles, E. Valdez, V. Ferreira & R. Lara. 1988. Response of primary productivity to physical processes in the Gulf of California during El Niño conditions: lessons from March 1983. *Progress in Oceanography*.
- Brinton, E., A. Fleminger & D. Siegel-Causey. 1986. The temperate and tropical planktonic biotas of the Gulf of California. *CalCOFI Rep.* (27):228-266.
- Emilsson, I. & M.A. Alatorre. 1980. Investigaciones recientes sobre la circulación en la parte exterior del Golfo de California. *Contr. Centro Ciencias del Mar y Limnología Univ. Nal. Autón. México* (210):1-123.
- Esquivel-Herrera, A. 1990. *Caracterización de las Comunidades de Sifonóforos del Golfo de California, 1984, 1986*. Tesis de Maestría en Ciencias Marinas. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, I.P.N. La Paz, B.C.S. 85 p.
- Farfán, B.C. 1973. Estimación de biomasa de zooplancton en la zona norte del Golfo de California, 2:339-364. En: Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1973. *Estudio Químico Sobre la Contaminación por Insecticidas en la Desembocadura del Río Colorado*. Reporte Final a la Dirección de Acuicultura de la SARH. UABC, Unidad de Ciencias Marinas.

- Griffiths, R.C. 1965. A study of oceanic fronts off Cape San Lucas, Lower California. U.S. Fish Wildl. Serv. Spec. Sci. Rep. - Fisheries (449):1-54.
- Hammann, M.G., T.R. Baumgartner & A. Badán-Dangon. 1988. Coupling of the Pacific sardine (*Sardinops sagax caeruleus*) life cycle with the Gulf of California Environment. CalCOFI Rep. (29):102-109.
- Hernández-Trujillo, S., A. Esquivel-Herrera & R.J. Saldierna-Martínez. 1987. Biomasa zooplanctónica en la Costa Oeste de Baja California Sur (1982-1985). Memorias Simposio obre Investigación en Biología y Oceanografía Pesquera en México. CICIMAR-IPN, La Paz, B.C.S., México. 161-169.
- Hernández-Trujillo, S. & A. Esquivel-Herrera. 1989. Los copépodos y quetognatos del Golfo de California en la primavera de 1985. Inv. Mar. CICIMAR 4(2):151-164.
- Lara-Lara, J.R. & J.E. Valdez-Holguín. 1988. Biomasa y productividad primaria del Golfo de California por fracción de tamaños durante primavera de 1984. Ciencias Marinas 14(1):1-14.
- Lasker, R. 1981. The role of a stable ocean in larval fish survival and subsequent recruitment, 358-368. En: Lasker, R. 1981. (Ed.). Marine Fish Larvae: Morphology, Ecology and Relation to Fisheries. Washington Sea Grant Program. Seattle.
- Lavaniegos-Espejo, B.E. & J.R. Lara-Lara. 1990. Zooplankton of the Gulf of California after the 1982-1983 El Niño event: Biomass distribution and abundance. Pacific Science 44(3):297-310.
- Roden, G.I. & I. Emilsson. 1980. Oceanografía física del Golfo de California. Contr. Centro Ciencias del Mar y Limnología Univ. Nal. Autón. México (209):1-69.
- Rosas-Cota, A. 1977. Corrientes geostróficas en el Golfo de California en la superficie y a 200 m, durante las estaciones de invierno y verano. CalCOFI Rep. (19) :89-196.
- Smith, P.E. & S.L. Richardson. 1979. Técnicas modelo para la prospección de huevos y larvas de peces pelágicos. FAO Doc. Téc. Pesca (175):1-107.
- Valdez-Holguín, J.E. & J.R. Lara-Lara. 1987. Productividad primaria en el Golfo de California. Efectos del evento "El Niño" 1982-1983. Ciencias Marinas 13(2):34-50.
- Wickstead, J.H. 1965. An introduction to the study of tropical plankton. Hutchinson. Tropical Monographs. Essex. 160 p.

# 19

## COMUNIDADES DE SIFONÓFOROS (CNIDARIA) EN EL CENTRO DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL GOLFO DE CALIFORNIA

*Alfonso Esquivel-Herrera*

UAM-Xochimilco Departamento El Hombre y Su Ambiente. Calz. del Hueso #1100, Col. Villa Quietud, México C.P. 04960, D.F. E-mail: aesquiv@cueyatl.uam.mx

### RESUMEN

Se presenta la caracterización de las comunidades de sifonóforos epipelágicos del Golfo de California en cuatro cruceros (marzo-abril, julio-agosto y noviembre-diciembre de 1984 y junio de 1986), a través las técnicas de análisis de conglomerados y análisis de componentes principales. Éstas muestran que *Muggiaea atlantica* es el organismo que en mayor grado contribuye a la variabilidad de las comunidades de sifonóforos. Las áreas con diversidades mayores que  $2.5 \text{ bitsindividuo}^{-1}$  para el índice de Shannon-Wiener corresponden con la distribución de *Chelophyes contorta*, una especie indicadora de aguas cálidas y del componente tropical de este grupo; el avance de estos valores al interior del golfo varía de un muestreo a otro, dependiendo de la interacción de las masas de agua en la boca del golfo. Estos datos muestran también que la presencia de una elevación en el fondo a nivel de las grandes islas del golfo central y de continua turbulencia en Canal de Ballenas y Canal de Salsipuedes constituyen una barrera que limita la penetración de las formas tropicales hacia la región de la cabecera del golfo. Asimismo, se identifica el papel de las surgencias de la costa oriental del golfo como un factor que modifica la distribución de los sifonóforos.

**Palabras clave:** Análisis multivariado, Diversidad específica, Golfo de California, Sifonóforos.

### ABSTRACT

This report deals with the characterization of epipelagic siphonophora communities in the Gulf of California as determined from four oceanographic

cruises (March-April, July-August and November-December 1984 and June 1986) through Cluster Analysis and Principal Components Analysis. These show that *Muggia atlantica* is the species that contributes more to the variability of siphonophore communities. Species diversity, as computed through Shannon & Wiener's index reveals that the areas with species diversity values higher than 2.5 bits individual<sup>-1</sup> are the same as those where the warm water species *Chelophyes contorta* is found, a species indicative of the penetration of tropical fauna. The degree of penetration of tropical siphonophores into the Gulf changes in response to the changing influence of the water currents occurring at the Gulf's mouth. These data also show that the sea floor elevation occurring at the great islands of the central Gulf and the permanent turbulence of the water column at Canal de Ballenas and Canal de Salsipuedes are an effective barrier preventing the penetration of tropical species into the Gulf's head. Coastal upwelling at the eastern Gulf coast also modifies the distribution of siphonophore species within the Gulf.

**Key words:** Gulf of California, Multivariate analysis, Species diversity, Siphonophora.

## INTRODUCCIÓN

Los sifonóforos forman un Orden de hidrarios gymnoblásticos holoplácticos, caracterizados por tener un tipo particular de gastrozoide llamado sifón (Hyman, 1940; Trégouboff & Rose, 1957) y que constituyen uno de los grupos del zooplankton más relevantes del Golfo de California, tanto por ser uno de los componentes más abundantes en algunas localidades y temporadas (Alvariño, 1969; Manrique, 1977; Brinton *et al.*, 1986), como por su importancia como depredadores (Alvariño, 1981; Purcell, 1980, 1981a, 1981b, 1981c; Funes, 1985; Pugh, 1986), inclusive de larvas de peces.

Dado que en el Golfo de California se asientan numerosas pesquerías, entre las que destacan la del camarón y la de sardina, es indudable la importancia de determinar la magnitud de las poblaciones de sifonóforos, como una estimación de su potencial de competencia y depredación sobre las formas larvares de especies de interés comercial.

Sin embargo, hay pocos antecedentes de investigaciones sobre los sifonóforos del Golfo de California. De hecho, el primer trabajo en que se estudia específicamente a esta taxocenosis en el área es el de Alvariño (1969), realizado con base en muestras de los cruceros CalCOFI de febrero y abril de 1956 y las muestras de la Vermillion Sea Expedition de 1959. Posteriormente, el grupo ha sido estudiado de manera esporádica por Manrique (1977), Torres *et al.* (1981) y Gasca *et al.* (1988).

De los tres Subórdenes de sifonóforos, los calicóforos son los más importantes en el Golfo de California y llegan a formar una parte importante de la biomasa zoopláctica (Manrique, 1977; Brinton *et al.*, 1986). Por tanto, consumen una porción significativa de organismos tales como las nauplios y copepoditos de copépodos pequeños, limitando así las posibilidades de supervivencia de las

larvas jóvenes de peces debido a competencia por el alimento, mientras que en otros casos es por depredación sobre las larvas y juveniles de peces, según lo describe Purcell (1981c) con respecto a agregaciones del cistonecte *Rhizophysa eysenhardti*, que se alimenta exclusivamente de peces, en ciertas localidades del Mar de Cortés, desde la primavera hasta mediados del verano de 1978.

Adicionalmente a los efectos de competencia y depredación, la línea de investigación representada por Lasker (1981) señala la importancia de las condiciones hidrográficas sobre el mantenimiento de concentraciones de presas adecuadas para la alimentación de los primeros estadios larvales de pelágicos menores. En este sentido, las especies de sifonóforos juegan un papel importante como indicadoras de las condiciones hidrográficas. Así, Alvariño (1969; 1971) determina que el calicóforo *Lensia challengerii* es un indicador del influjo de la Corriente de California hacia el Mar de Cortés y que *Chelophyes contorta* es indicador de las aguas cálidas del Pacífico Central, al igual que el quetognato *Sagitta pacifica*. Por su parte, Veliz (1981) discute la utilidad de los sifonóforos como indicadores biológicos en las costas de Perú.

Sin embargo, de acuerdo con Backus (1986), la distribución de una o dos especies indicadoras no es suficiente para caracterizar a una masa de agua, sino que esto debe basarse en el análisis de la estructura de la comunidad. Para ello, en este trabajo se examina la estructura de las comunidades de sifonóforos con base en los siguientes puntos: el área de distribución de las especies dominantes en cada muestreo, la abundancia por especie, la heterogeneidad (diversidad específica) y su relación con la dominancia, la frecuencia de aparición y la persistencia en diferentes cruceros. La aplicación de métodos multivariados es una herramienta poderosa para este tipo de análisis, como lo demuestran los trabajos de Nienhuis & Guerrero (1985), Romero (1988), Pineda (1981), Allen & Koonce (1973) y Allen & Bartell (1977).

## ÁREA DE ESTUDIO

El Golfo de California es un mar marginal de interés particular, por ser el mayor del Pacífico americano y debido también a su localización geográfica, en la zona de transición entre dos provincias zoogeográficas: la Californiana y la Panámica (Briggs, 1974). Desde fines del siglo pasado, ha sido reconocido como un área con producción geográfica elevada; sin embargo, los patrones de distribución espacial y de la variación temporal de la biomasa fito y zoopláctica distan de haber sido elucidados (Brinton *et al.*, 1986).

Entre los factores más importantes que determinan esta variación, están su fisiografía particular y su localización geográfica. Como lo señalan varios autores (Roden & Emilsson, 1980; Álvarez-Borrego, 1983), las elevadas cadenas montañosas de la Península de Baja California aíslan al Golfo de California, sobre todo a su parte septentrional, de los efectos amortiguadores del Pacífico sobre el clima, por lo que la variación anual de la temperatura, particularmente en la región de la cabecera, es mucho más marcada que la correspondiente a una misma latitud en la costa del Pacífico de la península.

La cabecera del golfo es una región somera, que se comunica con las cuencas profundas de la parte sur sólo a través del Canal de Ballenas y Canal de Salsipuedes. En la actualidad, los aportes de agua dulce son casi nulos, por lo que la elevada evaporación durante el verano y el notable enfriamiento durante el invierno originan un tipo de agua particular, que desencadena una circulación termohalina cuando, por convección, esta agua densa fluye hacia la parte profunda de la Fosa de Salsipuedes (Roden & Emilsson, 1980; Álvarez-Borrego, 1983; Baumgartner *et al.*, 1988).

La amplitud de las mareas aumenta desde la parte de la entrada hacia la cabecera, de manera que en el delta del Río Colorado se tienen intervalos mayores a 6 m durante las mareas vivas. El desplazamiento de este gran volumen de agua en uno u otro sentido, se realiza principalmente a través del Canal de Ballenas. En consecuencia, la turbulencia originada provoca la mezcla vertical de los 100 a 150 m superiores de la columna de agua en esta área, que puede identificarse por la continua presencia de aguas frías en superficie (Badán-Dangon *et al.*, 1985). Aunque Álvarez *et al.* (1984) determinan que la componente  $M_2$  de la marea semidiurna es responsable de gran parte de esta turbulencia, Roden & Emilsson (1980) y Álvarez-Borrego (1983) señalan la gran importancia del efecto de encañonamiento del viento en esta zona, como generador de turbulencia.

Con respecto a los efectos del viento, Badán-Dangon *et al.* (1985) encuentran que las surgencias costeras se localizan en la parte oriental del golfo durante la primavera, cuando el viento sopla desde el noroeste, mientras que durante el verano se desplazan a la costa occidental del golfo, cuando se invierte el patrón de los vientos. Por tanto, durante ambas temporadas se presentan condiciones que favorecen el enriquecimiento de las aguas superficiales.

El patrón de circulación de la parte sur del Mar de Cortés es complejo, puesto que depende del grado de influencia de la Corriente de California, de la Corriente Mexicana (una rama de la Contracorriente Norecuatorial) y del agua que sale del golfo (Emilsson & Alatorre, 1980). El flujo de entrada al golfo es por la parte oriental, mientras que el de salida es por la región occidental, al menos durante el invierno. Una consecuencia de esto es que el agua de la Corriente de California no penetra directamente al golfo, por formarse un frente en la región de Cabo San Lucas, sino hasta después de mezclarse con otras masas presentes en la boca de éste. La entrada de agua al golfo es a través de una banda amplia, pero la de salida parece ocurrir como un chorro estrecho (30 km) cercano a la costa peninsular (Roden & Emilsson, 1980; Emilsson & Alatorre, 1980).

## MATERIAL Y MÉTODO

Los resultados presentados fueron obtenidos a partir del material colectado en cuatro cruceros oceanográficos realizados en el Golfo de California en marzo-abril, julio-agosto y noviembre-diciembre de 1984 y en junio de 1986.

Las muestras de zooplancton se obtuvieron mediante arrastres oblicuos de una red tipo Bongo, de 0.6 m de diámetro en la boca, provista con mangas de 505  $\mu$

y 333  $\mu$  de luz de malla y de flujómetros digitales General Oceanics, de acuerdo con el método de Smith & Richardson (1977). Se soltó un máximo de 300 m de cable, lo cual equivale a una profundidad real de arrastre de 212 m, en las estaciones de muestreo donde fue posible. Las muestras se fijaron en formalina hasta una concentración final del 4%, neutralizada con solución saturada de borato de sodio.

En este trabajo únicamente se consideran los resultados correspondientes a la manga de 505  $\mu$ . En el laboratorio, la biomasa zoopláctica fue determinada por el método de volumen desplazado, por constituir un método no destructivo de análisis y los resultados se presentan en este volumen (Esquivel-Herrera, *et al.*), ya que estas mismas muestras han sido analizadas para varios grupos zooplácticos.

Las muestras con volúmenes zooplácticos bajos y moderados fueron analizadas en su totalidad. En las muestras con volúmenes elevados se tomó una fracción de 50 ml de volumen desplazado, después de homogeneizar la muestra. Esto permitió contar más de 500 organismos. En todas las ocasiones se midió el volumen exacto de la fracción analizada, a fin de poder extrapolar el valor de la fracción a la muestra total.

Las especies de sifonóforos fueron identificadas con base en los trabajos de Bigelow (1931), Totton (1941), Sears (1953), Totton & Bargmann (1965), Alvariño (1981, 1983) y Pugh & Harbison (1987). Debido al maltrato sufrido en el arrastre, los sifonóforos son generalmente colectados como zooides disgregados, lo cual dificulta su cuantificación. Por tanto, la cuantificación fue de la siguiente manera: en los fisonectes, el número de individuos fue igual al de pneumatóforos; en ausencia de pneumatóforos, la presencia de nectóforos o brácteas sólo pudo tomarse como evidencia de un único individuo. En los difididos, se contaron los nectóforos superiores e inferiores (fase poligástrica) o las brácteas y gonóforos (fase eudoxia) y cada una de estas fases fue cuantificado con base en el mayor número de cada una de estas partes aisladas (Alvariño, 1981). Igualmente, las dos etapas del ciclo de vida, la paragástrica o poligástrica, cuyas actividades son esencialmente tróficas y la fase eudoxia, con un papel importante en la dispersión y distribución de la especie.

Las abundancias por muestra se han normalizado mediante su transformación a número de organismos en 1000 m<sup>3</sup>, de acuerdo con la fórmula (Smith & Richardson, 1977):

$$N_{1000} = 1000 \cdot (N_m / V_f)$$

donde :

$N_{1000}$  es el número de organismos en 1000 m<sup>3</sup>

$N_m$  es el número de organismos presentes en la muestra

$V_f$  es el volumen filtrado por la red, en m<sup>3</sup>

Estos valores normalizados son la base para todos los análisis que se realizaron posteriormente. La abundancia y distribución se representan en mapas, que se presentan para las especies que se consideran de mayor interés (Figs. 1 a 3). Se eligió una escala logarítmica de base 10 para simbolizar las abundancias.

El índice de diversidad de Shannon & Wiener se presenta en la Figura 4 como un valor sinóptico de la estructura de las comunidades de sifonóforos. Su elección se basa en que, de acuerdo con Pielou (1977) reúne todas las propiedades matemáticas esperadas de un índice de este tipo y porque es menos sensible que el índice de Simpson a las especies dominantes (Peet, 1974).

Los valores de diversidad se calcularon de acuerdo con la fórmula:

donde:

$$H' = -\sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i$$

$H'$  es la diversidad por el índice de Shannon & Wiener, en bits/individuo  
 $p_i$  es el valor de importancia de la  $i$ -ésima especie, en este caso el número de individuos de la  $i$ -ésima especie dividido entre el número total de organismos en la muestra

$s$  es el número de especies en la muestra

El cálculo del índice de diversidad se realizó mediante un programa en BASIC llamado ODI (Esquivel-Herrera & Haro-Garay, CICIMAR, 1985).

La elaboración de los dendrogramas para estaciones de muestreo y para especies de sifonóforos se realizó por medio del programa Statistica for Windows, versión 5, de acuerdo con los criterios señalados en Esquivel-Herrera (1990). Debido a que la extremada dominancia de *Muggiaea atlantica* obscurecía los patrones de las otras especies, los datos fueron transformados al estadístico  $z$ , de acuerdo con la fórmula:

donde:

$$z_{i,j} = \frac{a_{i,j} - \bar{a}_i}{s_i}$$

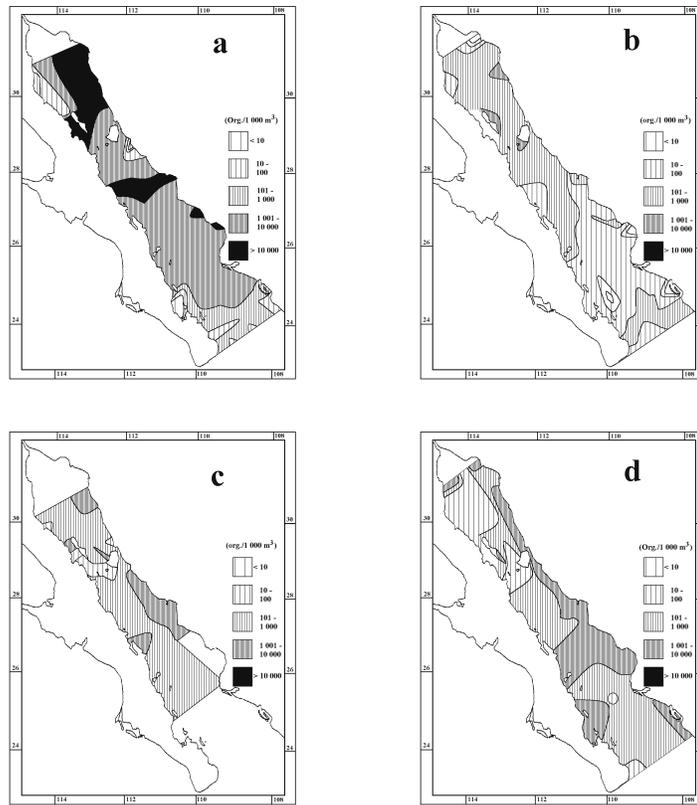
$i$  y  $j$  se refieren al renglón y columna de la matriz de datos, respectivamente  
 $\bar{a}_i$  es la media del  $i$ -ésimo renglón

$s_i$  es la desviación patrón del  $i$ -ésimo renglón

## RESULTADOS

### Distribución y abundancia

Las Figuras 1 a 3 comparan la distribución de las tres especies de sifonóforos más abundantes y que a la vez son indicadoras de diferentes masas de agua; éstas son: *Muggiaea atlantica* (Fig. 1), indicadora de aguas neríticas con abundante plancton, *Lensia challengerii* (Fig. 2), indicadora de las aguas relativamente frías y poco salinas de la Corriente de California y *Chelophyes contorta* (Fig. 3), indicadora de las aguas cálidas de la Corriente Mexicana. En estas Figuras se presentan únicamente las densidades de la fase poligástrica o paragástrica, por ser formas esencialmente tróficas y, por lo tanto, por reflejar los patrones de

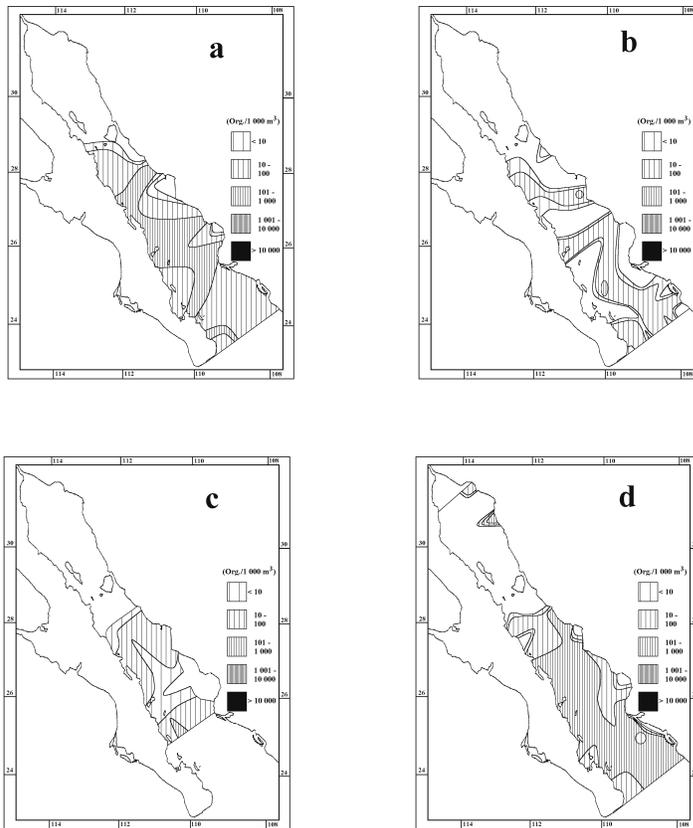


**Figura 1.** Distribución de *Muggiaea atlantica*. Fase poligástrica (org. • 1000 m<sup>-3</sup>): a) Marzo-abril de 1984. b) Julio-agosto de 1984. c) Noviembre-diciembre de 1984. d) Junio de 1986.

distribución de la especie de manera más fiel que la fase eudoxia o de dispersión.

De estas especies, *M. atlantica* es la que alcanza las mayores densidades (10000 org. 1000 m<sup>-3</sup>) y presenta una distribución más amplia a través del Golfo de California. Las mayores densidades se observan durante el cruce de marzo-abril de 1984 (Fig. 1a), las menores en julio-agosto de 1984 (Fig. 1b). A partir de este análisis y de los que se presentan a continuación se evidencia la importancia de esta especie como el componente dominante de las comunidades de sifonóforos en el golfo y como la especie que a través de sus partones de distribución determina en mayor grado la variabilidad de estas comunidades.

La máxima penetración de *L. challengerii* se presenta durante el muestreo de marzo-abril de 1984 (Fig. 2a), en que alcanza hasta las grandes islas del golfo central. Sin embargo, las densidades detectadas durante junio de 1986 (Fig. 2d) son mayores. Las densidades más bajas y distribución menos continua se detectan en julio-agosto de 1984 (Fig. 2b).

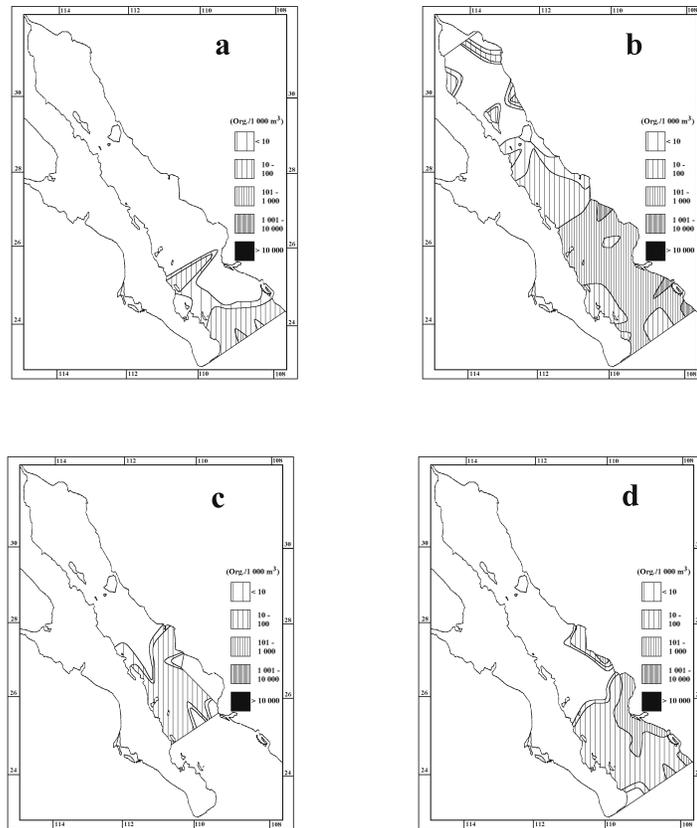


**Figura 2.** Distribución de *Lensia challengeri*. Fase poligástrica (org. • 1000 m<sup>-3</sup>): a) Marzo-abril de 1984. b) Julio-agosto de 1984. c) Noviembre-diciembre de 1984. d) Junio de 1986.

Por su parte, la máxima densidad de *C. contorta* se observa durante julio-agosto de 1984 (Fig. 3b), en una tendencia claramente opuesta a la de las dos especies anteriores; en este crucero incluso alcanza la cabecera del golfo en algunos núcleos aislados, en tanto que en los muestreos su máximo avance es hasta Guaymas, a la mitad del golfo. Las densidades más bajas y el menor avance se observan en marzo-abril de 1984 (Fig. 3a).

### Diversidad específica

Las áreas con diversidades del orden de 2.6 a 3.5 bitsind.<sup>-1</sup> o mayores indican el límite de distribución de las comunidades de sifonóforos de afinidad tropical. Estas comunidades avanzan hasta el norte de Guaymas en julio-agosto de 1984 (Fig. 4b) y se observa una banda con diversidades muy altas que va de la parte oriental de la boca del golfo hasta la región situada al norte de Bahía Concepción y la Bahía de Guaymas.

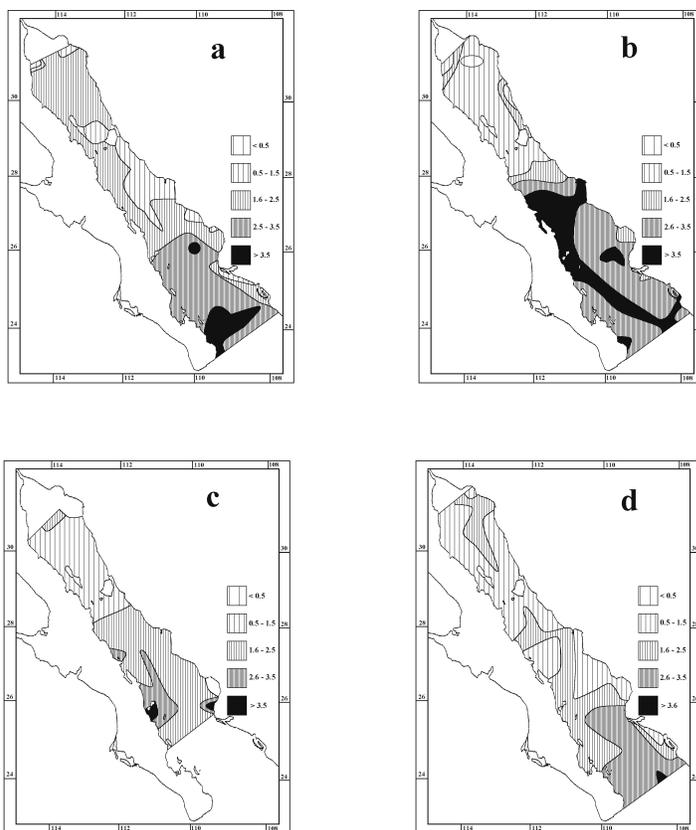


**Figura 3.** Distribución de *Chelophyes contorta*. Fase poligástrica (org. • 1000 m<sup>-3</sup>): a) Marzo-abril de 1984. b) Julio-agosto de 1984. c) Noviembre-diciembre de 1984. d) Junio de 1986.

En los cruceros de marzo-abril de 1984 (Fig. 4a) y de junio de 1986 (Fig. 4d) se observan áreas de baja diversidad específica en la costa oriental del Golfo de California. En el muestreo de marzo-abril de 1984 hay un área de alta diversidad específica que forma una amplia banda en la parte occidental del golfo, al sur de Isla Cerralvo.

### Análisis de conglomerados

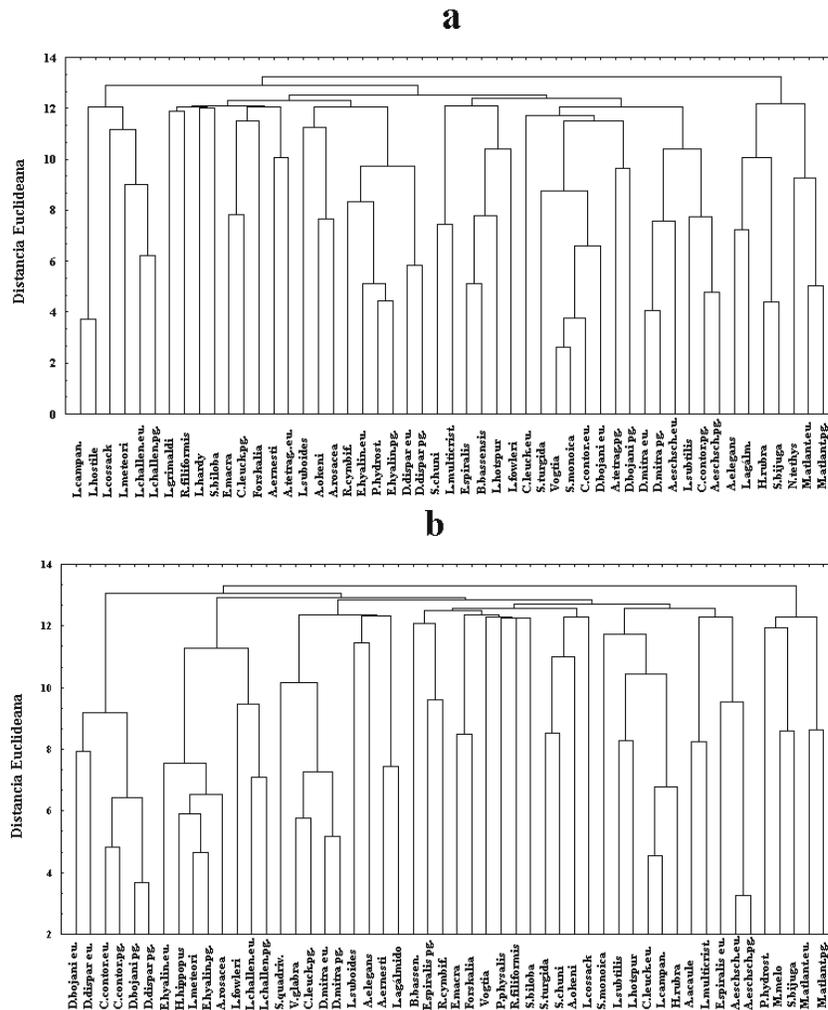
Los resultados de la Figura 5 muestran a *M. atlantica*, tanto en su forma poligástrica como eudoxia, formando un grupo con los agálmidos *Agalma elegans*, *Halistemma rubra* y *Stephanomia bijuga*, que se separa del resto de las especies. Los sifonóforos de aguas cálidas, como *Chelophyes contorta*, *Diphyes bojani*, *Diphyes dispar*, *Abylopsis eschscholtzi* y *Enneagonum hyalinum* no muestran una asociación permanente entre ellos, sino se agrupan con diferentes especies de un muestreo a otro.



**Figura 4.** Diversidad específica por el índice de Shannon-Wiener (bits•individuo): a) Marzo-abril de 1984. b) Julio-agosto de 1984. c) Noviembre-diciembre de 1984. d) Junio de 1986.

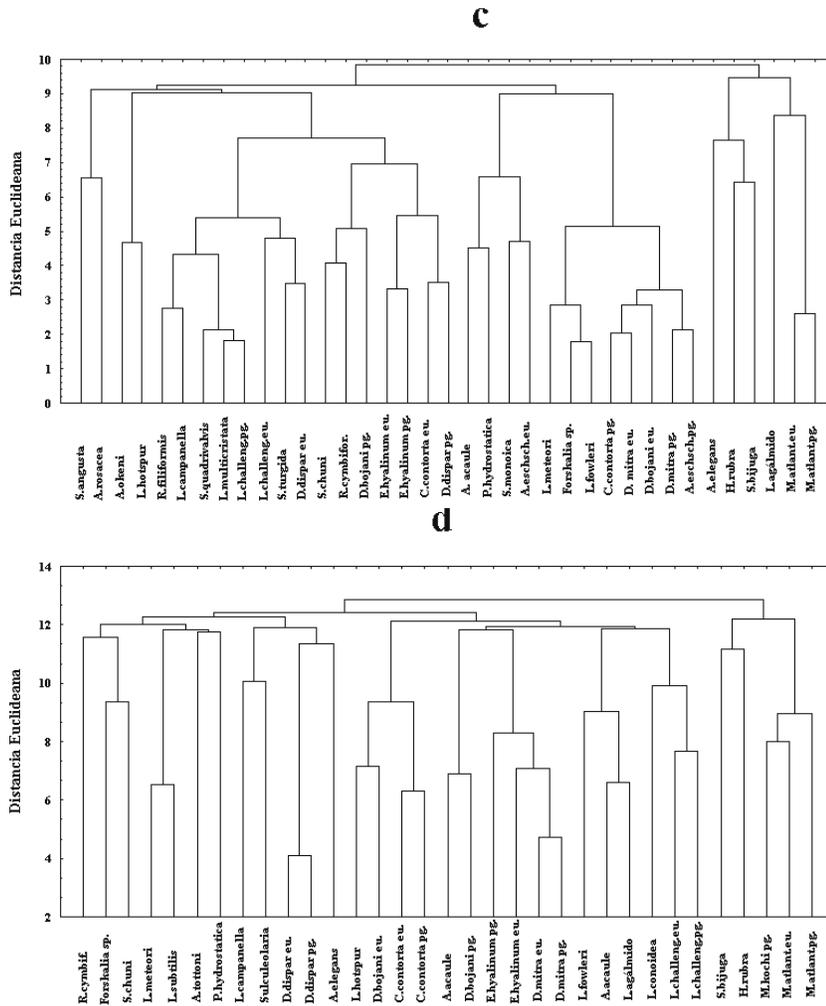
La Figura 6 muestra las asociaciones entre estaciones de muestreo durante los cuatro cruceros analizados. En marzo-abril de 1984 (Fig. 6a) el grupo de estaciones con mayor similitud incluye a la región situada entre las grandes islas del golfo medio, el Canal de Ballenas y Canal de Salsipuedes, así como algunas porciones de la costa oriental. Las estaciones con menor similitud son las de la costa occidental de la porción sur del área muestreada. Ésto indica que las áreas con mayor diversidad específica también se caracterizan por su heterogeneidad espacial.

Durante el crucero de julio-agosto de 1984 (Fig. 6b) las estaciones más heterogéneas son también las de mayor diversidad específica. Durante este muestreo hay un grupo de estaciones de la cabecera que difieren del resto por la presencia de *Diphyes dispar*, *Diphyes bojani* y otras formas de afinidad tropical. En noviembre-diciembre de 1984 (Fig. 6c), las estaciones con mayor afinidad se localizan en la región situada entre las grandes islas del golfo medio,



**Figura 5.** Análisis de conglomerados por especies de sifonóforos. Distancia euclídeana, método del vecino más lejano: a) Marzo-abril de 1984. b) Julio-agosto de 1984.

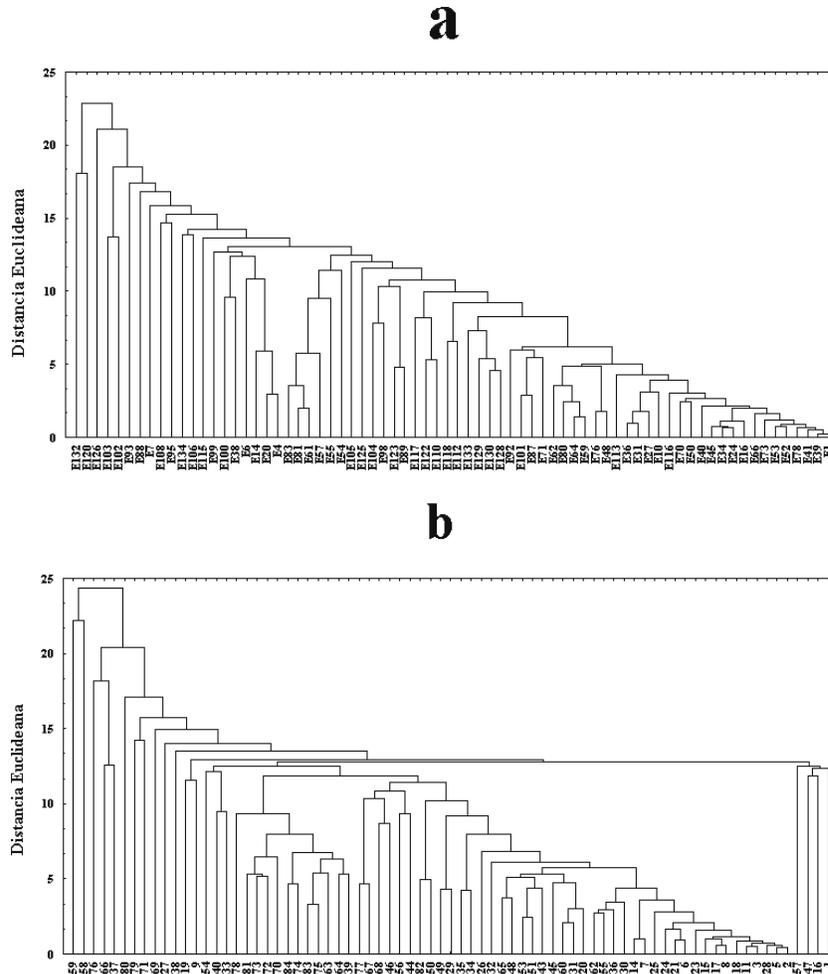
coincidiendo con las áreas de baja diversidad específica. Las menores afinidades se dan entre las estaciones de la parte sur del área muestreada. En junio de 1986 (Fig. 6d) se observa un gradiente en la similitud de las estaciones de muestreo, más que una delimitación clara de grupos; el único conjunto de estaciones que se separa del resto se localiza en la boca del Golfo de California; nuevamente las estaciones más similares entre sí se encuentran en la región de las grandes islas, en la cabecera y en algunas localidades de la costa oriental del golfo.



**Figura 5.** Continuación. Análisis de conglomerados por especies de sifonóforos. Distancia euclídeana, método del vecino más lejano: c) Noviembre-diciembre de 1984. d) Junio de 1986.

### Análisis de componentes principales

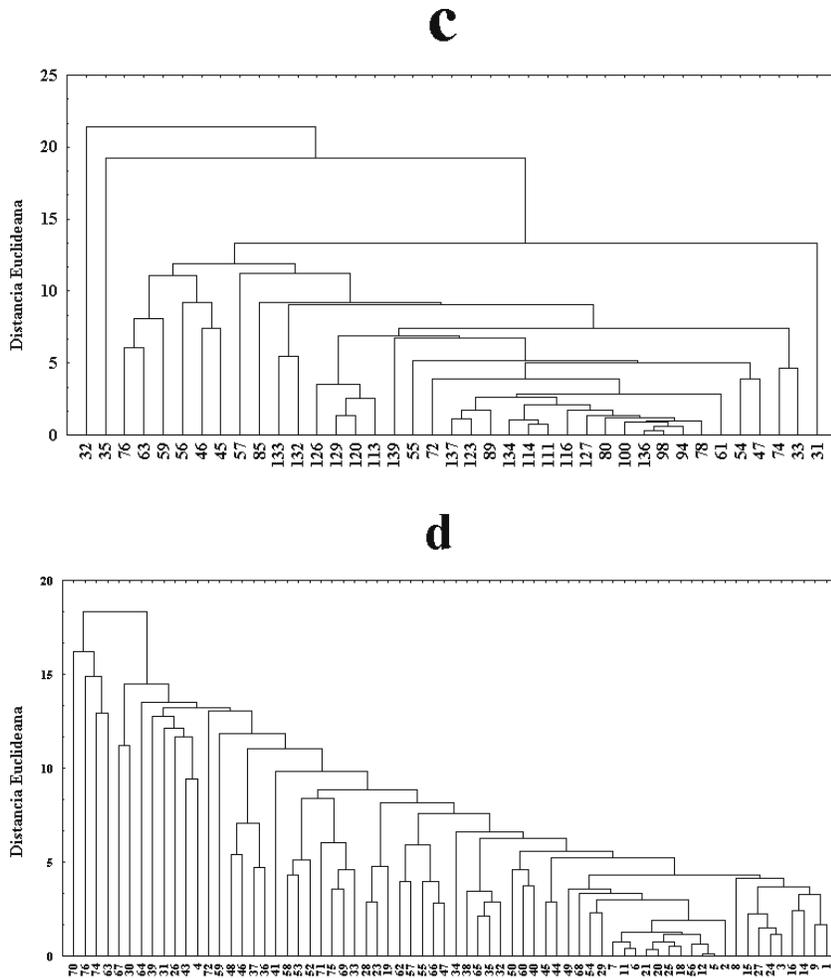
La Figura 7 muestra los resultados del análisis de componentes principales. En general, todos ellos muestran que *M. atlantica* presenta una fuerte correlación con la parte positiva del principal eje de variación, excepto durante noviembre-diciembre de 1984 (Fig. 7c), en que lo hace con su parte negativa; en general, siempre se halla alejada del origen, lo que muestra que contribuye de manera intensa a la variabilidad de los datos.



**Figura 6.** Análisis de conglomerados por estaciones de muestreo. Distancia euclídeana, método del vecino más lejano: a) Marzo-abril de 1984. b) Julio-agosto de 1984.

En marzo-abril de 1984 (Fig. 7a) *M. atlantica* se correlaciona negativamente con *C. contorta*, *Diphyopsis mitra*, *Sulculeolaria monoica* y *Sulculeolaria chuni*, que característicamente representan a las especies de aguas cálidas y el fisonecte de aguas templadas *Stephanomia bijuga* se correlaciona negativamente con el calicóforo de aguas cálidas *D. bojani*. Por su parte, *D. dispar* y *Enneagonum hyalinum* muestran una tendencia independiente a la de los otros.

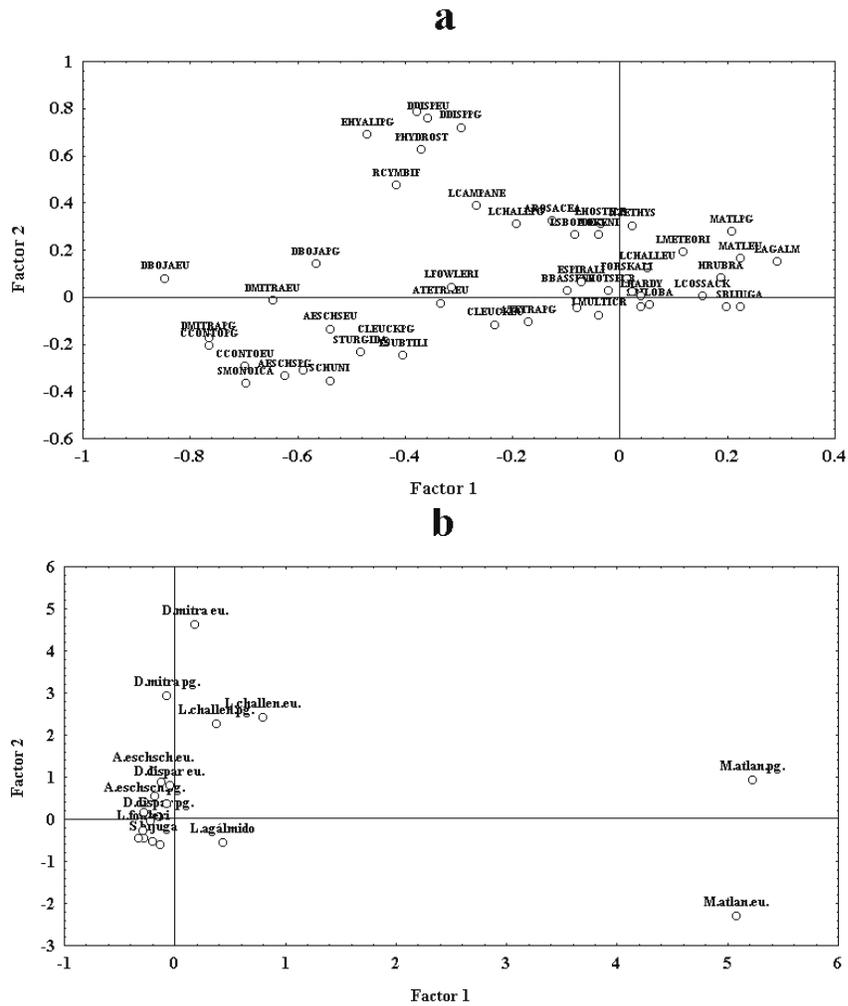
En julio-agosto de 1984 (Fig. 7b) el segundo eje de variación se correlaciona con *D. mitra* y *L. challengeri*, en tanto que todas las especies de afinidad tropical se concentran en la parte negativa del primer eje de variación, en correlación



**Figura 6.** Continuación. Análisis de conglomerados por estaciones de muestreo. Distancia euclidean, método del vecino más lejano: c) Noviembre-diciembre de 1984. d) Junio de 1986.

negativa con *M. atlantica*. Esto indica que, independientemente del gradiente entre formas templadas y de aguas cálidas, se presenta otra fuente de variación debida a la intrusión de aguas de la Corriente de California al interior del golfo, que dan lugar al establecimiento de frentes.

Durante noviembre-diciembre de 1984 (Fig. 7c) únicamente puede reconocerse una correlación negativa entre *M. atlantica* y sifonóforos de agua cálidas como *Lensia campanella*, *C. contorta* y *D. dispar*, pero el patrón del resto de las especies resulta menos claro. El patrón de junio de 1986 (Fig. 7d) también es complejo, aunque puede reconocerse la correlación negativa entre

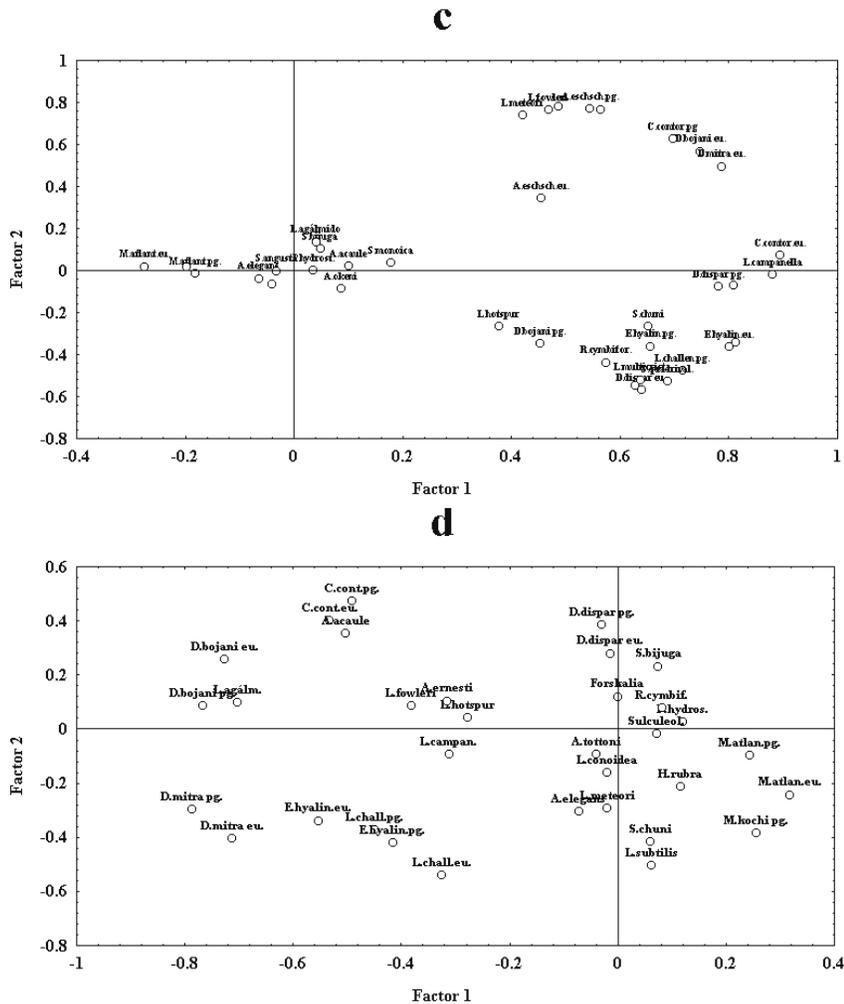


**Figura 7.** Comunidades de sifonóforos. Análisis de componentes principales: a) Marzo-abril de 1984. b) Julio-agosto de 1984.

*M. atlantica* y *C. contorta*, *Amphicaryon acaule* y *D. bojani*. El segundo eje de variación se correlaciona fuertemente con *D. dispar*, por lo que la distribución de esta especie y la de su congénérica *D. bojani* siguen tendencias independientes durante este muestreo. *L. challengerii* y *D. mitra* presentan una distribución que es independiente a la de *M. atlantica* y *D. bojani*.

## DISCUSIÓN

Para entender la composición faunística del zooplancton del Golfo de California es preciso proceder a su caracterización zoogeográfica. De acuerdo



**Figura 7.** Continuación. Comunidades de sifonóforos. Análisis de componentes principales: c) Noviembre-diciembre de 1984. d) Junio de 1986.

con Brusca (1980), el golfo queda comprendido en la Región Zoogeográfica del Pacífico oriental (que corresponde a la Provincia Panámica de otros autores y en la que algunos autores distinguen una subprovincia Mexicana), la cual se extiende desde la parte norte del Golfo de California hasta el sur del Golfo de Guayaquil, Ecuador. Sin embargo, Briggs (1974) concluye que el Golfo de California constituye una provincia separada, a la que él llama Provincia de Cortés o Sinuscaliforniana, debido al alto endemismo en la región, determinado con base en la fauna demersal.

En esta región se encuentra una gradación desde fauna tropical típica hasta

especies tropicales euritermas en la parte norte, por lo que no corresponde con la caracterización como zona de transición templado-cálida asignada por Briggs (1974). Esta discrepancia se debe a que la fauna del Mar de Cortés es de tres orígenes: organismos de la Región Zoogeográfica del Pacífico Oriental, organismos de la Provincia Caribeña y de la Provincia Californiana. Brusca (1980) considera que la influencia del componente caribeño es importante, debido a la intrusión de estos organismos a través del Istmo de Panamá durante el Plioceno, ya que la cuenca del Pacífico es una barrera para el avance hacia el este de las formas tropicales del Pacífico Occidental (Segura, 1984).

Por otra parte, Brinton *et al.* (1986) señalan que la región de las grandes islas del golfo medio constituye una barrera para el avance de las formas pláncicas tropicales hacia el norte. La cabecera del golfo está dominada por formas templadas de afinidad nerítica, consideradas como relictos de una fauna anterior templada.

La variabilidad de los patrones hidrológicos de la región también contribuye a su complejidad faunística, sobre todo en el área de la boca (Emilsson & Alatorre, 1980). Esta variabilidad no sólo se manifiesta en un sentido horizontal, sino también vertical, como lo señalan Moser *et al.* (1974), quienes detectan que los organismos subtropicales penetran al golfo en profundidad, a través de la intrusión de aguas del Pacífico Oriental Tropical. De acuerdo con estos autores, el avance de formas larvales de peces mesopelágicos, como el fotítido *Vinciguerria lucetia* y el mictófidio *Bentosema panamense*, indica la penetración de los adultos de estas especies, en profundidad.

Estos mismos autores consideran que la mezcla permanente de la columna de agua en la región de Canal de Ballenas y Canal de Salsipuedes, así como la disminución de profundidad del golfo superior, impiden el avance hacia el norte de las formas subtropicales. Así, en la cabecera del golfo, la fauna mesopelágica (de origen subtropical) está depauperada. Este fenómeno es análogo al descrito por Casanova (1986) para otras dos cuencas semicerradas, donde existe una elevación del fondo marino que impide la comunicación entre sus aguas profundas y las del mar circundante: el Mar Mediterráneo y el Mar Rojo.

Al igual que en estas dos cuencas, la presencia de un área somera extensa en una región caracterizada por una elevada evaporación induce cambios que impiden el desarrollo de algunas formas. Así, en el golfo superior, las únicas especies de sifonóforos bien establecidas (como lo indica la presencia de formas larvales) son el calicóforo *M. atlantica* y los agálmidos *Agalma elegans* y *Stephanomia bijuga*. Aunque otras especies tales como *L. challengerii* y *C. contorta* penetran esporádicamente a la región de la cabecera, sus poblaciones no llegan a establecerse de manera definitiva en dicha región.

Esquivel-Herrera (1990) compara la distribución de los sifonóforos del Golfo de California con la de otros grupos zoopláncicos y encuentra que algunas estaciones de muestreo de la cabecera del Golfo de México que se caracterizan por la dominancia total del quetognato *Sagitta euneritica* coinciden con las estaciones en las que se presenta una dominancia total del calicóforo *M. atlantica*. Estas estaciones típicamente presentan una densidad elevada de

fitoplancton, abundantes ctenóforos y escasos individuos de otras especies del zooplancton, entre ellos copépodos neríticos del género *Acartia*.

En otras estaciones del golfo septentrional la diversidad específica de los sifonóforos también es baja, debido a la dominancia de los fisonectes *A. elegans* y *S. bijuga*, junto con el calicóforo *M. atlantica*. Sin embargo, el patrón total de la composición faunística del zooplancton es más complejo, como lo muestra el haber detectado al copépodo *Undinula vulgaris*, característico de aguas neríticas ecuatoriales (Brinton *et al.*, 1986; Jiménez-Pérez & Lara-Lara, 1988) y al quetognato circumtropical *Sagitta enflata* en esta área. La presencia de estas especies coincide con la de *Diphyopsis mitra*, un sifonóforo que ha sido asociado con aguas cálidas (Alvariño, 1969, 1981; Gasca, 1985) o considerado como de amplia distribución (Alvariño, 1971; Ramírez, 1988), pero que en este caso es más abundante en la isoterma de los 21°C, coincidiendo con lo detectado por Veliz (1981) en la zona costera del Perú, donde esta autora encuentra que *D. mitra* es más abundante en los bordes fríos que resultan de la mezcla de aguas costeras con aguas subtropicales superficiales.

Así, en conjunto, estas especies indican la presencia de varias masas de agua en el golfo superior, lo cual parecen confirmar las densidades elevadas del quetognato *Sagitta minima*, considerado por Alvariño (1965, 1967) como indicador de la mezcla de masas de agua. En la región situada entre Isla Ángel de la Guarda e Isla Tiburón y en Canal de Ballenas y Canal de Salsipuedes, son abundantes los quetognatos *S. minima* y *Sagitta decipiens*. La presencia conjunta de estas especies indica condiciones de mezcla vertical de la columna de agua, debida a las surgencias en el área situada entre las islas y a la turbulencia generada por las mareas, en los canales.

Al sur de estas islas, el quetognato *Sagitta pacifica* es indicador de las mismas masas de agua cálida del Pacífico Central que el sifonóforo *C. contorta* (Alvariño, 1971), coincidiendo con el sifonóforo *Enneagonum hyalinum*. El número de especies de quetognatos tropicales, como *Sagitta regulares*, *Krohnitta pacifica* y *Pterosagitta draco*, aumenta hacia el sur, en coincidencia con el de individuos y/o especies de sifonóforos de los géneros *Lensia*, *Abylopsis*, *Enneagonum*, *Diphyopsis* y *Diphyes*. La presencia de estas especies circuntropicales indica que la región de las grandes islas del golfo central constituye una barrera para el avance hacia el norte del zooplancton de aguas cálidas.

Estas formas son más abundantes en la porción sudoccidental del golfo, sobre todo al sur de Isla San José. En la porción oriental el avance de las formas tropicales está restringido por las surgencias costeras, que pueden reconocerse por la presencia de *S. minima* y *S. decipiens*, así como por la mayor densidad de *M. atlantica*. La distribución del sifonóforo *C. contorta* coincide con la del área con diversidad específica mayor de 2.5 bitsindividuo<sup>-1</sup>, que identifica el avance de la comunidad tropical de sifonóforos y está delimitada por la isoterma de los 22°C, que también se relaciona con la distribución de los volúmenes zoopláncnicos (Esquivel-Herrera *et al.*, este volumen).

La mayor influencia de especies tropicales durante el período analizado se

presenta en el verano de 1984. La magnitud de ésta puede detectarse por la extensión de la zona con valores de diversidad específica superior a 2.5 bits ind.<sup>-1</sup>, la cual comprende desde la boca del golfo hasta justo al sur de las grandes islas. Esta zona coincide con el área de mayor densidad de *C. contorta* y, por consiguiente, se confirma que la causa de las diversidades encontradas es la penetración de la fauna de aguas cálidas y no simplemente el resultado de la mezcla de diferentes masas de aguas.

Esto se confirma por la distribución de otras taxocenosis, en especial de los quetognatos, un grupo con especies reconocidas como indicadoras de masas de agua (Alvariño, 1965). Característicamente durante el verano de 1984 aparecen en la zona epipelágica abundantes individuos de *Sagitta regularis*, *Sagitta neglecta* y *Pterosagitta draco*, formas típicas de aguas cálidas, la última de las cuales no aparece entre las reportadas por Alvariño (1969) ni por Medina (1979). Asimismo, los límites de distribución de *Sagitta bieri* en esta temporada se sitúan al norte de los determinados con anterioridad (Brinton *et al.*, 1986) y los quetognatos de la zona mesopelágica circuntropical *Sagitta robusta* y *Sagitta ferox* aparecen en las aguas epipelágicas del golfo.

En relación con esto es importante hacer notar que el sifonóforo *Lensia meteori*, que de acuerdo con Raymont (1983) puede encontrarse desde la zona epipelágica hasta la mesopelágica y que no había sido reportada anteriormente para el interior del golfo, aparece incluso con mayor frecuencia que la que Alvariño (1971) encuentra en la región adyacente al Golfo de California, durante el verano de 1984. Este punto es interesante si se considera el aumento en el flujo de las aguas mesopelágicas hacia el golfo, según lo expuesto por Baumgartner *et al.* (1988), durante períodos de calentamiento anómalo del agua marina, como el correspondiente a El Niño de 1982-1983, cuyos efectos residuales se manifiestan incluso durante 1984, como lo muestra la composición específica de los sifonóforos del epiplancton en este muestreo y se confirma por la presencia de los quetognatos mesopelágicos circuntropicales *S. ferox* y *S. robusta*.

En otros muestreos (noviembre-diciembre de 1984 y junio de 1986), además de este gradiente de comunidades templadas a tropicales, se observan estaciones de muestreo con comunidades de sifonóforos en las que se mezclan organismos con diferentes afinidades faunísticas y que resultan de la confluencia de masas de agua de distintos orígenes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Allen, T.F.H. & J.F. Koonce. 1973. Multivariate approaches to algal stratagems and tactics in System Analysis of phytoplankton. *Ecology*, 54(4):1234-1246.
- Allen, T.F.H. & S.M. Bartell. 1977. Multiple stable configurations in ordination of phytoplankton community change rates. *Ecology*, 58(5):1076-1084.
- Álvarez, L.G., A Badán-Dangon & J.M. Robles. 1984. Lagrangian observations of near-surface currents in Canal de Ballenas. *CalCOFI Rep.* (25):35-42.

- Álvarez-Borrego, S. 1983. Gulf of California, México, 427-449. En: Ketchum, B.H. (Ed.) Ecosystems of the World. Estuaries and Enclosed Seas.
- Alvariño, A. 1965. Chaetognaths. En: Barnes, H. (Ed.) Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. (3):115-194.
- Alvariño, A. 1969. Zoogeografía del Mar de Cortés: quetognatos, sifonóforos y medusas. An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. México Ser. Cienc. del Mar y Limnol. 40(1):11-54.
- Alvariño, A. 1971. Siphonophores of the Pacific, with a review of their world distribution. Bull. Scripps Inst. Ocean., Univ. Calif. (16):1-432.
- Alvariño, A. 1981. Siphonophorae, 283-341. En: Boltowskoy, D. (Ed.) Atlas del Zooplankton del Atlántico Sudoccidental. Publicación Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP). Ministerio de Comercio e Intereses Marítimos, Argentina.
- Backus, R.H. 1986. Biogeographic boundaries in the open ocean. En: Pierrot-Bults, A.C., S. Van der Spoel, B.J. Zahuranec & R.K. Jonson. (Eds.) Pelagic Biogeography. UNESCO Readings in Marine Science (49):9-13.
- Badán-Dangon, A., C.J. Koblinsky & T. Baumgartner. 1985. Spring and summer in the Gulf of California: observations of surface thermal patterns. Oceanol. Acta. 8(1):13-22.
- Baumgartner, T.R., J.M. Robles, E. Valdez, V. Ferreira & R. Lara. 1988. Response of primary productivity to physical processes in March 1983. Progress in Oceanography.
- Bigelow, H.B. 1931. Siphonophorae from the Arcturus Oceanographic Expedition. Zool. Sci. Contr. N.Y. Zool. Soc., 8(11):525-592.
- Briggs, J.C. 1974. Marine Zoogeography. McGraw-Hill, N.Y. 475 p.
- Brinton, E., A. Fleminger & D. Siegel-Causey. 1986. The temperate and tropical planktonic biotas of the Gulf of California. CalCOFI Rep., (27):228-266.
- Brusca, R.C. 1980. Common Intertidal Invertebrates of the Gulf of California. University of Arizona Press. 513 p.
- Casanova, J.P. 1986. Similarity of plankton distribution patterns in two nearly land-locked seas: the Mediterranean and the Red Sea. En: Pierrot-Bults, A.C., S. Van der Spoel; B.J. Zahuranec & R.K. Johnson (Eds.) Pelagic Biogeography. UNESCO Readings in Marine Science (49):42-46.
- Emilsson, I. & M.A. Alatorre. 1980. Investigaciones recientes sobre la circulación en la parte exterior del Golfo de California. Contr. Centro Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México (210):1-27.
- Esquivel-Herrera, A. 1990. Caracterización de las Comunidades de Sifonóforos del Golfo de California. 1984, 1986. Tesis de Maestría en Ciencias Marinas. CICIMAR-I.P.N. La Paz, B.C.S., México. 85 p.
- Funes, R.R. 1985. Abundancia de sifonóforos y larvas de *Sardinops sagax*

- caerulea* en el invierno (1981-1982), en Bahía Magdalena, B.C.S., México. Inv. Mar. CICIMAR, 2(2):70-76.
- Gasca, S.R. 1985. Taxonomía, Distribución y Abundancia de los Sifonóforos (CINDARIA-SIPHONOPHORA) de la Costa Occidental de Baja California Sur. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias UNAM. 115 p.
- Gasca, S.R., E. Suárez & M.A. Fernández. 1988. Los sifonóforos del crucero AH-7707. Mem. 28<sup>a</sup> Reun. CalCOFI.
- Hyman, L.H. 1940 The Invertebrates. Protozoa Through Ctenophora. McGraw-Hill, N.Y. 497 p.
- Jiménez-Pérez, L.C. & R.J. Lara-Lara. 1988. Zooplankton biomass and copepod community structure in the Gulf of California during the 1982-1983 El Niño event. CalCOFI Rep. 29:122-128.
- Lasker, R. 1981. The role of a stable ocean in larval fish survival and subsequent recruitment, 358-368. En: Lasker, R. (Ed.) Marine Fish Larvae: Morphology, Ecology and Relation to Fisheries. Washington Sea Grant Program. Seattle.
- Manrique, F.A. 1977. Variación estacional del zooplancton de la región de Guaymas (Golfo de California), 358-368. En: Manrique, F.A. (Ed.) Mem. V Congreso Nacional de Oceanografía. Guaymas, Son..
- Medina, M.D. 1979. Análisis Sobre la Distribución Horizontal de Organismos Planctónicos en el Sur del Golfo de California, con Referencia Especial al Phylum Chaetognatha. Tesis de Maestría. CICIMAR-I.P.N., La Paz, B.C.S., México. 76 p.
- Moser, H.G., E.H. Ahlstrom, D. Kramer & E.G. Stevens. 1974. Distribution and abundance of fish eggs and larvae in the Gulf of California. CalCOFI Rep. (17):112-130.
- Nienhuis, H. & R. Guerrero. 1985. A quantitative analysis of the annual phytoplankton cycle of the Magdalena Lagoon Complex, Mexico. Jour. of Plankton Res. 7(4):427-441.
- Peet, R.K. 1974. The measurement of species diversity. Ann. Rev. Ecol. Syst. (5):285-307.
- Pielou, E.C. 1977. Mathematical Ecology. Wiley-Interscience, N.Y.
- Pineda, F. 1981. A principal component analysis of the chaetognaths found during the Aceto 2 cruise in the Bight of Panama. Mem. Seminario Sobre Indicadores Biológicos del Plancton. Oficina Regional de la Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe. Montevideo, Uruguay. 74-88.
- Pugh, P.R. 1986. Trophic factors affecting the distribution of siphonophores in the North Atlantic Ocean. En: Pierrot-Bults, A.C., S. Van der Spoel, B.J. Zahuranec & R.K. Johnson (Eds.) Pelagic Biogeography. UNESCO Readings in Marine Science (49):230-234.

- Pugh, P.R. & G.R. Harbison. 1987. Three new species of Prayinae Siphonophorae (Calycophorae) collected by a submersible, with notes on related species. Bull. Mar. Science 41(1):68-91.
- Purcell, J.E. 1980. Influence of siphonophore behavior upon their natural diets: Evidence for aggressive mimicry. Science, (209):1045-1046.
- Purcell, J.E. 1981a. Selective predation and caloric consumption by the siphonophore *Rosacea cymbiformis* in nature. Marine Biology, (63):283-294.
- Purcell, J.E. 1981b. Feeding ecology of *Rhizophysa eisenhardti*, a siphonophore predator of fish larvae. Limnol. Oceanogr. 26(3):424-432.
- Purcell, J.E. 1981c. Dietary composition and diel feeding patterns of epipelagic siphonophores. Marine Biology, (65):83-90.
- Ramírez, A.L. 1988. Sistemática y Distribución de los Sifonóforos del Domo de Costa Rica. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM, México. 207 p.
- Raymont, J.E.G. 1983. Plankton and Productivity in the Oceans. Zooplankton. Pergamon Press, N.Y. 824 p.
- Roden, G.I. & I. Emilsson. 1980. Oceanografía física del Golfo de California. Contr. Centro Ciencias del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México (209):1-69.
- Roesler, C.S. & D.B. Chelton. 1987. Zooplankton variability in the California Current, 1951-1982. CalCOFI Rep. (28):59-96.
- Romero, I.N. 1988. El Espectro Trófico de la Sardina Crinuda (*Opisthonema libertate* Gunther) en el Complejo Lagunar de Bahía Magdalena. Tesis de Maestría en Ciencias Marinas. CICIMAR-I.P.N., La Paz, B.C.S., México. 54 p.
- Sears, M. 1953. Notes on siphonophores. 2. A revision of the Abylinae. Bull. Mus. Comp. Zool. Harv. 109(1):1-119.
- Segura, P.L. 1984. Morfología, Sistemática y Zoogeografía de las medusas (CNIDARIA: HYDROZOA Y SCYPHOZOA) del Pacífico Tropical Oriental. Publ. Especial Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México 8:1-320.
- Smith, P.E. & S.L. Richardson. 1977. Técnicas modelo para la prospección de huevos y larvas de peces pelágicos. FAO Doc. Téc. Pesca (175):1-107.
- Torres, V.J.R., O. Cota, A. Esquivel, R. Funes & R. Guerrero. 1982. Distribución de los sifonóforos en el sur del Golfo de California. Mem. V Congreso Nacional Zoología. UAEM, Morelos, México.
- Totton, A.K. 1941. New species of the siphonophoran genus *Lensia* Totton, 1932. Ann. & Mag. N. Hist. Ser. 11 8(45):145-168.
- Totton, A.K. & H.E. Bargmann. 1965. A Synopsis of the Siphonophora.

- Trustees of the British Museum (Natural History). Londres. 230 p.
- Trégouboff, G. & M. Rose. 1957. Manuel de Planctologie Méditerranéenne. Centre National de la Recherche Scientifique. París.
- Veliz, M.G. 1981. Sifonóforos como posibles indicadores biológicos. Mem. Seminario Sobre Indicadores Biológicos del Plancton. Oficina Regional de la Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe. Montevideo, Uruguay. 104-116 p.

# 20

## LA PESQUERÍA DE CAMARÓN DE ALTAMAR EN SONORA

*Juana López-Martínez<sup>1</sup>, Enrique Morales-Bojorques<sup>2</sup>, Fausto Paredes-Mallon<sup>1</sup>, Daniel Lluch-Belda<sup>3</sup> & Celio Cervantes-Valle<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Unidad Guaymas Apdo. Postal 349 Guaymas, Sonora, México. 85460. E-mail: jlopez@cibnor.mx <sup>2</sup>Centro Regional de Investigación Pesquera La Paz. Carretera a Pichilingue Km 1 La Paz, B.C.S, México. 23020. <sup>3</sup>Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Apdo. Postal 128 La Paz, B.C.S., México. 23000. <sup>4</sup>Centro Regional de Investigación Pesquera Guaymas. Calle 20 Sur domicilio conocido. Guaymas, Sonora. 85430.

### RESUMEN

Se efectúa una breve revisión del desarrollo de la pesquería de camarón de altamar en el litoral sonorense. Dicha revisión contempla origen, regulación y tendencia de la captura y el esfuerzo en el periodo de 1939 a 1997. Se observó que esta pesquería ha mostrado desde sus inicios una alta variabilidad interanual en las capturas, no explicada totalmente por el esfuerzo pesquero, y que pudiera tener relación con la rápida respuesta de estos organismos al medio ambiente imperante.

**Palabras clave:** Camarón, Esfuerzo, Captura, Sonora.

### ABSTRACT

A brief revision of the development of the open sea shrimp fishery at the Sonora coast is made. This takes into account the origin, regulation, and tendency of the catch and effort in the period from 1939 to 1997. This fishery has shown a high interannual variability of catches from its beginnings. This variability it is not fully explained by the fishing effort, and so it could have some relation with the rapid response of these organisms to the prevailing environment.

**Key words:** Shrimp, Effort, Catch, Sonora.

## INTRODUCCIÓN

El camarón es uno de los recursos pesqueros más ampliamente explotados a nivel internacional, proporcionando una fuente considerable de divisas y generando empleos para un sector muy importante de la población pesquera.

Actualmente, México se encuentra entre los diez productores más relevantes en cuanto a las capturas de este crustáceo. En 1995, el 24% del camarón que importó Estados Unidos de América provino de México, que tiene además una alta demanda, hecho que se ve reflejado en el monto de las divisas que durante 1993, 1994 y 1995 ingresaron al país provenientes de su venta (224,005; 267,155 y 393,958 miles de dólares respectivamente) que supusieron entre 60 y 70% del total de ingresos al país provenientes de la pesca (Anónimo, 1995).

A nivel nacional, los volúmenes anuales de captura ascienden a cerca de 70,000 toneladas en el Pacífico mexicano actualmente oscilan alrededor de 50,000 toneladas, siendo los estados de Sonora y Sinaloa los que aportan la mayor parte de esta captura (75%) y en menor proporción, Oaxaca y Chiapas (Rodríguez de la Cruz & Chávez-Ortíz, 1994). Este considerable aporte a las capturas de Sonora y Sinaloa es debido, principalmente, al gran número de lagunas y áreas arrastrables en la plataforma continental (Magallón-Barajas, 1987).

En el litoral sonorense son muchos los trabajos efectuados alrededor de este recurso, tales como análisis de distribución batimétrica y reclutamiento (Valverde, 1986), distribución de tallas (Montemayor, 1986), madurez gonádica (Méndez-Tenorio, 1986), captura y esfuerzo en aguas interiores (Márquez-Tiburcio, 1976), análisis bioeconómico (Alonso-Alemán, 1989), biológico-pesqueros (García de Quevedo, 1990; Ross 1988), entre otros; todos ellos caracterizados por ser trabajos puntuales y de regiones y periodos de estudio cortos, además de ser documentos poco accesibles. Actualmente no existe ningún estudio descriptivo del desarrollo de la pesquería de altamar en Sonora, su composición y estructura; salvo el desarrollado por Magallón-Barajas en 1987, que describe la pesquería de camarón en el Pacífico mexicano. Por lo anterior, este trabajo hace una descripción del desarrollo de la pesquería de camarón en el litoral sonorense, sus métodos y artes de pesca, así como sus medidas regulatorias, con la finalidad de servir de base para futuras investigaciones alrededor de este recurso.

### Desarrollo histórico

Los primeros pobladores asentados en la ciudad de Guaymas, Sonora, se dedicaron a la pesca de diversos recursos, entre ellos el camarón, con embarcaciones de madera menores de 5 m y sin motor; siendo la economía de la región altamente dependiente de este recurso. El camarón azul, *Litopenaeus stylirostris*, fue la especie objeto de búsqueda, los pueblos Yaquis los principales usuarios del recurso. Su pesca se desarrolló en todas las lagunas del sur de Sonora, principalmente con atarraya de hilo. No existía un proceso de

industrialización del producto, y éste se destina principalmente al consumo local.

No fue sino hasta la década de 1920 que se incorporaron embarcaciones mayores a la pesca de camarón, dando inicio la pesca en altamar. De ahí en adelante se habla de dos pesquerías de camarón bien diferenciadas, altamar y ribereña, que están separadas tanto por áreas, artes y métodos de pesca, como por especies que se capturan, cada una con sus propios mecanismos de regulación.

### Pesca de altamar

La pesca de camarón de altamar en Sonora, junto con la de Sinaloa, incorpora la mayor flota pesquera del Pacífico mexicano. La pesquería se inició en Guaymas en 1921 con dos barcos de Estados Unidos (Ferreira, 1965). Durante los años 1930 operaron dentro del Golfo de California y en todo el Pacífico mexicano embarcaciones japonesas, las cuales establecieron las principales áreas de pesca (Magallón-Barajas 1987), que esencialmente se mantienen en la actualidad, salvo ligeras modificaciones (Fig. 1). En ese mismo periodo se incorporaron a la pesquería 17 barcos sardineros de Baja California, modificados a arrastreros, dando inicio a la pesquería de altamar de la flota mexicana. Las embarcaciones que se usaron fueron barcos de 15 m (40-50 pies) de eslora con motor fuera de borda de 75-80 caballos de fuerza y una autonomía de 6 días, debido principalmente a la falta de un sistema de refrigeración adecuado, además de la poca capacidad de combustible (alrededor de 8,000 l).

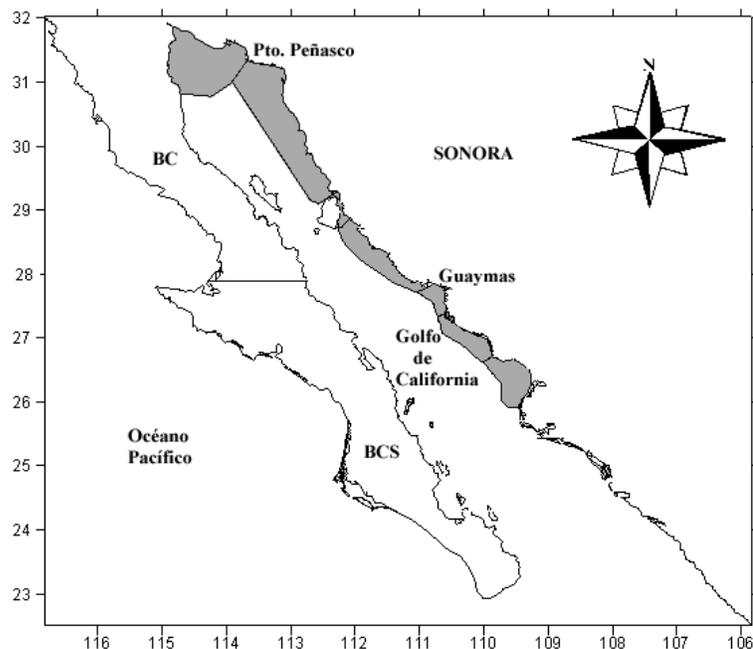


Figura 1. Zonas de pesca de la flota camaronera de Sonora.

El tipo de pesca que se desarrolló desde los inicios de esta pesquería fue pesca de arrastre, que actualmente sigue utilizándose, cambiando principalmente las características de las redes y la potencia de los barcos. Las principales áreas de pesca eran las costas de las lagunas del sur de Sonora (Lobos, Tobari, Yavaros); y la especie *L. stylirostris*, debido básicamente a la demanda del producto en el mercado estadounidense.

Durante las décadas de 1930 y 1940 las embarcaciones operaron con una sola red trabajando en popa, con luz de malla en cuerpo y alas de 4.1 cm (1 5/8") y no fue sino hasta los años 1950 en que se incorporaron dos redes, una por banda. Durante la década de los 1950 se dan dos hechos muy importantes para el desarrollo de la pesquería: la instalación de siete plantas maquiladoras de camarón, en las ciudades de Guaymas y Puerto Peñasco, y un gran impulso a la incorporación de barcos a la flota camaronera, llegando a alcanzar hasta 450 embarcaciones registradas en Guaymas en 1975. Estos dos hechos marcan la pauta para el desarrollo acelerado de la pesquería que se observó posteriormente.

Durante los años 1970 se inició, en forma dirigida, la captura de camarón café *Farfantepenaeus californiensis* (si bien el camarón café se pescaba desde los inicios de la pesquería, no era objeto preferencial de búsqueda) en respuesta a la diversificación del mercado con la incorporación de Japón a los principales compradores. Este hecho permitió a los pescadores mexicanos diversificar sus capturas; de solamente camarón azul en tallas grandes (categorías U-10, U-12; o sea 10 a 12 camarones por libra y en marquetas de 5 libras), a camarón café en tallas medianas (16-20 camarones por libra y marquetas de 2 kg). Este hecho permitió que las capturas se mantuvieran alrededor de las 5,000 toneladas; y, actualmente, el camarón café aporta el 70-80% de las capturas provenientes de altamar.

Los puertos de desembarco de camarón en Sonora son Guaymas, Puerto Peñasco, San Felipe, Santa Clara y Yavaros. Los dos primeros son los que registran la mayor parte de las capturas :72% y 19%, respectivamente (Fig. 2).

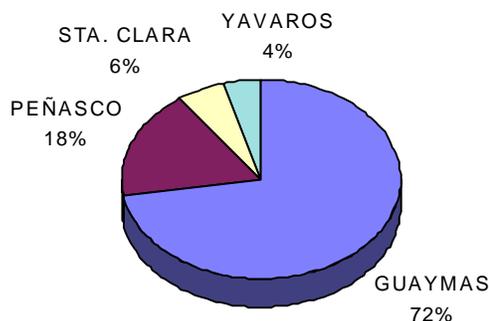


Figura 2. Puertos de descarga de camarón de la pesquería de altamar de Sonora.

## **Medidas regulatorias**

En México el organismo encargado de evaluar el estado de salud de los recursos, así como de formular y proponer los mecanismos regulatorios y normativos para las diversas pesquerías del país, es el Instituto Nacional de la Pesca (INP), perteneciente a la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). El INP propone las medidas regulatorias con base en los análisis biológicos del recurso, y la Dirección de Administración de Pesquerías se encarga de ver que dichas medidas se ejecuten. Inicialmente, la pesquería de camarón se reguló mediante vedas geográficas y temporales; la primera de ellas en 1939 (Rodríguez-de-la-Cruz, 1976). Las primeras tenían como objetivo mantener sitios de reserva, que sirvieran de proveedores al resto de las áreas de pesca. Dichos sitios fueron el delta del Río Colorado, el Canal del Infiernillo y la Laguna de Agiabampo (Magallón-Barajas, 1987). Por otra parte, las vedas temporales cumplían dos objetivos: las vedas de bahías y lagunas costeras tenían, y siguen teniendo, la función de proteger el reclutamiento (debido al comportamiento de las diversas especies de camarón, que pasan una parte de su ciclo biológico en ellas), y las vedas de altamar que tienen la función de proteger los periodos de reproducción masiva. El inicio y final de estas vedas ha estado cambiando; en 1987 fueron de julio a septiembre y actualmente de abril a agosto-septiembre, dependiendo de los resultados de los muestreos biológicos efectuados por el Instituto Nacional de la Pesca en los periodos de veda.

Debido a la carrera por el mar (fenómeno que se ha observado en todas las pesquerías), con la finalidad de hacer más eficiente la pesca, durante el periodo de 1960 a 1970 se observó una reducción en el tamaño de la luz de malla de las redes, hecho que puso en peligro a los reproductores y reclutas potenciales. En respuesta, se efectuaron análisis de selectividad de las artes (Lluch-Belda, 1977), que condujeron a que en 1977 se reglamentara el tamaño de luz de malla de las redes: de 5.67 cm (2") en el cuerpo de la red y alas y 4.4 cm (1") en el copo (Magallón-Barajas, 1987). Sin embargo, dicha medida no fue suficiente y alrededor de los años 1980 entró en función la regulación del esfuerzo pesquero limitando el incremento de la flota camaronera (Chavéz-Ortíz com. pers.). Esta medida originó una carrera por aumentar el poder de pesca de los barcos, haciendo más eficientes las embarcaciones para la pesca, mediante la incorporación de motores más potentes (200-250 caballos de fuerza), diversos tipos de redes (la mixta, la balón y la fantasma), y sistemas de refrigeración. Todos ellos dando una mayor autonomía a las embarcaciones, y extendiendo por lo tanto la duración del viaje de pesca hasta los 20 días.

Posteriormente, se prohibió la pesca con la red de arrastre tipo chango usada en bahías, con la finalidad de proteger el reclutamiento, y después se reglamentó la extracción de postlarvas y reproductores para apoyo a la acuicultura. En 1993, quedaron asentados los mecanismos de regulación del aprovechamiento de las especies de camarón de aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos (Diario Oficial de la Federación, 14 de septiembre de 1993) donde se concentran todas las medidas de regulación existentes hasta ese momento,

incluyendo: tipo de redes, luz de malla, profundidades de pesca y medidas de control para la extracción de reproductores y de poslarvas para apoyo a la acuacultura. Finalmente, en la temporada 1995-1996, se introdujeron los excluidores de tortugas en las redes; y en 1997, se permitió la pesca con chinchorro de línea en ribera.

### **Fundamentos de las medidas regulatorias**

La administración de la pesquería de altamar se sustenta, técnicamente, en el mantenimiento adecuado del tamaño del stock reproductor; lo cual implica la explotación de la producción excedente, consecuencia de la reproducción, crecimiento y reclutamiento durante el periodo de veda. Este modelo de administración de la pesquería había sido implementado previamente (Rodríguez-de-la-Cruz, 1976); posteriormente, se intentó hacer el seguimiento de las cohortes de camarón a través de Análisis Secuenciales de Población (VPA); sin embargo, las dificultades asociadas con el diseño muestral para el Pacífico mexicano no permitieron continuar con esta idea.

Actualmente, el Instituto Nacional de la Pesca ha retomado el concepto de la producción excedente, basado en modelos dinámicos de biomasa y adicionando los análisis de riesgo e incertidumbre en la toma de decisiones. Lo cual implica que, además de las estimaciones asociadas a la administración (Máximo Rendimiento Sostenido y Esfuerzo Óptimo), también se determine el punto de referencia biológico en la pesquería. De esta forma, se han incorporado posibles esquemas de administración sustentados en la probabilidad de que ocurran determinados cambios, tales como cambios en el patrón reproductivo, en la tasa de crecimiento de la población, en la cantidad de esfuerzo aplicado y en las fechas de inicio y cierre de la temporada de veda.

También se ha tratado de considerar un esquema de administración integral. En este caso, las decisiones sobre la pesquería de camarón se toman entre las autoridades de SEMARNAP, considerando los análisis técnicos y científicos del Instituto Nacional de la Pesca, el sector de pesca de ribera (principalmente pescadores de lagunas costeras y cuerpos de agua afines), el sector de pesca de altamar (principalmente sector industrial), y los respectivos asesores científicos de los usuarios del recurso, los cuales son miembros académicos y de investigación de las Universidades, Institutos y Escuelas de México, en donde también se estudia el recurso camarón. La discusión abierta y la confrontación de ideas, análisis y evidencias con respecto a la tendencia de la población, permiten a las diferentes partes determinar la estrategia de explotación para una temporada en particular, lo que también permite compartir los riesgos en la toma de las decisiones (Arenas-Fuentes & Díaz-de-León, 1997).

### **Capturas**

La pesquería de altamar de camarón en Sonora ha presentado desde sus inicios (aún en su fase de desarrollo) una alta variabilidad en las capturas y no totalmente explicada por el esfuerzo pesquero, ya que éste se incrementó en forma sostenida

hasta llegar a 490 barcos durante la temporada 1979-1980, mientras que las capturas alcanzaron su máximo de 7,600 toneladas en la temporada 1961-1962 (Fig. 3, Tabla 1). Posteriormente, declinaron hasta 3,242 toneladas durante 1973-1974 y nuevamente incrementarse a 5,833 toneladas en 1980-1981; y disminuir a los niveles de captura más bajos que se han registrado en la pesquería (1,589 toneladas) durante 1990-1991. Sin embargo, esta disminución fue seguida por una tendencia ascendente en las capturas, que en la temporada 1997-1998 llegó a 5,100 toneladas.

Esta variación en las capturas se observa igualmente en la proporción de las especies. Si bien el camarón café es la especie más importante en las capturas en altamar (aproximadamente el 70% en las temporadas 1975-1976 a 1978-1979 y de 1988-1989 a 1997-1998), durante el periodo de 1980 a 1987 se invirtieron las proporciones. Este cambio en las proporciones pudiera indicar cambios ambientales que favorezcan la expansión de una especie y afecten a otra. Este periodo en particular estuvo caracterizado por ser un periodo donde predominaron las condiciones cálidas debido a la presencia en el Golfo de California de dos eventos El Niño, uno de ellos siendo el más intenso de la centuria (Glantz, 1996; Soto-Mardones *et al.*, 1999).

Por otra parte, la captura por unidad de esfuerzo (CPUE en toneladas/barco), disminuyó de 45 toneladas/barco en la temporada 1955-1956 a cerca de 10.5 toneladas/barco, en 1974-1975 (Fig. 4). De esta temporada en adelante se han presentado oscilaciones cuasi-periódicas, a pesar de que el esfuerzo pesquero siguió creciendo, contradiciendo la disminución de la CPUE planteada por Rodríguez-de-la-Cruz (1978). En las gráficas presentadas, se puede notar que la pesquería está sobrecapitalizada, como ha sido mencionado por diversos autores (Rodríguez-de-la-Cruz, 1976), por lo cual existe un excedente de embarcaciones, que entra en operación dependiendo de la disponibilidad del recurso.

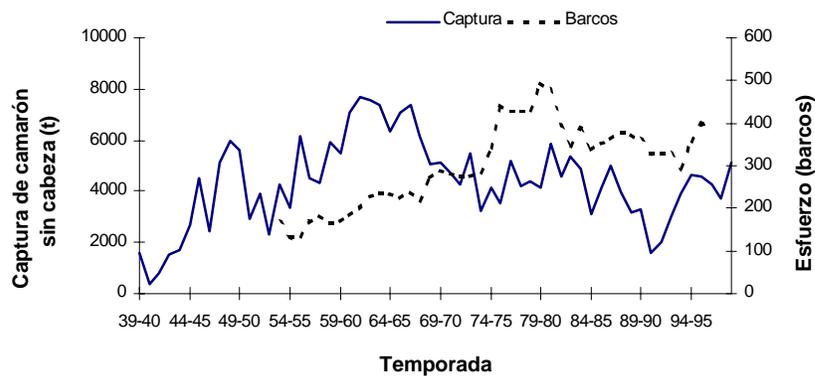
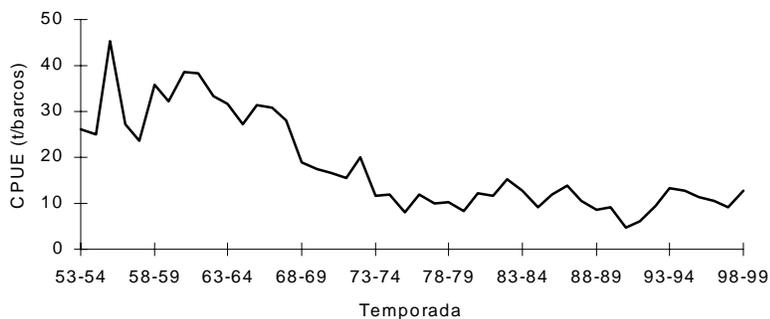


Figura 3. Captura de camarón (toneladas) y esfuerzo aplicado (barcos) declarado en el Puerto de Guaymas, Sonora. 1939-1998.

**Tabla 1.** Capturas totales (toneladas) y esfuerzo pesquero (barcos) por temporada de camarón de altamar en el Puerto de Guaymas, Sonora, México.

Temporada	Captura (t)	Esfuerzo (barcos)	Temporada	Captura (t)	Esfuerzo (Barcos)
39-40 <sup>1</sup>	1600		69-70	5097	289
40-41	350		70-71	4703	282
41-42	800		71-72	4275	273
42-43	1500		72-73	5511	274
43-44	1700		73-74	3242	281
44-45	2700		74-75 <sup>3</sup>	4119	342
45-46	4500		75-76	3535	444
46-47	2450		76-77	5177	429
47-48	5100		77-78	4225	428
48-49	6000		78-79	4383	429
49-50	5600		79-80	4154	495
50-51	2900		80-81	5833	481
51-52	3900		81-82	4569	392
52-53	2300		82-83	5360	349
53-54 <sup>2</sup>	4267	164	83-84	4850	383
54-55	3329	133	84-85	3115	337
55-56	6161	136	85-86	4136	350
56-57	4506	166	86-87	4973	361
57-58	4336	183	87-88	3956	377
58-59	5899	165	88-89	3161	372
59-60	5487	170	89-90	3305	360
60-61	7092	184	90-91	1589	330
61-62	7663	200	91-92	1982	329
62-63	7543	227	92-93	3047	325
63-64	7381	234	93-94	3921	294
64-65	6331	233	94-95	4617	359
65-66	7086	225	95-96	4851	396
66-67	7386	239	96-97	3782	401
67-68	6136	219	97-98	5100	
68-69	5059	269			

Fuentes:

<sup>1</sup> Anónimo, 1982.<sup>2</sup> Magallón-Barajas, 1987.<sup>3</sup> Boletines informativos CRIP Guaymas INP.**Figura 4.** Captura por unidad de esfuerzo de camarón (toneladas/barco) en la pesquería de altamar de Sonora, 1953-1999.

Estas oscilaciones pudieran ser debidas a alguna variable ambiental tal como la temperatura del agua de mar (Del-Valle, 1989), o la precipitación (Lluch-Belda, 1977) o una combinación de ambas. Si tomamos en cuenta que debido a su distribución muy litoral, sobre todo en las fases tempranas de vida (nauplios a postlarvas), estos organismos están expuestos a factores medioambientales de origen marino y continental que varían periódicamente en frecuencias altas (día lunar, ciclos de mareas), medias (estacional, anual) o bajas (ciclos interanuales de largo término, manchas solares García, 1984), combinado con el hecho de que los camarones son organismos de ciclo de vida corto (hasta 2 años), hace que las respuestas de estos organismos al ambiente sean casi inmediatas (García, 1984, 1989, 1996). Estas respuestas pueden incluir variaciones en crecimiento (Deering *et al.*, 1995; Ponce *et al.*, 1997; Villela *et al.*, 1997; López-Martínez *et al.*, no publicado), reclutamiento (Penn & Caputi, 1985; Gracia, 1989; Ehrhardt & Legault, 1999), mortalidad (García, 1996) y periodo reproductivo (Penn & Caputi, 1985; García & Le-Restre, 1987; Leal-Gaxiola, 1999), cada uno de estos parámetros poblacionales clave que se reflejan en cambios en las biomásas. Cada una de estas potenciales fuentes de variación interanual (crecimiento, reproducción, reclutamiento, mortalidad, disponibilidad) finalmente se vería reflejada en variaciones en las capturas, no tomadas en cuenta en los modelos pesqueros con que se evalúa el recurso actualmente, y que pudieran ser la causa de que el esfuerzo pesquero por sí mismo no explique toda la variación asociada a la captura y la captura por unidad de esfuerzo (CPUE).

En el caso del Golfo de California, se ha propuesto la existencia de un centro de producción intensa (BAC) en la región de las Grandes Islas, donde por diversos mecanismos (esencialmente topográficos) las sales nutritivas limitantes de la producción son repuestas constantemente, lo cual origina alta producción primaria. La dispersión, la depredación y la migración activa hacen que la materia orgánica y los organismos vivos acaben siendo dispersadas horizontal y verticalmente desde los centros de producción intensa. Este centro de producción puede ser considerado como unidad de exportación, donde la materia orgánica es sintetizada. Esta dispersión se debe en parte al ambiente físico a través de diversos mecanismos como las corrientes, la sedimentación, etc., los que al conjuntarse con factores tales como migraciones verticales diurnas o estacionales, aceleran el paso de la materia a través de varios eslabones de la red alimentaria en el proceso. Un componente biótico importante dentro del análisis de este ecosistema lo constituyen las especies bentónicas que alcanzan biomásas altas como lo es el camarón, debido a que por ser organismos detritófagos constituyen elementos que reincorporan materia orgánica hacia las tramas tróficas, por lo tanto en zonas con alta abundancia de estas especies se esperaría una lluvia importante de materia orgánica de la columna de agua hacia el fondo, e igualmente se esperaría que cambios en las intensidades de ese BAC afectarían las abundancias del camarón, mediante modificaciones en la disponibilidad alimenticia, lo que a su vez repercutiría en la energía disponible para crecimiento, reproducción, metabolismo basal, etc.

Estos hechos abren líneas de investigación sobre el papel que juega el medio ambiente sobre organismos de ciclo de vida corto como el camarón.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo proporcionado por el proyecto RM-6 del CIBNOR, S.C., así como la ayuda técnica de Carlos Pacheco Ayub y Edgar Alcántara Razo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alonso-Alemán, M.N. 1989. Aplicación de un modelo bioeconómico al estudio de la pesquería de camarón azul en Puerto Peñasco, Sonora. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. 52 p.
- Anónimo, 1982. La pesquería de camarón del Pacífico (diagnosis monográfica de los conocimientos existentes). Secretaria de Pesca, CICIMAR, DGINP, CICTUS, UAS. Cocoyoc, Morelos.
- Anónimo, 1995. Indicadores de la producción pesquera. Dirección General de Estadística e Informática, SEMARNAP. 20 p.
- Arena-Fuentes, P. & J.A. Díaz-de-León-Corral. 1997. How to achieve sustainable fisheries development in a developing country: The case of México, 586-592. En: Hancock, D.A., D.C. Smith, A. Grant & J.P. Beumer (Eds.). Developing and sustaining world fisheries resources. The state of science and management. 2nd World Fisheries congress CSIRO Australia.
- Deering, M.J., D.R. Fielder & D.R. Hewitt. 1995. Effects of temperature on growth and protein assimilation in juvenile leader prawn *Penaeus monodon*. J. World Aquacult. Soc., 26 (4): 465-468.
- Del-Valle-Lucero, I. 1989. Estrategia de producción y explotación en una laguna costera de México. Tesis de Doctorado. Universidad Politécnica de Cataluña, España. 265 p.
- Ehrhardt, N.M. & C. M. Legault. 1999. Pink shrimp *Farfatepenaeus durorarum*, recruitment variability as an indicator of Florida Bay Dynamics. Estuaries. 22(2B): 471-483.
- Ferreira, H. 1965. Notas sobre la historia de la pesquería comercial de camarón en el Pacífico de México. INIBP, Ser. Div. X (99), 14 p.
- García-de-Quevedo, R. 1990. Determinación de algunos parámetros poblacionales y producción máxima sostenible del camarón azul (*Penaeus stylirostris*, Stimpson, 1881) en el Alto Golfo de California. Tesis de licenciatura. Departamento de Biología Marina. Universidad Autónoma de Baja California. 59 p.
- García, S. 1984. A note on environmental aspects of penaeid shrimp biology and dynamics, 268-271. En: Gulland, J.A. & B.J. Rothschild (Eds.). Penaeus shrimp. Their biology and management. Fishing News Books.

- García, S. 1984. Stock-recruitment relationship and the precautionary approach to management of tropical shrimp fisheries. Mar. Freshwater Res., (47):43-58.
- García, S. 1988. Tropical penaeid prawns, 219-249. En: Gulland, J.A. (Ed.). Fish populations dynamics. John Wiley & Sons, Ltd.
- García, S. & Le Reste. 1987. Ciclos vitales, dinámica, explotación y ordenación de las poblaciones de camarones peneidos costeros. FAO. Documento Técnico de Pesca No. 203.
- Glantz, H.M. 1996. Currents of change. El Niños impact on climate and society. Cambridge University Press. 194 p.
- Gracia, A. 1989. Ecología y pesquería de camarón blanco *Penaeus setiferus* 1767 en la Laguna de Términos-Sonda de Campeche. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias, UNAM, México. 127 p.
- Leal-Gaxiola, A. 1999. Variabilidad interanual en el periodo reproductivo de camarón café *Penaeus californiensis* en Sonora. Tesis de Licenciatura en Biología Pesquera. Ciencias del Mar UAS.
- Lluch-Belda, D. 1974. La pesquería de camarón de altamar en el Noroeste. Un análisis biológico-pesquero. Inst. Nal. Pesca. México: sc/9:76 p.
- Lluch-Belda, D. 1977. Diagnóstico, modelo y régimen óptimo de la pesquería de camarón de altamar del Noroeste de México. Instituto Politécnico Nacional. Tesis de Doctorado. 430 p.
- Magallón-Barajas, F. 1987. The Pacific Shrimp Fishery of Mexico. CalCOFI Rep. (28):47-52.
- Márquez-Tiburcio, M.A. 1976. Captura y esfuerzo en pesquerías de camarón de aguas interiores (bahía Guásimas y Lobos, Sonora), 47-54. En: Memorias del Simposio sobre Biología y Dinámica Poblacional de Camarones. Guaymas, Sonora.
- Méndez-Tenorio, F. J. Aspectos relativos a la madurez gonádica en camarón de altamar en las costas de Sonora y Baja California, 230-244. En: Memorias del primer intercambio académico sobre investigaciones en el Mar de Cortes. Hermosillo, Sonora.
- Montemayor, L.G. 1986. Análisis de la distribución de tallas en *Penaeus californiensis* y *P. stylirostris* para la temporada 1985-1986 en el Golfo de California, 245-262. En: Memorias del primer intercambio académico sobre investigaciones en el Mar de Cortes. Hermosillo, Sonora.
- Penn, J.W. & N. Caputi. 1985. Stock-recruitment relationship for the tiger prawn, *Penaeus esculentus*, fishery in Exmouth Gulf, Western Australia, and their implications for management, 167-173. En: Rothlisberg, P.C., B.J. Hill & D.J. Staples (Eds.). Second Australian National Praw Seminar.
- Ponce-Palafox, J., C.A. Martínez-Palacios & L.G. Ross. 1997. The effects of

- salinity and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp *Penaeus vannamei*, Boone 1931. Aquaculture (157):107-115.
- Rodríguez-de-la-Cruz, M.C. & E. Chávez. 1994. La Pesquería de camarón en altamar, Pacífico de México. Documento editado como conmemoración del XXX aniversario del INP. Secretaria de Pesca. 37 p.
- Rodríguez-de-la-Cruz, M.C. 1976. Fundamentos y consideraciones para definir la temporada de veda en alta mar, para el camarón del Pacífico Mexicano durante 1978. Departamento de Pesca. Instituto Nacional de la Pesca, México. 17 p.
- Ross-Terrazas, M.A. 1988. Evaluación poblacional de dos especies de camarón que sostienen la pesquería de altamar en el norte y centro del Golfo de California. Tesis de Licenciatura. Departamento de Biología Marina. UABCS. 70 p.
- Soto-Mardones, L., S.G. Marinone & A. Parés-Sierra. 1999. Variabilidad espaciotemporal de la temperatura superficial del mar en el Golfo de California. Ciencias Marinas, 25(1):1-30.
- Valverde, P.F. 1986. Distribución batimétrica de desove y reclutamiento del camarón azul (*Penaeus stylirostris*) y camarón café (*P. californiensis*) en el Golfo de California durante la temporada 1985-86, 340-345. En: Memorias del primer intercambio académico sobre investigaciones en el Mar de Cortes. Hermosillo, Sonora.
- Villela, M.J., P.A.S. Costa & J.L. Valentin 1997. Growth and mortality of juvenile red-spotted shrimp (*Penaeus brasiliensis* Latreille, 1817) in the Araruama lagoon, Río de Janeiro. Rev. Bras. Biol., 57(3):487-499.

# 21

## LA PESQUERÍA DE CALAMAR GIGANTE EN BAJA CALIFORNIA SUR: INTERACCIÓN ENTRE FLUCTUACIONES DEL RECURSO, INDUSTRIA PROCESADORA, ECONOMÍA Y SOCIEDAD

*Saúl Sánchez-Hernández<sup>1</sup>, Germán Ponce-Díaz<sup>2,3</sup> & Sergio  
Hernández-Vázquez<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, B.C.S. E-mail: sanchez@uabcs.mx <sup>2</sup> Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Pesquerías. La Paz, B.C.S. <sup>3</sup> Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas - IPN / La Paz, B.C.S.

### RESUMEN

El presente trabajo analiza la información sobre la industria calamarera instalada en B.C.S., así como los indicadores de crecimiento en la pesquería y sus impactos económicos y sociales en la región donde opera. La pesquería de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en Santa Rosalía, B.C.S., en el litoral del Golfo de California, comienza en 1974, aumentando la producción año con año hasta alcanzar las 22,464 toneladas en 1980. Dos años más tarde el recurso desaparece, sin que hasta la fecha exista una explicación convincente ante dicho fenómeno. A partir de 1989, el recurso vuelve a presentarse en cantidades significativas aumentando nuevamente año con año hasta las 83,000 toneladas en la temporada 1997. El incremento en la producción del recurso, y la creciente demanda internacional de productos elaborados a base de calamar, han sido factores detonantes para identificar a la industrialización del calamar como una oportunidad de inversión. Esta situación ha motivado la instalación y reconversión de 16 plantas calamareras en la entidad, lo que representa el 35% de la planta industrial pesquera de B.C.S. Dicho crecimiento industrial ha generado importantes beneficios económicos y sociales, entre los que destacan: valor de la producción industrial de 53 millones de dólares; significativo impacto en actividades pesqueras comerciales del país (45 y 35 millones de dólares en 1996 y 1997, respectivamente por exportación de calamar); generación de más de 2,000 empleos directos y 2,000 indirectos, etc. Sin embargo, a pesar de los beneficios que ha generado esta industria, la actividad como una oportunidad de inversión se considera altamente riesgosa, debido principalmente a las

elevadas fluctuaciones en abundancia y disponibilidad que presenta el recurso. Es por esto que se recomienda fortalecer el análisis de las fluctuaciones del recurso y vincularlo con el desempeño de otras fases de la pesquería, dado el gran impacto que la actividad muestra en la economía y desarrollo social de la región.

**Palabras clave:** Calamar gigante, Industria pesquera, Economía pesquera.

### ABSTRACT

The present work analyzes the information on the squid industry installed in B.C.S., as well as the fishery's growth indicators, and their economic and social impacts in the region were operates. The giant squid fishery (*Dosidicus gigas*) at Santa Rosalia, B.C.S., on the Gulf of California coast starts in 1974, increasing its production year by year to reach 22464 tons in 1980. Two years later the resource disappears, without convincing explanation up to date for that phenomenon. Since 1989 the resource is present again in significant quantities increasing again year by year to 83000 tons in the 1997 season. The increase in the production of the resource and the increasing international demand for products based on squid have been starting factors to identify squid industrialization as an investment opportunity. This situation has motivated the installation and conversion of 16 squid facilities in the state representing 35% of the B.C.S. fishing industry facilities. Such industry growth has generated important economic and social benefits, among which stand: a 53 million U.S. dollars industry production value; significant impact on the commercial fishing activities of the country (45 and 35 million U.S. dollars in 1996 and 1997, respectively as squid exports); generation of 2000 direct employment and 2000 indirect, etc. However, in spite of the benefits this industry has generated the activity as an opportunity for investment is considered as highly risky, due mainly to the high fluctuations in abundance and availability the resource presents. Therefore it is recommended to strengthen the analysis of resource fluctuations and link it to the behavior of other phases of the fishery because the large impact the activity has on the regional economy and social development.

**Key words:** Giant squid, Fisheries industry, Fisheries economy.

### INTRODUCCIÓN

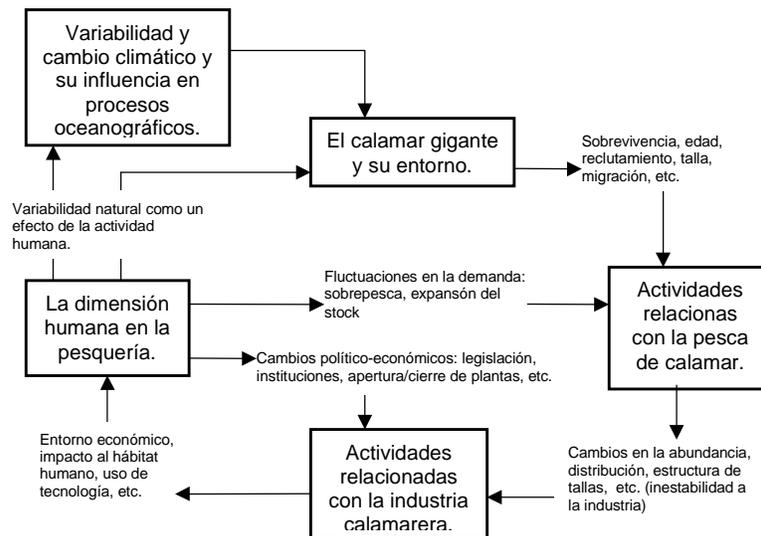
En forma tradicional y a través de muchos siglos, los calamares han significado una importante fuente alimenticia para los países que bordean el Mar Mediterráneo y las regiones costeras del lejano Oriente, donde constituyen productos de consumo humano directo desde hace más de dos mil años (Klett, 1981). Los calamares de importancia comercial en el Pacífico mexicano incluyen tres especies de loliginidos (*Loligo opalescens*, *Loliolopsis diomedae* y *Lolliguncula panamensis*) y dos de calamares omastréfidos (*Dosidicus gigas* y *Symplectoteuthis oulaniensis*), siendo el calamar gigante *Dosidicus gigas* la única especie reconocida como objeto de explotación comercial en Baja

California Sur (Voss, 1976; en Klett, 1996).

En el ámbito del sector pesquero en Baja California Sur, una de las actividades que más ha llamado la atención en los últimos años ha sido, sin duda, la pesquería del calamar gigante; ya que a partir de la temporada 1993 y hasta la de 1997, las capturas del recurso se incrementaron en forma considerable. Esta situación, aunada a una alta demanda de productos a base de calamar en el mercado oriental, motivaron un aumento en la capacidad de transformación del recurso, generando con ello que la actual planta industrial calamarera tenga un fuerte impacto en el sector industrial pesquero a nivel estatal y regional. No obstante, este creciente interés por la industrialización del calamar gigante, requiere de un conocimiento más completo sobre el comportamiento poblacional de la especie y los elementos que en su cadena productiva intervienen para considerarla como un recurso alimenticio y de desarrollo económico y social de largo plazo.

De acuerdo con lo anterior, Troadec (1984) menciona que considerando a la pesquería de un recurso como una actividad para el desarrollo económico de un país, conviene percatarse de las peculiaridades de la actividad, no sólo en su fase de captura, sino también en lo concerniente a las condiciones de la propia naturaleza de los recursos y todos aquellos elementos que convergen a lo largo de la cadena productiva para su total aprovechamiento.

Bajo esta perspectiva, en el presente trabajo se analizan las interacciones que, dentro de la pesquería de calamar gigante en Baja California Sur, tienen lugar entre fluctuaciones del recurso, industria procesadora, economía y sociedad; interacciones que se esquematizan en la Figura 1.

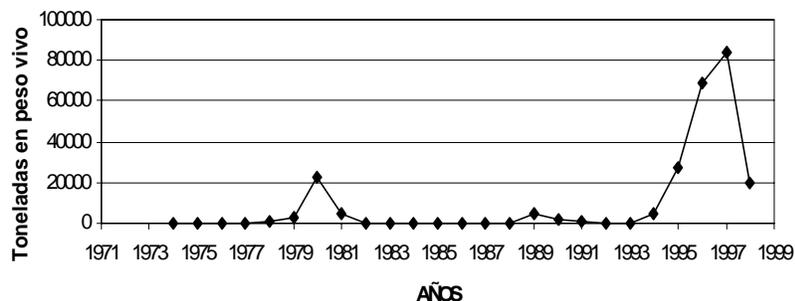


**Figura 1.** Interacciones entre fluctuaciones del recurso, industria procesadora, economía y sociedad dentro de la pesquería de calamar gigante.

## ANTECEDENTES DE LA PESCA DE CALAMAR

Ehrhardt, *et al.* (1982b) mencionan que la pesquería de calamar gigante en el Golfo de California, comienza en 1974 con una producción de 14 toneladas, obtenida por la operación de una pequeña flota artesanal. Seis años después, la flota dedicada a la captura de calamar en las costas del Golfo de California se integraba por 15 buques calamareros, 10 huachinangueros, 200 camareros (que operaban durante la veda del camarón) y alrededor de 60 pangas, elevándose la producción a 22,464 toneladas, de tal forma que entre 1978 y 1980 la pesquería de calamar pasó de ser una actividad artesanal, en manos de cooperativas, permisionarios y pescadores libres, a una pesquería tecnificada impulsada básicamente por el sector empresarial, el cual se integraba en su mayoría por compañías de coinversión, que incorporaron barcos calamareros dotados de alta tecnología de captura y con capacidad de procesar el producto a bordo (Klett, 1981).

Posteriormente, la producción total de calamar decayó a poco más de 11,000 toneladas y prácticamente desapareció en 1982. El porqué de su desaparición no ha tenido una explicación convincente y suficiente. Las causas pueden estar relacionadas con un efecto de sobreexplotación o con una modificación en el comportamiento migratorio de la especie, asociados a cambios en el ambiente, o a ambas (Ehrhardt *et al.*, 1982b; Klett, 1996; Ramírez & Klett, 1985). Después del colapso de la pesquería de 1982, Klett (1996), destaca que sólo subsistieron algunas cooperativas y permisionarios libres que aprovecharon el recurso, a nivel artesanal, cuando éste se encontraba accesible en sus áreas tradicionales de pesca y en la medida en que pudieron encontrar mercado para el producto, de modo que de 1982 a 1988 excepto por un corto período durante 1985, el recurso no llegó a presentarse frente a las costas de la península en magnitudes de mayor consideración. Sin embargo, el mismo autor refiere que a partir de 1994 el recurso ha vuelto a presentarse en cantidades considerables en las costas de Santa Rosalía, Baja California Sur, lo cual puede apreciarse en la Figura 2 donde se muestra la serie histórica de producción de calamar en la entidad, resurgiendo con ello el interés por aprovechar el recurso a escala industrial.



**Figura 2.** Serie histórica de producción de calamar gigante en Baja California Sur. (Fuente: SEMARNAP, 1998).

Asímismo, Morales & Nevárez (1997), afirman que también en el estado de Sonora recientemente se han incrementado las capturas de calamar gigante, reportándose un volumen de aproximadamente 10,000 toneladas métricas en la temporada 1995, participando en esta producción tanto la flota menor (pangas con motor fuera de borda) como la mayor (barcos camaroneros adaptados para la pesca de calamar gigante). Estos incrementos importantes en las capturas de calamar gigante, han ocasionado que una parte de la industria pesquera de los estados de Sonora, Baja California Sur y Sinaloa tengan incentivos para incorporarse a la industrialización del recurso.

### **ANTECEDENTES DE LA INDUSTRIA CALAMARERA EN BAJA CALIFORNIA SUR**

En los primeros años de explotación del calamar gigante en Baja California Sur, la captura del recurso se caracterizó por una alta capacidad de pesca fundamentalmente por parte de grandes empresas de coinversión, las cuales contaron con embarcaciones altamente tecnificadas, tanto para la ecolocalización y explotación del recurso, como para la adecuada conservación y procesamiento del mismo. Dichas empresas inician sus actividades a principios de febrero de 1980 para cerrar la temporada en el mes de noviembre del mismo año, alcanzando el máximo de producción en el mes de julio. A consecuencia de que entre 1982 y 1988 el recurso no se presentó frente a las costas de la península en grandes cantidades, la industria procesadora permaneció prácticamente inactiva (Klett, 1996).

Los crecientes volúmenes de captura de calamar a partir de 1994 y la demanda insatisfecha de productos elaborados a partir de este recurso, principalmente en mercados de exportación, motivaron la realización y puesta en marcha de un considerable número de proyectos para el procesamiento de calamar en la entidad, de tal forma que FIRA-FOPESCA, institución crediticia de la banca de desarrollo, a partir de 1994 comenzó a atender solicitudes de crédito para la instalación y/o reconversión de plantas calamareras. Estos proyectos incluyeron la instalación de plantas procesadoras 100% calamareras, así como adaptaciones para el proceso del calamar en las líneas de producción de las plantas ya existentes, localizándose la mayoría de ellas en las localidades de Santa Rosalía, Loreto y Ciudad Constitución (Sánchez, 1998).

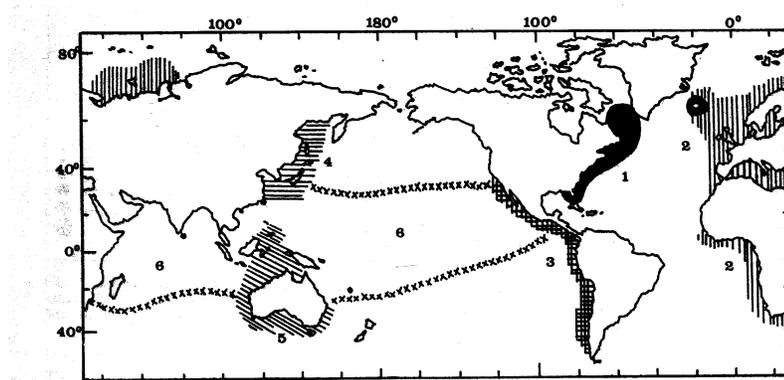
La SEMARNAP en su anuario estadístico de pesca de 1997, reporta 47 plantas procesadoras de productos marinos instaladas en Baja California Sur. Al respecto, diversos autores (Rojas, 1996; Anónimo, 1997b; Sánchez, 1998) coinciden en que, de dicha planta industrial, 16 procesadoras se dedican a la transformación del calamar, siendo nueve de ellas 100% calamareras, y las siete restantes cuentan además con otras líneas de proceso. De tal forma que las nueve plantas industriales dedicadas a procesar únicamente calamar se aproximan al 20% de la industria pesquera en Baja California Sur, mientras que casi el 15% de esta planta industrial pesquera, eventualmente dedica su actividad al proceso del calamar; es decir, la industria calamarera de Baja California Sur representa el 35% de la planta industrial pesquera de la entidad.

Es de importancia destacar que, de acuerdo con Sánchez (1998), las principales líneas de proceso con que cuenta la industria calamarera de Baja California Sur son daruma (manto de calamar cocido y sazonado) y fresco-congelado, incluyéndose en menor escala de producción tres plantas con líneas de secado, de las cuales una es a nivel piloto. Partiendo del hecho de que la daruma y el manto fresco-congelado son productos que se someten a congelación, en el anuario estadístico de pesca (SEMARNAP, 1997) se apunta que en Baja California Sur hay instaladas 27 plantas congeladoras de productos pesqueros, es decir, el 58% de la industria pesquera estatal, por lo que puede inferirse que el 60% de éstas, lo conforman las 16 plantas procesadoras de calamar.

Considerando las fuentes que ha utilizado la industria calamarera de Baja California Sur para financiar ya sea su instalación y/o su operación, se estima que durante el período 1994-1998, el 53% del financiamiento a esta industria, provino de los recursos propios de cada unidad productiva, mientras que las fuentes externas, como lo son la banca de desarrollo, la banca comercial y la Secretaría de Desarrollo y Fomento Económico del Estado de Baja California Sur, aportaron el 47% del financiamiento en el período que se menciona (Sánchez, 1998).

### LAS ÁREAS DE PRODUCCIÓN Y DINÁMICA DEL RECURSO

La distribución general de *Dosidicus gigas* se ubica en el Pacífico oriental, entre los 36° latitud norte y los 26° latitud sur, desde las costas de California en Estados Unidos a las del norte de Chile (Fig. 3). En cuanto a su distribución vertical, la especie ocupa el espacio comprendido entre la superficie y los 150 metros de profundidad, observándose una tendencia a aparecer en aguas superficiales, hasta los 100 metros de profundidad durante la noche, especialmente durante la fase de luna nueva (Klett, 1981).



**Figura 3.** Distribución mundial de seis especies de calamares omastrefidos (según Suda, 1973. En Ehrhardt, et al., 1986) 1) *Illex illecebrosus*, 2) *Todarodes sagittatus*, 3) *Dosidicus gigas*, 4) *Todarodes pacificus*, 5) *Nototodaros sloan gouldi*, 6) *Symplectoteuthis oualanensis*.

Ehrhardt, *et al.* (1986), mencionan que *Dosidicus gigas* es una especie oceánica y migratoria que llega a formar grandes agrupaciones en zonas neríticas, que ocasionalmente son arrojadas a las playas en cantidades considerables. Su distribución parece estar asociada con zonas de surgencias, ricas en nutrientes, que sostienen especies pelágicas menores que conforman su dieta básica; y a la vez es presa de organismos mayores, que ocupan los niveles terciarios y cuaternarios en la escala de consumidores, entre estos destacan los pelágicos mayores como son el atún, barrilete, dorado, sierra, jurel, tiburones, lobos marinos y delfines (Klett, 1981). Sobre este tipo de zonas, Bakun & Csirke (1998) apuntan que los calamares del género *Illex* son similares a algunos pelágicos menores, ya que su hábitat favorable para la reproducción está asociado con una combinación de tres clases de factores ambientales: 1) sitios enriquecidos de alimento por procesos físicos, 2) facilidad para concentrar y acumular grandes cantidades de alimento; 3) mecanismos de flujo que favorecen a una población para mantenerse a sí misma, a través de respuestas adaptativas en medios de continuo movimiento. Este tipo de mecanismos, se ha considerado que ocurren en el Centro de Actividad Biológica del Golfo de California (BAC del Golfo) lo que permite una alta producción y concentración de recursos biológicos desproporcionadamente altos en relación a las aguas adyacentes.

Por otra parte, Ehrhardt *et al.* (1982b), apuntan que el calamar gigante se distribuye generalmente en un rango de temperaturas de 16°C a 30°C aproximadamente, dependiendo de la profundidad a la que se encuentre. Al norte, y frente a las costas de Santa Rosalía, se presentan durante el verano, temperaturas superficiales dentro del rango estimado para la distribución de calamar, siendo ésta la zona considerada como la principal área de captura del recurso. Esto no significa necesariamente que el recurso no se distribuya en otras áreas donde la captura sea menor en relación al área principal. Ello puede deberse a los hábitos migratorios de la especie y a la presencia de masas de agua con temperaturas dentro del rango estimado. De acuerdo con esto, los mismos autores mencionan que calamares loliginidos y omastreífididos llevan a cabo extensas migraciones estacionales que están en gran medida gobernadas por las temperaturas del agua.

Respecto a la naturaleza migratoria de la especie, Klett (1981) ha destacado la dificultad por tener un cuadro bien delimitado de su distribución espacial y temporal en forma simultánea para el total de las áreas de ocurrencia, debido a la extensión que es necesario cubrir en periodos muy cortos de tiempo, y a la variación de los parámetros ambientales que afectan en gran medida la aparición de los organismos en diversas áreas de distribución. Asimismo, el autor refiere que la especie se encuentra frecuentemente asociada a ambientes insulares y presenta migraciones cíclicas hacia zonas costeras, tendiendo a cumplir sus necesidades reproductivas sobre el talud continental de las mismas.

Sobre un posible patrón de migración de la especie Klett (1981), basándose en una secuencia estacional de los índices de captura y tallas de los organismos capturados durante un crucero de investigación en la zona del Golfo de California, menciona que durante la primavera los calamares inician su

desplazamiento hacia zonas costeras, encontrándose aún sobre aguas profundas, pero concentrándose cada vez más frente a las costas de Guaymas en Sonora y Santa Rosalía, Bahía Concepción y Loreto, en Baja California Sur. Llegado el verano ocurre la máxima concentración del recurso, encontrándose principalmente frente a las costas del puerto de Santa Rosalía y Loreto, aparentemente buscando ambientes insulares con taludes continentales pronunciados que muy probablemente desempeñan un papel favorable para su reproducción. Durante el otoño las capturas empiezan a disminuir, esto se debe a la gradual dispersión del recurso una vez que completa sus funciones reproductoras, moviéndose hacia el centro y el exterior del Golfo de California, para iniciar su migración de retorno hacia las aguas de tipo oceánico (Fig. 4). Asimismo, con base en este patrón de migración que propone el autor, fue posible determinar las áreas de mayor producción del recurso, destacándose Santa Rosalía y la Isla de San Marcos, en la que la época de mayor producción

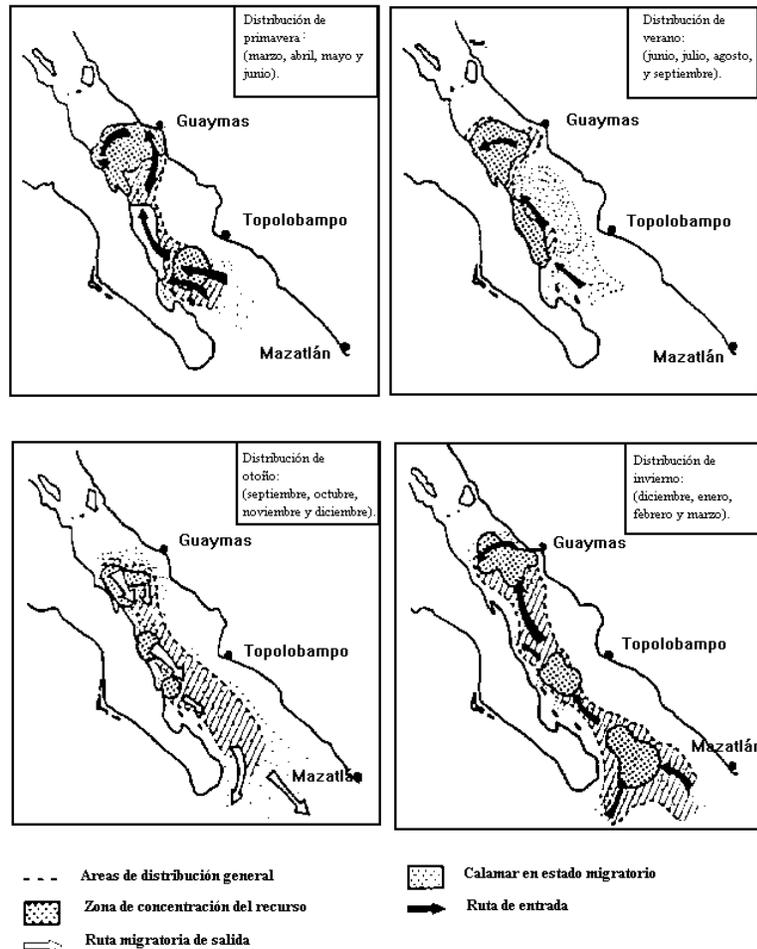


Figura 4. Patrón de migración del calamar gigante propuesto por Klett (1981).

corresponde al verano. La zona al norte y noreste de Santa Rosalía e Isla Tortugas, tiene una elevada productividad, principalmente durante la primavera y el verano. La zona hacia el oeste y noreste del Puerto de Guaymas, Sonora, alcanza su máxima productividad durante el invierno y la primavera.

En lo concerniente a las fluctuaciones del recurso, Morales (1997), apunta que *Dosidicus gigas* presenta altas fluctuaciones a corto plazo en sus niveles de abundancia, ocasionadas posiblemente por cambios en el reclutamiento o movimientos migratorios influenciados por la variabilidad ambiental, lo cual aumenta el riesgo y la incertidumbre en el manejo y administración del recurso. Asimismo, afirma que las fluctuaciones en la biomasa y capturas del calamar gigante dependen totalmente del reclutamiento inicial del recurso el cual se ha estimado que en el caso del calamar el reclutamiento sucede a los seis meses de edad permaneciendo en promedio año y medio dentro de la pesquería. Al respecto, Ehrhardt, *et al.* (1982a) destacan que las tasas de mortalidad natural para *Dosidicus gigas* deben ser considerablemente altas debido, entre otros, a los siguientes factores: 1) la longevidad, en la mayoría de los casos no debe sobrepasar los dos años; 2) es una especie que, como la mayoría de los cefalópodos, se encuentra a niveles tróficos intermedios sufriendo por lo tanto altas tasas de depredación, especialmente durante los estadios de vida juvenil; y 3) se ha observado la existencia de un pronunciado canibalismo en la especie, común también en otras varias especies de cefalópodos.

### **LA DIMENSIÓN HUMANA DENTRO DE LA PESQUERÍA DE CALAMAR**

Los ambientes marinos, estuarios, lagos y ríos, así como sus recursos pesqueros que en ellos se encuentran, son utilizados por gente de diferente nacionalidad, raza, estrato social, cultura, preferencia, estilo de vida y por grupos con diferencias políticas, económicas y filosóficas. Cada uno de estos grupos de gente derivan diferentes beneficios del uso de dichos recursos y cada uno tiene diferentes preferencias concernientes al uso que les darán; de tal forma que en una pesquería uno de los principales y más dinámicos de sus componentes, es la gente involucrada en ella (directa o indirectamente) y su comportamiento. Podría pensarse que el propósito de cualquier pescador es proveer alimento a su familia, comerciar con su producción o recrearse con la actividad. Cada pescador produce una mezcla de beneficios que van más allá de cualquier simple categorización de subsistencia, comercio o recreación. En este sentido, el comportamiento de estos individuos no sólo involucra los procesos que contribuyen a la extracción o uso de los recursos pesqueros, sino que va más allá de los propios pescadores, quienes son los que extraen a los organismos de su hábitat. Estos pescadores sólo son una pequeña parte del total de la gente involucrada en una pesquería. Como un ejemplo, para un pescador comercial, existen dentro de su actividad diferentes grupos de personas, quienes igualmente forman parte de la dimensión humana de una pesquería: su familia, su comunidad, sus compañeros de pesca, los distribuidores y comerciantes de su producto y los consumidores del mismo. (Orbach, 1980).

Partiendo del significado de la dimensión humana en las pesquerías, para el caso específico que aquí se estudia, el componente humano lo conforman no sólo los pescadores de calamar y empresarios dueños de plantas procesadoras, sino también la gente que vive en la región y se ha dedicado a satisfacer necesidades que son producto de la actividad calamarera en general, como lo son venta de comida preparada, alojamiento, reparación de embarcaciones, servicios técnicos de electricidad, refrigeración, etc.

En este orden de ideas, Troadec (1984), destaca que la movilidad de gran parte de los recursos pesqueros impide en la práctica privatizar su explotación asignando a cada operador determinadas fracciones del recurso; esta singularidad coloca a los pescadores en una situación de acceso abierto y permanente para obtener la renta económica neta resultante de su actividad. Si esta competencia no puede dominarse, lleva primeramente a inversiones y, de ahí al despilfarro progresivo de los beneficios netos terminando luego en la sobreexplotación biológica de los recursos. Es decir, el fenómeno de la sobrepesca se descompone en tres elementos distintos, uno de carácter económico, que deriva del empleo de un capital y de una mano de obra excesiva, lo que lleva consigo al desperdicio de los beneficios económicos en potencia; y otros dos de carácter biológico, una baja de producción de las clases anuales ya reclutadas debida a una pesca demasiado intensiva para el conjunto de la fase explotada de la población, que puede hallarse demasiado concentrada en las piezas juveniles, y el descenso del reclutamiento medio por la explotación y reducción excesiva de la población reproductora.

Es evidente que la necesidad de limitar o reducir la extracción de cualquier recurso pesquero, afectará directamente las posibilidades de empleo de aquel sector poblacional que se dedica a la pesca. Sobre este hecho, puede afirmarse que la importancia de analizar las fluctuaciones de los niveles de producción en una pesquería en función de las variaciones del esfuerzo pesquero, obedece a que este factor es el parámetro principal de la explotación que puede controlar directamente el hombre, pero que a la vez, invariablemente repercutirá en los ingresos individuales de la población dedicada a la pesca del recurso. Al respecto, Troadec (1984) apunta que debido a esta situación, la creación de empleos y el mejoramiento del ingreso individual de la gente dedicada a la pesca, se hallan en conflicto directo con las medidas de regulación pesquera, ya que en todas las pesquerías, el nivel de explotación está influido por el ingreso individual mínimo aceptable, a pesar de la existencia de otras posibilidades de empleo que se hayan al margen del sector pesquero. De tal suerte que, el mejor medio, y tal vez el único, de mejorar el ingreso individual de los pescadores parece radicar en la creación de empleo al margen del sector pesquero, siempre y cuando se procure invertir las corrientes de mano de obra entre este sector y otros sectores económicos de importancia en la región.

De acuerdo con lo anterior, en las regiones de Baja California Sur donde se acentúa la actividad calamarera, se ha observado que la pesca y procesamiento del recurso, han generado una serie de necesidades al margen de la actividad, de tal forma que la población de dichas zonas ha identificado oportunidades de

ingresos económicos, que inclusive llegan a superar sus expectativas, a través del desempeño de diversas tareas, que van desde la simple preparación y venta de comida casera en las zonas de arribo en la playa y modestas fondas, hasta el desempeño de un oficio a nivel técnico. Este sector del componente humano es muy importante, no sólo por el papel que desempeña al satisfacer ciertas necesidades, sino incluso, porque ha demostrado ser capaz de generar empleos conexos a ellos mismos, como son ayudantes generales en tiendas de abarrotes, talleres, restaurantes y hoteles, mensajeros, transportistas, etc., y contribuir con ello a una marcada activación de la economía regional durante la temporada del calamar. De tal suerte que se puede prever que cualquier cambio en el sistema de explotación del recurso en cuestión, a través de un régimen de administración o fuera de él, afectará las vidas de los individuos de la región.

Ahora bien, en lo concerniente a la población empleada en la industria calamarera, los habitantes de las zonas donde se acentúa la actividad, se han favorecido con diversas alternativas de empleo directamente en plantas procesadoras, situación que tiene lugar dadas las características del proceso a que se somete el calamar. Esta industria no requiere mano de obra altamente calificada o especializada, por lo que cuenta con la posibilidad de acceder a mano de obra de bajo costo, la cual se encuentra disponible en la región, e incluso, tiene la posibilidad, si así lo requiere, de realizar contrataciones de gente proveniente de los estados de Sonora y Sinaloa por temporadas de pesca. En cuanto a la necesidad de contratar técnicos que se encarguen de coordinar los trabajos que se realizan en la nave principal de proceso, estos son elegidos por las empresas de acuerdo a su experiencia laboral en las líneas de producción y sólo algunas empresas contemplan la capacitación de este personal. Para cubrir las necesidades de personal administrativo, las empresas calamareras en operación contratan básicamente a secretarías y personal de contabilidad, quienes se encargan del control de facturas, nóminas, atención a clientes y proveedores, etc.

Finalmente, pero no por ello menos importante, otro aspecto dentro del estudio de la dimensión humana de una pesquería, es el análisis de dos sistemas: el humano y el ambiental, los cuales confluyen en dos lugares: donde las acciones humanas son las causas próximas al cambio ambiental y donde el cambio ambiental directamente afecta la actividad humana (Stern *et al.*, 1992).

Debido a que los sistemas humanos incluyen economías, poblaciones, culturas, gobiernos, organizaciones que eligen y desarrollan tecnología, etc., la mayoría de las actividades humanas tienen algún potencial relevante para generar cambios en el ambiente, lo que puede derivar en alteraciones en el hábitat de los recursos pesqueros, entre un sin número de efectos negativos, no sólo al ambiente acuático, sino también al terrestre y climático en general. En este sentido, Stern *et al.* (1992) subrayan que la importancia de estudiar la dimensión humana en el cambio global, estriba en el entendimiento de las interacciones entre sistemas humanos y sistemas ambientales, que tienen un efecto en el cambio global; y en el entendimiento de los aspectos de los sistemas humanos que afectan estas interacciones, y de aquellos en los que se observa una

variabilidad climática natural no inducida, es decir, que no es debida a los sistemas humanos.

### **IMPACTO DE LA ACTIVIDAD EN LA ECONOMÍA**

En lo referente a la producción pesquera estatal, las capturas de calamar gigante han incrementado su participación en forma notable, pasando del 4.27% en 1994 hasta el 41.6% en 1997. Asimismo, este incremento en la participación de las capturas de calamar, también se vio reflejado a nivel nacional, de tal forma que Baja California Sur en las temporadas 1994 y 1996 participó con más del 80% de la producción nacional de calamar en cada año, mientras que en las temporadas de 1995 y 1997, lo hizo con más del 60% por cada temporada (Sánchez, 1998).

En relación al valor de la producción de la actividad pesquera en Baja California Sur, en los Anuarios de Pesca de la SEMARNAP (1994, 1995 y 1996) se reporta que la pesca de calamar en el período de 1994 a 1996 aumentó significativamente su participación en el valor de la producción total estatal. Dichos documentos reportan que en 1994 el valor de la producción de calamar fue de casi 7 millones de pesos lo que representó el 3% del valor total de la producción pesquera del estado. En la temporada siguiente, el valor de la producción de calamar rebasó los 48 millones de pesos, es decir el 16.25% del valor total de la producción pesquera. Para 1996 la derrama económica por captura de calamar alcanzó poco más de 154 millones 500 mil pesos, cubriendo con ello el 33.96% del valor total de la producción pesquera estatal. Sin embargo, considerando que INEGI en los Anuarios Estadísticos de Baja California Sur (1995, 1996) maneja un precio de playa promedio de \$1.78 por kilogramo de manto de calamar y tomando en cuenta los volúmenes oficiales de producción de calamar en Baja California Sur que reporta SEMARNAP en el Anuario de Pesca (1996), se estima que el valor de la producción durante la temporada 1994 fue mayor a 9 millones de pesos, para la temporada 1995 la producción de calamar rebasó el valor de 49 millones de pesos, mientras que en la temporada 1996 el valor de la producción de calamar alcanzo poco más de 123 millones de pesos.

Por otro lado, es de importancia destacar que en el Golfo de California, las ciudades de Santa Rosalía y Loreto, han visto reactivadas sus economías de una manera extraordinaria derivado de la pesquería de calamar, y por consecuencia lógica de la operación de plantas pesqueras que procesan este producto de exportación. Debido a la magnitud de la pesquería de calamar, el proceso de transformación del recurso genera más de 2,000 empleos directos en la industria instalada en Baja California Sur, 2,000 empleos en lo que a captura del recurso se refiere (que ha beneficiado no sólo a familias del estado, sino de la región misma, ya que se ha detectado mano de obra procedente de Sonora, Sinaloa y Baja California), un número indeterminado de empleos indirectos para el mantenimiento de embarcaciones, equipos eléctricos y de refrigeración, además de la expansión de diversos servicios públicos como lo son el suministro de electricidad, comunicaciones y transportes, agua potable y alcantarillado, etc.

(Guzmán, 1996).

Respecto a la producción de calamar procesado, Rojas (1996) con base en los precios de venta en Long Beach, Estados Unidos y considerando que del total de la captura de calamar, un promedio del 80% se destina al proceso de daruma y con el 20% restante se produce manto congelado (fresco-congelado), estimó que el valor de la producción de calamar procesado en Baja California Sur rebasó los 23 y 59 millones de dólares en 1995 y 1996, respectivamente. Para el caso de la temporada 1996, el autor basó sus cálculos en una estimación del volumen de captura del recurso. De acuerdo con las consideraciones de Rojas 1996 en cuanto al tipo de proceso al que se destina la captura de calamar, la producción de manto a partir de la producción total en peso vivo y precios de los productos finales que se muestran en la Tabla 1, Sánchez (1998) estimó el valor de la producción de calamar procesado, partiendo de las cifras de captura que se reportan en los anuarios de pesca 1995, 1996 y 1997. La base de cálculo que aplicó el autor (muy similar a la utilizada por Rojas (1996), en lo que se refiere al porcentaje de captura que se destina a los diferentes procesos) se detalla en la Tabla 2, en la cual se aprecia que el valor de la producción de calamar procesado en Baja California Sur en la temporada 1997 rebasó los 53 millones de dólares. Es de importancia destacar que las cifras calculadas por Sánchez (1998) para 1995 y 1996 varían con respecto a las cifras estimadas por Rojas (1996), debido a que ambos autores utilizaron diferentes datos de producción.

En cuanto al impacto que han tenido las exportaciones de calamar en las actividades comerciales del país, en el documento “El sector pesquero en Corea del Sur” (Anónimo, 1997a), se destaca que desde 1996, México es el principal exportador de calamar sazonado (daruma), ocupando este producto el segundo lugar de las exportaciones mexicanas hacia ese país asiático. En 1996, México exportó al mercado coreano 23,585 toneladas de daruma, equivalentes a 45 millones de dólares, en tanto que a octubre de 1997, las exportaciones de este producto alcanzaban 22,620 toneladas con un valor de 35 millones de dólares, representando el 11.05 y 12.41%, respectivamente, de las exportaciones totales de México a Corea del Sur.

**Tabla 1.** Precios (US dólares/ton) de venta promedio de productos finales en 1996, 1995 y 1997, según información proporcionada por empresarios calamareros (Sánchez, 1998).

<i>Año</i>	<i>Daruma</i>	<i>Manto fresco-congelado</i>	<i>Calamar seco</i>
1995	1,500.00	800.00	*
1996	1,500.00	1,000.00	1,900
1997	1,700.00	1,200.00	2,200

\*La producción a escala industrial comienza a fines de 1996.

**Tabla 2.** Base de cálculo para estimar el valor de la producción de calamar procesado en Baja California Sur (Sánchez, 1998).

	Años		
	1995	1996	1997
Captura total (toneladas)	27,799	69,314	83,871
Producción de manto (70% de la captura total)	19,459.3	48,519.8	58,709.7
Producción de daruma (80% de la captura)	15,567.4	38,815.8	46,967.7
Producción de fresco-congelado (20% de la captura)	3,891.9	9,703.9	11,741.9
Daruma terminada (50% de rendimiento)	7,783.7	19,407.9	23,483.8
Fresco-congelado terminado (93% de rendimiento)	3,619.5	9,024.6	10,919.9
Precio promedio de daruma (dólares por tonelada)	1,500	1,700	1,700
Precio promedio de fresco-congelado (dólares por tonelada)	950	1,000	1,200
Valor de daruma (dólares)	11,675,100	32,993,430	39,922,460
Valor de fresco-congelado (dólares).	3,438,525	9,024,600	13,103,880
Valor total de la producción (dólares)	15,113,625	42,018,030	53,026,340
	23,973,000*	59,291,750*	-----

\*Valor de la producción estimado por Rojas (1997).

## DISCUSIÓN

En la Figura 2 se muestra la serie histórica de la producción de calamar gigante en Baja California Sur, en ella se observan las capturas desde los inicios de la pesquería a escala industrial en 1974, hasta la temporada 1998, siendo la temporada de 1997 la que mayores volúmenes de producción reporta. En la serie, destacan tres repuntes en las capturas del recurso. El primero de estos repuntes se presenta entre 1978 y 1982, siendo 1980 el año de mayor producción con 22,464 toneladas. De 1988 a 1993 tiene lugar el segundo repunte, registrándose la mayor captura en 1989 con un total de 5,079 toneladas. El tercer repunte en las capturas del recurso es entre 1993 y 1998, siendo 1997 el año en el que se ha registrado el mayor volumen de captura con 83,871 toneladas. Considerando

los períodos de repunte, el primero de ellos muestra una amplitud de 3 años, considerando que las temporadas de mayor captura fueron de 1979 a 1981. Bajo este mismo criterio, el segundo y tercer repunte presentan una amplitud de 4 años con altos volúmenes de producción. Para el caso del segundo repunte las temporadas de 1988 a 1991 son las de mayor producción, mientras que para el tercer repunte lo son las temporadas 1994 a 1997. Asimismo, si se consideran a 1980, 1989 y 1997 como los años pico en la producción pesquera del recurso, existe entre cada uno de ellos una diferencia promedio de 8 años.

Considerando las características que se han mencionado en cuanto a los períodos de repunte en las capturas de calamar gigante en Baja California Sur, pudiera pensarse en períodos de pesca rentables, que se presentan a intervalos de tiempo que muestran un posible comportamiento cíclico. Sin embargo, esta aseveración no debe considerarse como definitiva, en cuanto al comportamiento del recurso, ya que para poder afirmar que los volúmenes de captura de calamar gigante presentan un comportamiento cíclico con periodicidades específicas o regulares a través del tiempo, se requiere de un mayor trabajo estadístico basado en la aplicación de metodologías diseñadas para analizar series de tiempo más largas, ya que la proyección de abundancia de una población basada en series históricas cortas, corre el riesgo de ser tanto más errónea cuanto a más largo plazo se proyecte.

Sin duda, los incrementos en las capturas de calamar están asociados con el aumento en el número de embarcaciones registradas para la pesca del recurso y la disponibilidad de la biomasa. Las embarcaciones que se utilizaron para la captura del recurso, se amparaban en un total de 20, 56, 82 y 176 permisos otorgados para las temporadas 94, 95, 96 y 97, respectivamente. En la Tabla 3 se muestran el número de permisos para la pesca de calamar que se emitieron entre 1994 y 1997, así como el número de embarcaciones que son amparadas por los mismos. Si se consideran los incrementos porcentuales aproximados entre 1994 y 1997, tanto en número de embarcaciones como en capturas, se observa que el número de embarcaciones aumento en un 800 %, mientras que las capturas lo hicieron en un 1,600 %, lo que supone una elevada abundancia significativa y/o disponibilidad mayor del recurso en el período de 1994 a 1997.

De acuerdo con lo anterior, debe tenerse en cuenta que en una pesquería unitaria compuesta de una sola especie, explotada por un sólo grupo de

**Tabla 3.** Relación de permisos emitidos y número de embarcaciones amparadas, para la pesca de calamar en Baja California Sur (Departamento de Administración de Pesquerías. SEMARNAP, Delegación de Baja California Sur, La Paz).

Año	Permisos	Embarcaciones amparadas	Producción (toneladas)	Aumento aproximado a partir de 1994	
				Embarcac.	Producción
1994	20	74	5,103	---	---
1995	56	27	27,799	200 %	500 %
1996	82	360	69,314	400 %	1,400 %
1997	176	668	83,871	800 %	1,600 %

pescadores y que utilizan el mismo método pesquero, como es el caso del calamar gigante, las poblaciones de recursos pesqueros pueden ser objeto de capturas substanciales durante largo tiempo; y, aún cuando sea probable que la pesca no haya tenido más que una parte secundaria en el colapso de algunas pesquerías, no es menos verdad que muchos de los colapsos de las pesquerías se han producido durante períodos de explotación intensa. En el caso de que se trate de niveles medianos de explotación, se puede incluso asistir a una elevación del reclutamiento medio, que es una reacción en virtud de la cual la población tiende a compensar la baja de abundancia que deriva de su explotación (Troade, 1984). No obstante, debe tomarse en cuenta que al intensificarse considerablemente la explotación de un recurso pesquero, se advierten bajas crónicas y a veces considerables en su reclutamiento, y en este sentido, también se debe tomar en cuenta la dificultad de establecer la relación entre población reproductora y el reclutamiento resultante debido a la variabilidad del medio y sus efectos sobre el reclutamiento.

En suma, puede esperarse que los colapsos de pesquerías pueden estar influenciados no sólo por factores de sobrepesca, sino que también pueden ser influidos por efectos de la variabilidad, natural o inducida, de su medio natural; e inclusive, por una combinación de ambas situaciones. De tal suerte que la sobrepesca en combinación con condiciones ambientales adversas pueden generar un serio decline no sólo en la abundancia del recurso, sino también es posible llegar a afectar severamente la operación y funcionamiento normal de la industria procesadora, y consecuentemente los ingresos de los diferentes actores de la actividad también se verán disminuidos, junto con la economía de la región, en lo general.

En lo referente a la tasa de empleo, como un indicador económico de la actividad pesquera, Troade (1984) apunta que el volumen total del empleo aumenta con la tasa de explotación del recurso (refiriéndose a la fase de captura), y este efecto también se refleja sobre la tasa de empleo en las actividades conexas a la actividad, como lo son la distribución y comercialización del producto. Sin embargo, al menos en el caso de la actividad calamarera de Baja California Sur, el número de empleos en el sector secundario es posible que este siendo rebasado en forma considerable respecto a los empleos generados en el sector primario; y si se considera a una gran variedad de actividades complementarias, básicamente de servicios diversos, las cuales caen dentro del sector terciario, la cantidad de empleos en este último sector puede estar varias veces arriba respecto a los empleos generados en los sectores que le anteceden.

Respecto a lo anterior, se puede inferir que en cuanto más elevados sean los beneficios netos económicos y sociales obtenidos a través del desempeño de actividades complementarias a la pesca, como son la transformación, comercialización y servicios, más interés habrá en dedicarse a actividades conexas al sector pesquero; desde luego, siempre y cuando sea este sector el motor de las subsecuentes actividades.

Finalmente, debe considerarse que un posible colapso en la pesquería de calamar debido a las irregulares fluctuaciones en los niveles de abundancia del

recurso, en conjunción con la variabilidad del medio natural y la potencial sobrepesca, acarrearán costos excesivos no sólo para la actividad en general, sino para la industria en particular. La posibilidad de que se presente esta situación, deberá tomarse en cuenta por la autoridad encargada de la ordenación de las pesquerías para crear nuevos empleos al margen de la actividad calamarera.

## CONCLUSIONES

El calamar gigante (*Dosidicus gigas*) es un recurso pesquero del que se requiere un mayor conocimiento de su dinámica poblacional. En este sentido, destacan los siguientes dos aspectos: 1) Casi una década después de haberse iniciado la pesca masiva del calamar gigante, se logró proponer una posible ruta migratoria del recurso (Klett, 1981); sin embargo, debido a los limitados estudios sobre el comportamiento migratorio de la especie, existe la posibilidad de que esta ruta haya cambiado, y por lo tanto no sea un patrón de migración del recurso; 2) Con frecuencia se escucha sobre la posibilidad de que la aparición del recurso en grandes cantidades presente un comportamiento cíclico. Esto no deja de ser una posibilidad, que requiere de un mayor y profundo estudio soportado en el método científico.

Se debe ordenar la pesquería del calamar a través de modelos de desarrollo y de explotación que además de favorecer al recurso, en función de su posible ciclicidad, se ajusten más a las necesidades, oportunidades e intereses propios de la región. El aumento en el conocimiento de la dinámica poblacional del calamar gigante (*Dosidicus gigas*), se deberá reflejar en el fortalecimiento de las políticas de administración de esta pesquería.

La industria calamarera que actualmente opera en Baja California Sur, con el 72% de la capacidad instalada en el estado para congelar productos marinos, es sin duda una planta industrial con un gran potencial de desarrollo. Otros aspectos de esta industria que soportan su potencialidad de desarrollo son 1) la versatilidad de la tecnología de procesos que utiliza; 2) la alta demanda de productos a partir de calamar en mercados internacionales, principalmente el oriental; 3) una alta eficiencia en sus procesos al aprovechar casi en un 70% su capacidad instalada por temporada de producción; 4) la alta demanda de sus productos finales, su eficiencia operativa y la aplicación de economías de escala brindan a esta industria una rentabilidad moderada desde el punto de vista económico y financiero.

Sin duda, el crecimiento de la planta industrial calamarera en Baja California Sur se dio en forma muy acelerada, de tal manera que las 16 calamareras que conforman esta importante industria, fueron instaladas o reconvertidas en tan sólo cuatro años (1994 a 1997), es decir, un promedio de cuatro plantas procesadoras por año. Los aspectos positivos de este acelerado crecimiento son 1) la capacidad instalada para congelar productos pesqueros en la entidad, aumentó en un 96%, con respecto a 1994, que es el año en que se reinicia con el aprovechamiento del calamar a escala industrial; 2) se generaron más de 2,000

empleos directos en la industria calamarera estatal. Asimismo, esta importante generación de empleo también se vio reflejada en otras actividades íntimamente relacionadas con la industrialización del calamar, como lo fueron la captura del recurso con más de 2,000 empleos generados por temporada de pesca (beneficiando no sólo a familias del estado, sino de la región misma, ya que se ha detectado mano de obra procedente de Sonora, Sinaloa y Baja California) y un número indeterminado de empleos indirectos que se generaron para el mantenimiento de embarcaciones, mantenimiento de equipos eléctrico y de congelación, pequeños negocios familiares dedicados a la venta de comida preparada y abarrotes en general, principalmente; 3) las regiones en donde se instalaron plantas calamareras, se vieron beneficiadas con la expansión de diversos servicios públicos, como lo son el suministro de electricidad, comunicaciones y transportes, agua potable y alcantarillado, instalación de relenos sanitarios, etc.; 4) la comercialización de calamar industrializado en Baja California Sur, ha tenido un fuerte impacto en las actividades pesqueras comerciales del país, destacándose que desde 1996, México es el principal proveedor de calamar sazonado (daruma) de Corea del Sur.

No obstante, debido a que este acelerado crecimiento no fue soportado por una adecuada planeación y de cierta manera no se tuvo un control sobre el mismo, esta situación ha traído consigo consecuencias negativas, como lo son 1) instalación de plantas calamareras sobredimensionadas, es decir, su diseño no se ajusta con la disponibilidad de la materia prima en el largo plazo; 2) el 80% de la planta industrial calamarera tiene severos problemas en cuanto al cumplimiento de la normatividad sanitaria obligatoria para la industria pesquera, debido a que son el resultado de proyectos con deficiencias en su planeación técnica; 3) con el abrupto descenso en las capturas del calamar que se registró en la temporada 1998, es posible que en el sector industrial calamarero hayan tenido lugar las siguientes situaciones: a) empresas que reinvirtieron sus ganancias, no lograron alcanzar el punto de equilibrio; b) proyectos que iniciaron con su operación en la temporada 1997, muy probablemente tendrán que hacerle frente a problemas de cartera vencida; c) muchas empresas se vieron en la necesidad de cerrar sus instalaciones y con ello se estrangulan las oportunidades de empleo de muchas familias de la región.

Considerando el destino final de los volúmenes de desechos, que son producto de la transformación de las principales partes del recurso como lo son el manto, tentáculos y aleta, cabe la posibilidad de que con el tiempo se generen severos impactos ecológicos que resulten en problemas de tipo social y económico para las regiones donde se acentúa la actividad. A este respecto, con el fin de llegar a un aprovechamiento integral del recurso, se hace necesario que las instituciones de educación superior e investigación en coordinación con el gobierno del estado, planteen líneas de investigación tecnológica, no sólo para mejorar las prácticas de conservación a bordo del producto y su posterior transporte a plantas procesadoras, sino también para caracterizar técnicamente (análisis proximales, perfil enzimático, composición química y bioquímica, etc.) todas las partes del recurso, incluyendo aquellas consideradas como residuos, llegando con ello a proponer alternativas para el desarrollo de nuevos productos

y subproductos de la pesquería, identificando al mismo tiempo, de estos últimos, su uso y/o aplicación en otras industrias como la farmacéutica, la de producción de piensos, forrajes y dietas animales en general, la química, la textil, etc.

La principal debilidad de la industria calamarera es que su operación depende, como ya se ha mencionado, de un recurso con fuertes fluctuaciones de abundancia. Esta debilidad puede ser contrarrestada en la medida que las empresas le den un uso alternativo a la tecnología de proceso.

Con el fin de que: 1) la industria calamarera alcance una mayor eficiencia funcional, optimizando el uso de sus recursos humanos, técnicos, financieros y materiales; y 2) las instituciones dedicadas a la investigación, fomento y regulación de la actividad, generen planes para el desarrollo armonioso de la misma, se propone la realización de los siguientes estudios: a) Mayor investigación sobre la dinámica poblacional del recurso, a fin de identificar los hábitos migratorios de la especie y los factores que influyen dichos hábitos; b) Medir y evaluar desde el punto de vista técnico, económico y financiero, los diferentes procesos que lleva a cabo la industria calamarera, a fin de identificar aquel proceso que presente un mayor rendimiento económico; c) Buscar nuevas estrategias y rutas de comercialización de productos finales, que eviten el intermediarismo, buscando con ello una mayor rentabilidad comercial de la actividad; d) Realizar un plan de mercadotecnia que coadyuve a la identificación de nuevos nichos de mercado (nacionales e internacionales) para los productos finales y posteriormente incidir en ellos; y e) Medir y evaluar el impacto socioeconómico que tiene la actividad en la región de Santa Rosalía, para identificar y buscar mejoras en las relaciones recurso-industria-sociedad.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen el apoyo recibido para la realización de este trabajo a la empresa Pesquera México S.A. de C.V., al Lic. Cota de SEMARNAP, al Biól. Pesq. Sergio Rojas de FIRA-FOPESCA/Banco de México y al proyecto CONACyT R-29374B. Germán Ponce agradece a CONACyT y al Programa Institucional de Formación de Investigadores del IPN su apoyo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Anónimo, 1997a. Curso sobre valuación de empresas. Programa Estratégico de Capacitación en Evaluación de Proyectos. Banco de México-FIRA. México. 200 p.
- Anónimo, 1997b. Diagnóstico de la industria pesquera de Baja California Sur. Doc. Int. Dirección de Fomento Pesquero. La Paz, BCS. México. 20 p.
- Bakun, A. & J. Csirke. 1998. Environmental processes and recruitment variability. En: Rodhouse, P., E. Dawe & R. O'Dor (Eds.). Squid recruitment dynamics. The genus illex as a model the commercial illex species and influences on variability. Fish. Tech. Pap. # 376. FAO. Roma, Italy.
- Ehrhardt, N., P. Jacquemin, A. Solís, F. García, G. González, J. Ortíz & P. Ulloa.

- 1982a. Crecimiento del calamar gigante *Dosidicus gigas* en el Golfo de California, México, durante 1980. Ciencia Pesquera INP. Secretaría de Pesca. México. (3) 33-39.
- Ehrhardt, N., P. Jacquemin, G. González, P. Ulloa, F. García, J. Ortíz & A. Solís. 1982b. Descripción de la pesquería de calamar gigante *Dosidicus gigas* durante 1980 en el Golfo de California. Flota y poder de pesca. Ciencia Pesquera. INP. Secretaría de Pesca. México. (3) 41-60.
- Ehrhardt, N., A. Solís, P. Jacquemin, J. Ortíz, P. Ulloa, G. González, & F. García. 1986. Análisis de la biología y condiciones del stock del calamar gigante *Dosidicus gigas* en el Golfo de California, México. Ciencia Pesquera. INP. Secretaría de Pesca. México. (5) 63-76.
- Guzmán, E. 1996. La pesquería de calamar gigante en Baja California Sur. Doc. Int. Dirección de Fomento Pesquero de Baja California Sur. La Paz, BCS. México. 40 p.
- INEGI, 1995. Anuario Estadístico del Estado de Baja California Sur. INEGI-Gob. Edo. BCS. México, D.F. 368 p.
- INEGI, 1996. Anuario Estadístico del Estado de Baja California Sur. INEGI-Gob. Edo. BCS. México, D.F. 368 p.
- INEGI, 1997. Anuario Estadístico del Estado de Baja California Sur. INEGI-Gob. Edo. BCS. México, D.F. 368 p.
- Klett, A. 1981. Estado actual de la pesquería del calamar gigante en el estado de Baja California Sur. Serie Científica No 21. Depto. Pesca. INP. CRIP-La Paz, BCS. México.
- Klett, A. 1996. Pesquería del calamar gigante (*Dosidicus gigas*), 127-150. En: Casas-Valdes, M. & G. Ponce-Díaz (Eds.). Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur. SEMARNAP-Gob. del Edo.-FAO-INP-CIBNOR-CICIMAR-UABCS-CETMAR. La Paz, BCS. México.
- Morales, E. 1997. Calamar (*Dosidicus gigas*). Doc. Int. INP. CRIP La Paz, BCS. 30 p.
- Morales, E. & M. Nevares. 1997. El escape proporcional y el uso del punto de referencia biológica  $F\%BR$  para la explotación del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) del Golfo de California, México. Oceánides. 12(2): 97-105.
- Orbach, M. 1980. The human dimension. En: Lackey, R. & L. Nielsen, 1980. Fisheries Management. Blackwell Scientific Publications. USA.
- Ramírez, M. & A. Klett. 1985. Composición de tallas de la captura de calamar gigante en el Golfo de California durante 1981. CIBCASIO. Transactions Volume X. La Jolla, California. CIBNOR- La Paz, BCS. México.
- Rojas, S. 1996. El calamar gigante. Una nueva pesquería en México. FIRA-Boletín Informativo. Vol. XXIX. No 292. FIRA. México, D.F. 32 p.

- Sánchez, S. 1998. La industria calamarera de Baja California Sur: su proceso productivo y financiamiento. Tesis de Licenciatura. Ingeniería en Pesquerías. UABCS. La Paz, BCS. México.
- SEMARNAP. 1994. Anuario Estadístico de Pesca. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México, D.F. 232 p.
- SEMARNAP. 1995. Anuario Estadístico de Pesca. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México, D.F. 232 p.
- SEMARNAP. 1996. Anuario Estadístico de Pesca. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México, D.F. 232 p.
- SEMARNAP. 1997. Anuario Estadístico de Pesca. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México, D.F. 232 p.
- Stern, P., O. Young & D. Druckman. 1992. Global environmental change. Understating the human dimensions. National Academy Press. Washington, D.C. USA.
- Troadec, J. 1984. Introducción a la ordenación pesquera. Su importancia, dificultades y métodos principales. Doc. Tec. Pesca # 224. FAO. Roma, Italia.

# 22

## EL GOLFO DE TEHUANTEPEC COMO UN CENTRO DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA Y SU IMPORTANCIA EN LAS PESQUERÍAS

*Sofía Ortega-García<sup>1,3</sup>, José Angel Trigueros-Salmerón<sup>1,4</sup>, Rubén Rodríguez-Sánchez<sup>1,3</sup>, Salvador Lluch-Cota<sup>2</sup> & Héctor Villalobos<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Av. Instituto Politécnico Nacional s/n. Col. Playa Palo de Santa Rita. Apdo. Postal 592. La Paz, B.C.S. 23000. E-mail: sortega@redipn.ipn.mx <sup>2</sup>Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. <sup>3</sup>Becario COFAA. <sup>4</sup>Becario PIFI

### RESUMEN

El Golfo de Tehuantepec es considerado como una de las tres zonas centroamericanas del Pacífico Tropical Oriental con altos niveles de productividad primaria, derivado del desarrollo invernal de surgencias costeras y fuerte mezcla vertical por viento perpendicular a la costa, proceso que provee nutrientes a la capa superficial. En esta contribución se presenta una caracterización ambiental general (patrones de circulación predominantes a lo largo del año promedio, la configuración batimétrica y estructura termohalina), una descripción de los procesos que generan la producción biológica primaria y controlan su variabilidad, y se mencionan los principales recursos pesqueros de la zona, haciendo énfasis en su importancia relativa. Se concluye que, a pesar de que los niveles de producción biológica a lo largo del año son menores en el Golfo de Tehuantepec respecto de otros Centros de Actividad Biológica del Pacífico mexicano, éste representa uno de los pocos focos de enriquecimiento del Pacífico Costero Centroamericano, y en consecuencia un sistema clave dentro de la estructura ecológica de este gran ecosistema marino. Finalmente, se reconoce que existe una fuerte necesidad de incrementar los estudios enfocados a la caracterización del BAC del Golfo de Tehuantepec.

**Palabras clave:** Surgencias, Golfo de Tehuantepec, Pesquerías.

### ABSTRACT

The Gulf of Tehuantepec is considered as one of the three Central American areas of the Western Tropical Pacific with high levels of primary productivity. This is derived from the development of winter coastal upwelling and strong

vertical mixing by wind perpendicular to the coast, a process that provides nutrients to the surface layer. In this contribution a general environmental characterization is presented (predominant circulation patterns along an average year, bathymetric configuration, and thermohaline structure), a description of the processes generating the primary biological production and controlling its variability, and the main fishing resources are mentioned with emphasis in their relative importance. It is concluded that, in spite of the year round lower levels of biological primary production in the Gulf of Tehuantepec as compared to other Biological Activity Centers, this represents one of the few spots of enrichment of the Central America Coastal Pacific. Therefore, it is a key system within the ecological structure of this large marine ecosystem. Finally, it is recognized that there is a strong need of increasing the studies focused on the characterization of the Gulf of Tehuantepec BAC.

**Key words:** Upwelling, Gulf of Tehuantepec, Fisheries.

## INTRODUCCIÓN

El Golfo de Tehuantepec es una región de aproximadamente 125,000 km<sup>2</sup> delimitada al sur por los 12°N, al norte por la costa mexicana, entre Puerto Angel, Oaxaca y Puerto Madero, Chiapas, al este por el meridiano de los 92°W y al oeste por el meridiano 97°W y su radio es de aproximadamente 200 km (Gallegos-García & Barberán-Falcón, 1998).

Se considera como una de las tres zonas centroamericanas del Pacífico Tropical Oriental con altos niveles de productividad primaria, debido a condiciones orográficas que permiten la acción pronunciada de vientos invernales intensos producidos por el gradiente de presión atmosférica que se establece entre la zona del Golfo de México y Centroamérica, (Clarke, 1988; Legeckis, 1988; McCreary *et al.*, 1989) y que generan importantes procesos de surgencia y mezcla vertical (Roden, 1961; Stumpf, 1975).

La topografía del continente que favorece la ocurrencia de estos vientos (localmente llamados “Tehuano” o “Tehuantepequeros”) está determinada por la Sierra Madre del Sur, que se extiende a lo largo del sur de México y parte de América Central con elevaciones típicas de 2000 m. En el Istmo de Tehuantepec la cadena montañosa es interrumpida por un paso de 40 km de ancho y de altura promedio de 200 m conocido como “Paso Chivela”. Cada invierno, las heladas intensas que ocurren sobre las planicies de Norteamérica producen sistemas de alta presión atmosférica que avanzan hacia el sur, sobre el Golfo de México. Cuando estos sistemas alcanzan la latitud del Istmo de Tehuantepec, y dado que la presión sobre el Pacífico no es afectada, se establece una diferencia de presión a través del Paso Chivela. Es entonces que se canaliza un chorro intenso de viento frío y seco, que cruza hacia el Pacífico y se esparce sobre el Golfo de Tehuantepec con velocidades de hasta 27 km/hora (Lavín *et al.*, 1992; Barton *et al.*, 1993; Monreal-Gómez & Salas de León, 1998).

El tiempo de respuesta de las surgencias al viento es de 36 hrs. y su área de

influencia es de aproximadamente 500 km<sup>2</sup>. Las surgencias en el Golfo están relacionadas con el rotacional del esfuerzo del viento (Roden, 1961).

Además de las surgencias, se desarrolla un giro anticiclónico y un hundimiento de la picnoclina en el lado oeste, el giro es formado por la advección de agua superficial cálida del oeste del golfo, y la mayoría del agua incorporada a los giros viene del oeste, de fuera del golfo (Trasviña *et al.*, 1995). Al hundirse la termoclina hasta los 100 m de profundidad, se desarrolla un intenso frente horizontal al oeste del eje del viento, produciendo una pendiente de las isotermas (Barton *et al.*, 1993). Mientras que en la parte occidental del golfo se produce una convergencia de Ekman y la mezcla vertical se extiende a un máximo de 120 m de profundidad, en el lado opuesto se forma una divergencia la cual restringe la formación de una capa superficial bien desarrollada resultando por lo tanto en una capa más somera. Así, los nortes inducen la formación de frentes oceánicos en la parte suroeste del golfo y la formación de surgencias en la parte sureste.

Entre el giro y el agua de surgencia se presenta un gradiente térmico de 0.4°C/km formando frecuentemente, un frente oceánico que coincide con la posición de la cordillera submarina de Tehuantepec por lo que aparentemente la localización del frente no solamente depende de la posición de la incursión de la Corriente de California sino que la batimetría controla los límites de la surgencia (Stumpf, 1975; Stumpf & Legeckis, 1977).

Aunque durante los nortes se desarrollan giros anticiclónicos y ciclónicos estos últimos no se manifiestan frecuentemente debido a que mientras que los anticiclónicos se intensifican por la advección, los ciclónicos son virtualmente eliminados por la mezcla vertical (Monreal-Gómez & Salas de León, 1998).

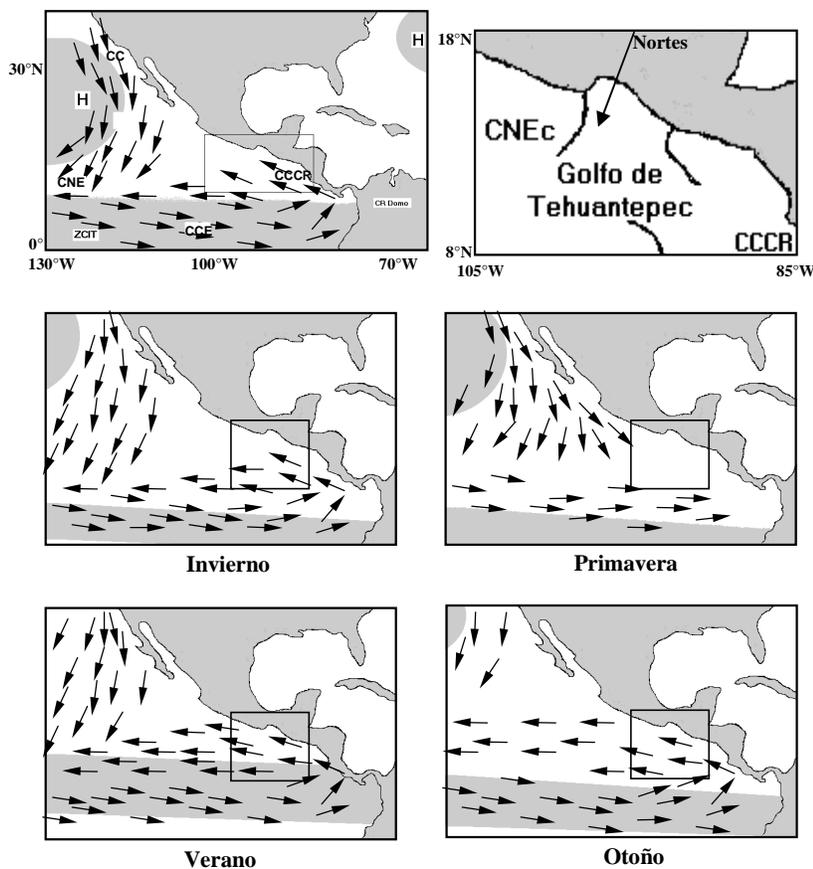
La duración de los nortes es de 3 a 5 días y se presentan en intervalos de 10 a 15 días con vientos sostenidos de por lo menos 8 m/s (Monreal-Gómez & Salas de León, 1998; Gallegos-García y Barberán-Falcón, 1998). DiMego *et al.* (1976) han encontrado que la actividad frontal en el Golfo de México y en el Golfo de Tehuantepec alcanza un máximo durante el invierno y un mínimo en el verano. La primavera y el otoño son periodos de transición de máximo a mínimo y de mínimo a máximo respectivamente en la frecuencia de los frentes fríos (McCreary *et al.*, 1989).

Durante la época de mayo a octubre, cuando ocurren las lluvias, se presentan vientos poco intensos. Esto significa que durante el verano los vientos que soplan de dirección este son generalmente débiles, ocasionalmente se observan vientos intensos durante el paso de los huracanes y tormentas tropicales los cuales generan pulsos de viento que se propagan a lo largo de la costa (Trasviña & Barton, 1997). En esta época la región se ve afectada por la proximidad de la zona de convergencia intertropical cuyo efecto es la estabilización en los movimientos verticales de las aguas, ocasionando baja productividad (Ritter-Ortiz & Guzmán-Ruíz, 1984).

## Circulación

El patrón de circulación en el Pacífico Oriental Tropical está influenciado por los desplazamientos latitudinales del sistema de vientos alisios y de la zona de convergencia intertropical (Monreal-Gómez & Salas de León, 1998).

El Golfo de Tehuantepec se encuentra bajo la influencia de importantes corrientes: la Corriente Norecuatorial (CNE), la Contracorriente Ecuatorial (CCE), la Corriente Costera de Costa Rica (CCCR) y en condiciones invernales extremas la Corriente de California (CC) (Fig. 1)(Wyrтки, 1967).



**Figura 1.** Panel superior izquierdo: Características atmosféricas y oceanográficas del Pacífico Tropical Oriental. Panel superior derecho: Área de estudio (Pacífico Tropical Mexicano). Paneles inferiores: Variación estacional de la distribución de celdas de presión y corrientes superficiales en el Pacífico Tropical Oriental.

Tomada de Lluch-Cota (1995).

En invierno y primavera, cuando los vientos alisios del este son muy intensos y la zona de convergencia intertropical está en su posición más sureña, la Corriente Costera de Costa Rica se desvía hacia el oeste, esta desviación es sustentada por un flujo hacia el mar, producto de los Tehuanos. La Corriente de California llega al sur de los 15°N donde, además de alimentar a la Corriente Norecuatorial, entra al Golfo de Tehuantepec en las capas subsuperficiales. La incursión de esta agua es sólo en la parte oeste del golfo aproximadamente a 95°W donde se encuentra con agua producto de surgencia y forma un frente oceánico (Molina-Cruz & Martínez-López, 1994).

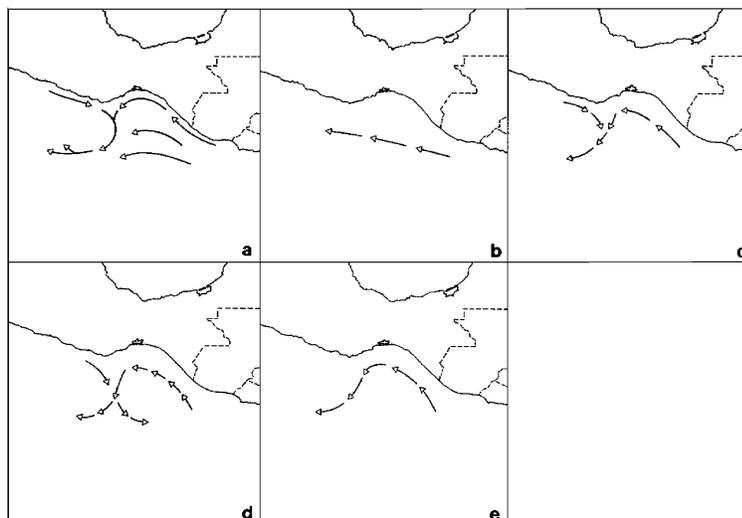
En verano y otoño, cuando la velocidad máxima de los vientos alisios del noreste se encuentra a los 18°N, y la zona de convergencia intertropical se localiza en su posición más al norte, la contracorriente llega aproximadamente a los 90°W definiendo el domo de Costa Rica y alimentando la Corriente del mismo nombre, la cual fluye hacia el noroeste a lo largo de la costa y entra al Golfo de Tehuantepec. Durante este periodo la Corriente de California no influye en esta área debido a que se desvía hacia el oeste en las proximidades de la punta de la Península de Baja California (Blackburn, 1962; Monreal-Gómez & Salas de León, 1998).

A escala menor, la circulación en el golfo presenta cuatro patrones característicos a lo largo del año (Fig. 2); durante la temporada de nortes se tienen dos patrones muy similares entre sí, el primero de octubre a enero que muestra dos corrientes paralelas a la costa y en sentido contrario, las cuales se encuentran a la altura de Salina Cruz. La rapidez de la corriente en la parte alta del golfo es inferior a la de la región sur. Una vez que dichas corrientes convergen siguen una trayectoria hacia mar adentro con dirección hacia el suroeste (Fig. 2c); el segundo patrón se presenta de febrero a abril, a finales de la época de nortes. La diferencia estriba en que en este último la contribución noroeste se vuelve más importante que la del norte y una vez que las corrientes convergen se forman dos celdas, desarrollándose un dipolo; un giro anticiclónico en la porción oeste de aproximadamente 200 km de diámetro y uno ciclónico en la parte oriental del golfo (Fig. 2d)(Trasviña *et al.*, 1995; Monreal-Gómez & Salas de León, 1998).

En el periodo de junio a agosto, época de lluvias y de huracanes, se presenta el tercer patrón de circulación, el cual es muy sencillo pues la corriente va hacia el noroeste (Fig. 2b). En los meses de mayo y septiembre, meses de transición de secas a lluvias y de lluvias a secas respectivamente, la corriente presenta una línea sinuosa con flujo de este a oeste, va hacia el norte con velocidades menores a 20 cm/seg, más bajas que las correspondientes al periodo de junio a agosto (Fig. 2e) (Monreal-Gómez & Salas de León, 1998).

Durante diciembre se presenta el cuarto patrón de corrientes y consiste en una circulación costera hacia el este y otra hacia el oeste las cuales convergen en la parte oeste del golfo donde cambian su trayectoria siguiendo hacia mar adentro hasta aproximadamente 200 km de la costa donde la corriente cambia de dirección hacia el oeste (Fig. 2a).

Geográficamente y de manera general, el Golfo de Tehuantepec se caracteriza



**Figura 2.** Corrientes superficiales en el Golfo de Tehuantepec a) época de nortes de acuerdo con Roden (1961), b) de junio a agosto c) de octubre a enero d) de febrero a abril e) en mayo y septiembre, según Blackburn (1962).

→ → →

menores a 20 cm/s

→ → →

mayores a 20 cm/s

Tomado de Monreal-Gómez y Salas de León (1998).

por tener tres regímenes hidrográficos, el primero corresponde al giro anticiclónico en el oeste del golfo, el segundo está afectado directamente por los nortes y es donde ocurren las surgencias y el tercero o régimen del este es menos afectado por los nortes, esta región presenta una superficie termohalina característica de las aguas del Océano Pacífico Tropical del Este, menos salina y más cálida (Lavín *et al.*, 1992; Robles-Jarero & Lara-Lara, 1993).

### Batimetría

El Golfo de Tehuantepec está situado en una región estructuralmente compleja, dado que se ubica cerca de una triple unión: la Placa de Norteamérica, la de Cocos y la del Caribe (Carranza-Edwards *et al.*, 1998). Su plataforma continental tiene un ancho promedio de 100 km. en la mitad oriental del golfo y desaparece en el lado occidental.

Como se puede observar en la Figura 3, la plataforma y la costa occidental del golfo bordean la trinchera Mesoamericana, de más de 5000 m de profundidad, considerada como la más profunda del Pacífico Tropical Oriental. Una gran parte del golfo se encuentra en aguas con profundidades de 4000 m o mayores (Trasviña & Barton, 1997).

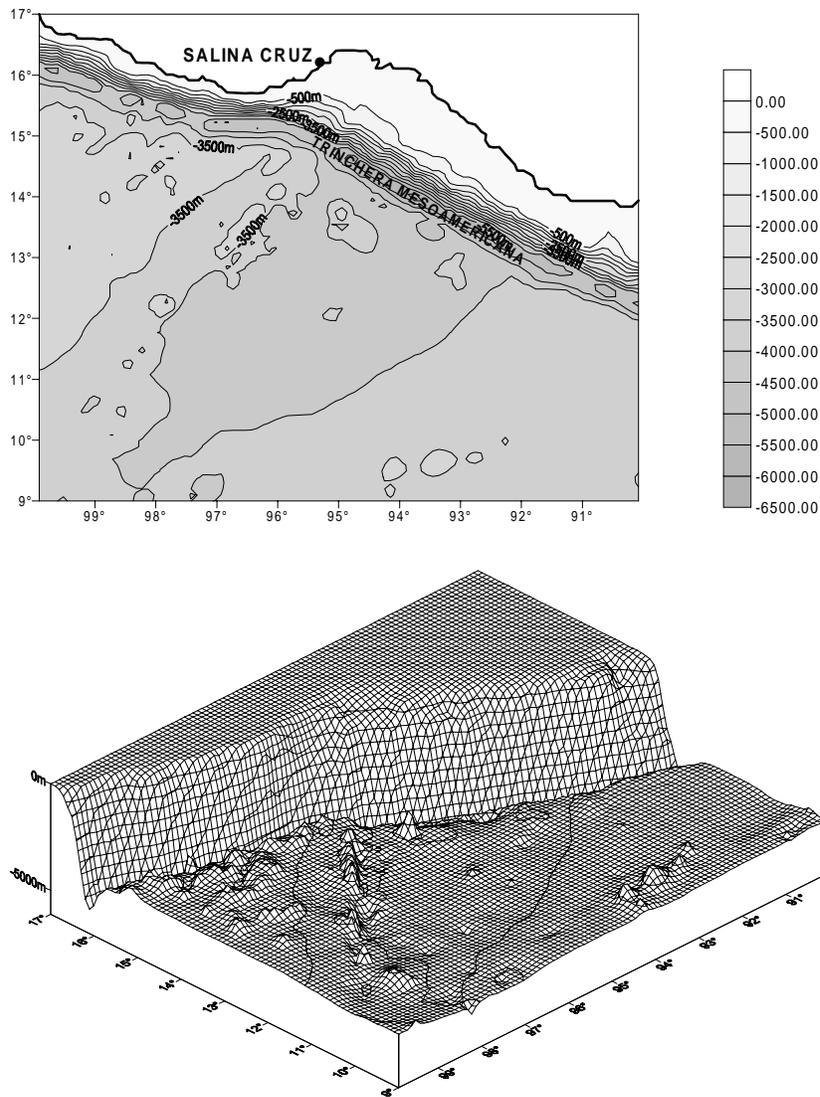


Figura 3. Batimetría del Golfo de Tehuantepec.

Desde el punto de vista geológico, las costas de Oaxaca y Chiapas se pueden dividir en dos regiones, una que comprende la mayor parte del Golfo de Tehuantepec (desde Salinas del Marqués, Oaxaca al Río Suchiate, Chiapas) que se caracteriza por una plataforma amplia de fondos blandos y otra de escasa plataforma continental de litoral rocoso que comprende la parte oeste de la costa de Oaxaca a partir de Salinas del Marqués hasta los límites con el estado de Guerrero (Tapia-García & Gutiérrez-Díaz, 1998).

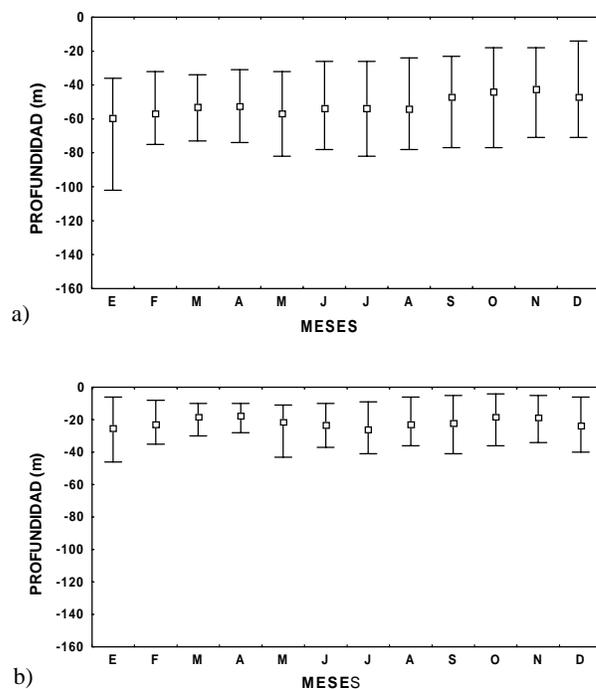
## Estructura térmica

A excepción de la época de surgencias, el Golfo de Tehuantepec se caracteriza por tener una capa de mezcla muy somera, aproximadamente entre los 10 a 30 m de profundidad, lo que implica que la termoclina permanente es muy somera, de tal forma el agua que es arrastrada por los vientos durante la influencia de los nortes se suple necesariamente con agua subsuperficial y agua superficial lateral. (Gallegos-García & Barberán-Falcón, 1998).

La Figura 4a muestra la profundidad de la capa de mezcla promedio mensual durante el periodo 1984-1990 donde se puede apreciar que los meses cuya capa de mezcla es mas somera son octubre, noviembre, marzo y abril.

La profundidad de la isoterma de los 20°C se usa convencionalmente para representar la profundidad de la termoclina en el Pacífico Tropical (Donguy y Meyers, 1987; Kessler, 1990). En la Figura 4b se presenta el promedio mensual para el periodo 1984-1990, donde se puede observar que estas son ligeramente más someras durante, octubre, noviembre, marzo y abril, coincidiendo con el inicio y terminación de las surgencias.

Para el mismo periodo (1984-1990), el perfil térmico estacional promedio para el Golfo de Tehuantepec se presenta en la Figura 5, en la cual se puede apreciar que en el verano y otoño se presentan las temperaturas más altas. Ortega-García (1998) reporta que para esta zona el perfil térmico promedio en los primeros 20 m de profundidad es el más cálido del Pacífico Oriental Tropical.



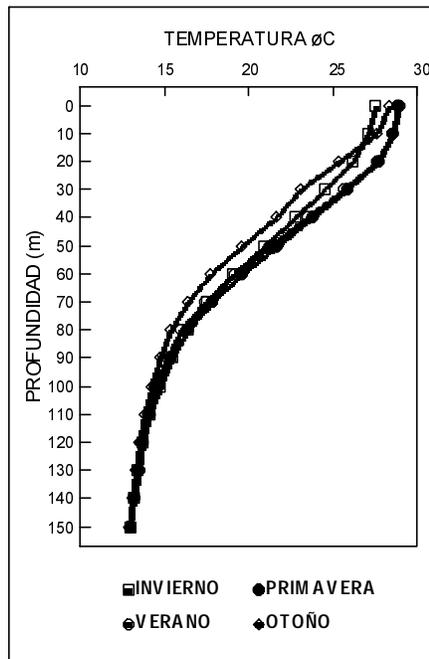
**Figura 4.** Profundidad promedio mensual para el periodo de 1984-1990 de a) capa de mezcla y b) isoterma de los 20°C en el Golfo de Tehuantepec.

Una de las características de la distribución de la temperatura superficial es que las temperaturas más bajas no se observan en la parte norte del golfo (Roden, 1961). Esto se aprecia claramente en la distribución de las isotermas durante el mes de diciembre promedio, representativo del periodo 1946-1989 (Fig. 6), lo cual se ha explicado por la ocurrencia de las corrientes a lo largo de la costa, que convergen frente a Salina Cruz.

Aunque en varios estudios se ha considerado que el enfriamiento superficial se debe a las surgencias producidas por el viento (Strong *et al.*, 1972; Stumpf, 1975; Stumpf & Legeckis, 1977), investigaciones recientes han mostrado que es debido a procesos de mezcla turbulenta vertical bajo el eje del viento, que aunque también influyen en el enfriamiento moderado en la región oriental del golfo, sólo alcanzan a mezclar la termoclina superior al mismo tiempo que ésta es elevada por la surgencia, de manera que ambos procesos contribuyen al enfriamiento superficial (Trasviña *et al.*, 1995; Trasviña & Barton, 1997).

Para el periodo 1946-1989, la Figura 6 muestra que de noviembre a marzo la temperatura superficial es aproximadamente 6°C menor que la de las aguas adyacentes. Robles-Jarero & Lara-Lara (1993) han reportado anomalías hasta de 10°C.

Enfield & Allen (1983), mencionan que las tormentas tropicales que se presentan en el área desestabilizan los procesos oceanográficos característicos del Golfo de Tehuantepec. Asocian su trayectoria y origen directamente con las características térmicas del golfo, ya que la mayoría de ellas tienen su origen en el área próxima.



**Figura 5.** Perfil térmico promedio para el periodo 1984-1990 en el Golfo de Tehuantepec.

El fenómeno El Niño también afecta la dinámica del Golfo de Tehuantepec, ya que cuando se presenta se manifiesta un debilitamiento de los procesos de surgencia, teniendo como consecuencia un cambio en la estructura térmica del mismo (Lluch-Cota *et al.*, 1997).

## Productividad

La alta productividad del golfo se debe principalmente a los procesos de surgencia y de mezcla vertical; las aguas subsuperficiales traen consigo fosfatos, silicatos, nitratos y nitritos en altas concentraciones, iniciándose una red trófica que a su vez produce y nutre a una rica comunidad biológica. Robles-Jarero & Lara-Lara (1993), en un estudio realizado en el invierno, dividieron el golfo en tres áreas reportando que la parte central presentó los valores promedio más altos de micronutrientes (1.2  $\mu$  para fosfatos y 10.2  $\mu$  para silicatos), seguida por la zona este (1.1  $\mu$  para fosfatos y 9.2  $\mu$  para silicatos). Los valores más bajos se presentaron en la zona oeste (0.8  $\mu$  para fosfatos y 6  $\mu$  para silicatos). Respecto a la concentración de pigmentos fotosintéticos, estos autores reportan los valores máximos de clorofila "a" superficial en la región oeste del golfo con una mayor contribución de microfitoplancton, en la región central y oriental el nanofitoplancton tuvo la mayor contribución de la clorofila total. Los valores del contenido de clorofila "a" integrada a través de la zona eufótica fueron similares tanto en la región central como en la oriental, con 41.1 y 35  $\text{mg/m}^2$  respectivamente, en tanto que la región occidental presentó la más alta concentración con 90.3  $\text{mg/m}^2$ .

No obstante, las concentraciones de clorofila no son elevadas, sí se comparan con valores típicos de regiones de surgencia costera. Se han registrado concentraciones altas de zooplancton tanto en la parte occidental del golfo, dentro del giro cálido en la parte oriental, como en la periferia del mismo (Farber-Lorda *et al.*, 1994; Trasviña & Barton, 1997). En opinión de Trasviña & Barton (1997), los procesos de mezcla lateral entre la región central del golfo comparativamente rico en clorofilas y el interior del giro cálido, podrían explicar la ocurrencia de concentraciones altas de zooplancton en el interior de éste, lo cual le da características únicas: alta productividad y temperaturas moderadas.

En la variación mensual de la concentración de pigmentos fotosintéticos inferida a través de imágenes de satélite del sensor del SeaWiFS para 1999 (Fig. 7), se puede observar que una productividad alta se presenta principalmente en la zona del Golfo de Tehuantepec de octubre a abril, siendo máxima durante diciembre con valores mayores de 1.5  $\text{mg Cl/m}^3$ . No obstante que la productividad disminuye durante el verano, en el sureste del golfo la productividad está presente casi durante todo del año ya que se encuentra bajo la influencia de la Corriente Costera de Costa Rica y de la productividad generada en el Golfo de Papagayo durante el verano e invierno respectivamente. La concentración pigmentaria también puede observarse a lo largo de la costa durante casi todo el año siendo máxima durante el verano y mínima en el invierno, esto está relacionado al hecho de que de mayo a octubre es la época de lluvias, por lo que el aporte de nutrimentos provenientes del lavado de lagunas

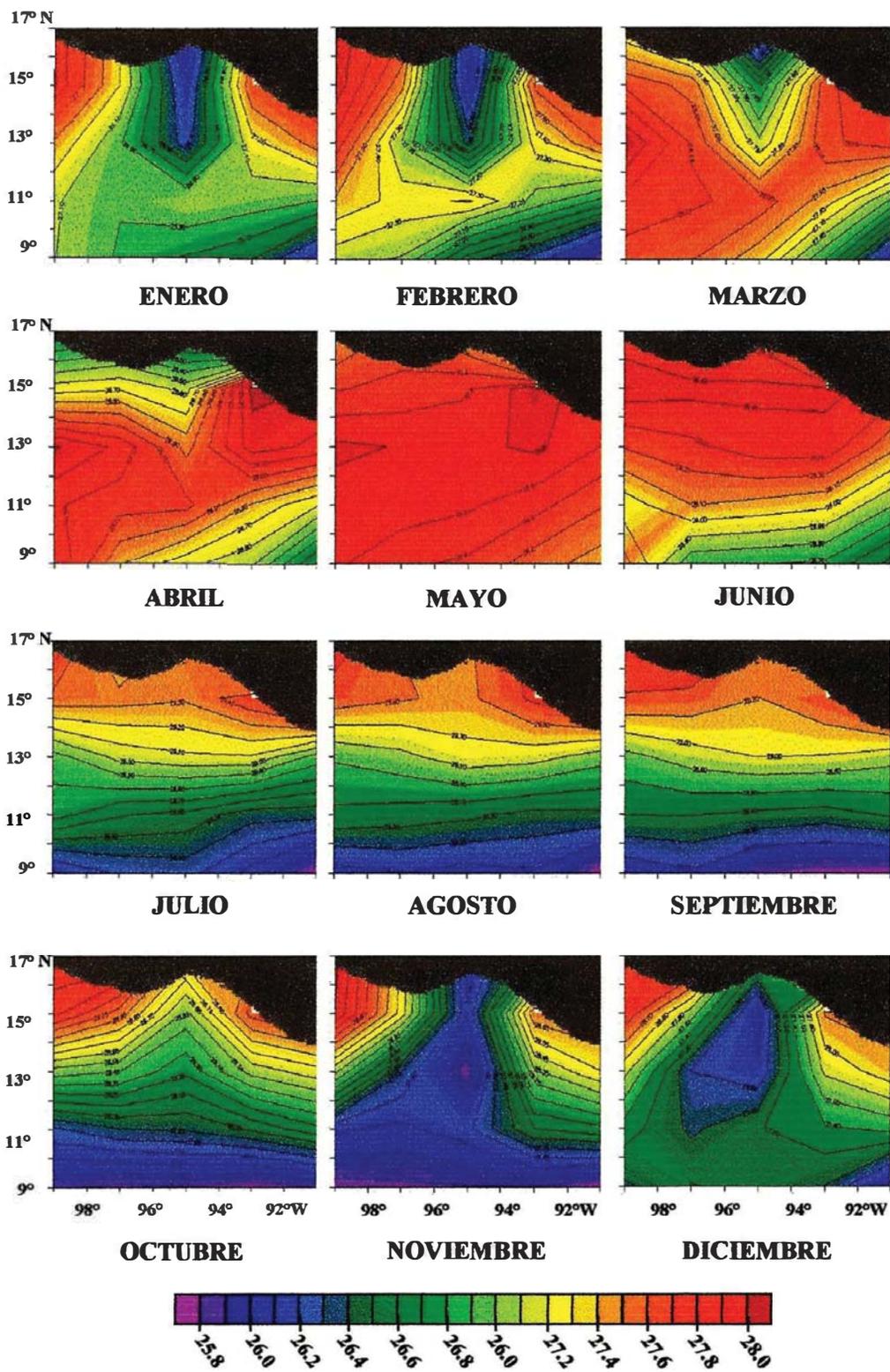
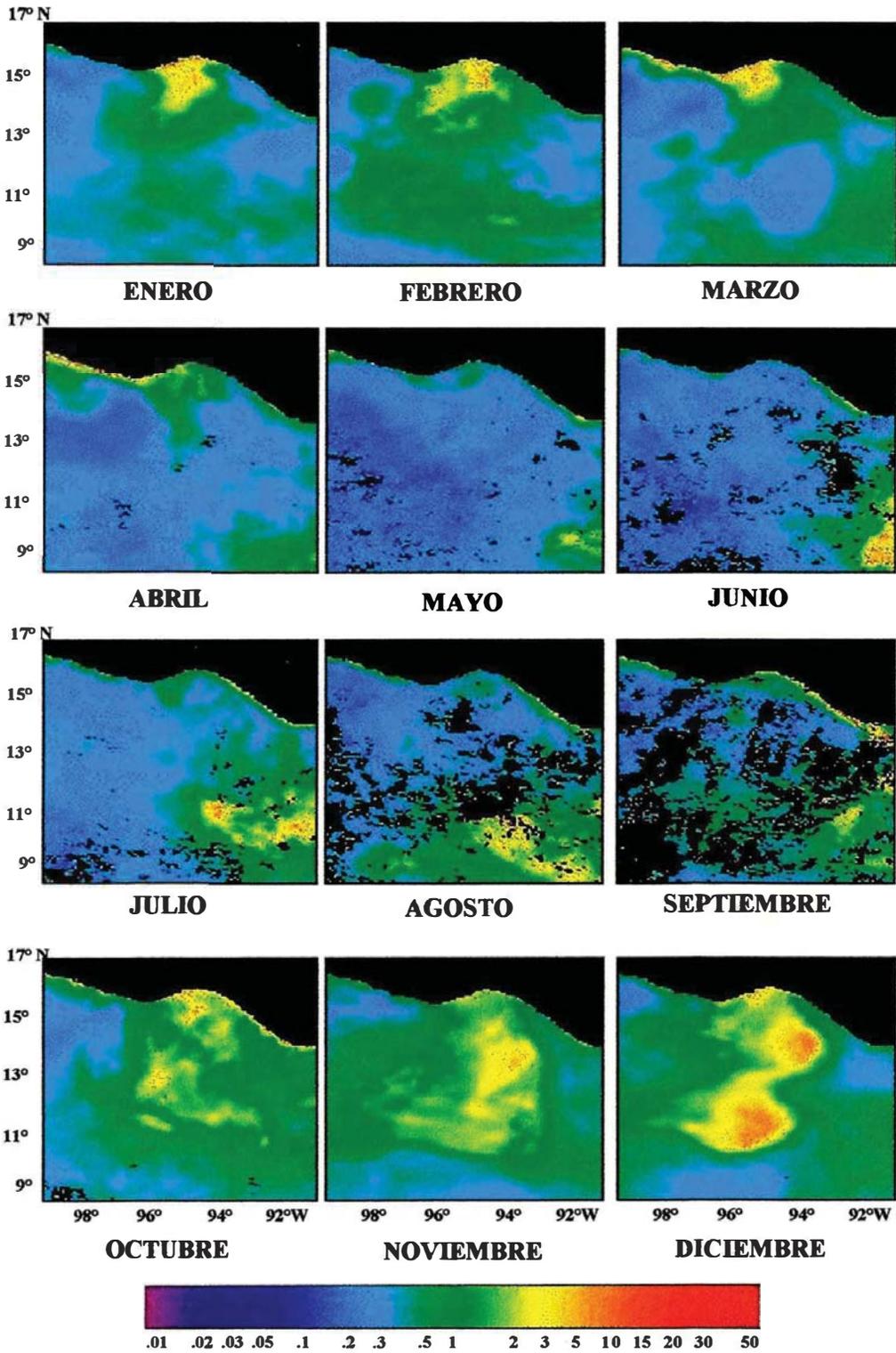


Figura 6. Temperatura superficial promedio mensual (°C) en el Golfo de Tehuantepec durante el periodo 1946-1989.





**Figura 7.** Concentración de pigmentos fotosintéticos promedio mensual (clorofila *a* en mg/m<sup>3</sup>), inferida a través de imágenes de satélite del sensor del SeaWiFS durante 1999.



y de los ríos Suchiate, Novillero y Tehuantepec que drenan en esas porciones del golfo se traducen en una alta producción biológica (Vázquez-Gutiérrez & Alexander-Valdés, 1993).

El patrón de concentración pigmentaria es similar al encontrado por Lluch-Cota *et al.*, (1997), con imágenes provenientes del Coastal Zone Color Scanner, quienes al estratificar el área de acuerdo a sus valores de concentración de pigmentos fotosintéticos determinan cuatro regiones: a) la zona costera con niveles de concentración altos, b) la zona oceánica con niveles bajos, c) el Golfo de Tehuantepec con niveles medios de concentración y con máximos de noviembre a febrero y d) la zona sureste con niveles medios de concentración, comparables a los del golfo. Los valores máximos de concentración de pigmentos fotosintéticos durante invierno también han sido reportados por Fiedler (1994) y Ortega-García & Lluch-Cota (1996).

### Importancia pesquera

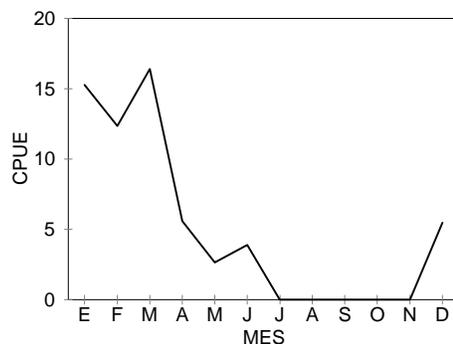
Las características fisiográficas y batimétricas del área, en combinación con la estacionalidad de procesos atmosféricos-oceanográficos discutidos anteriormente, hacen que el Golfo de Tehuantepec mantenga una alta productividad prácticamente a lo largo del año que favorece la acumulación y mantenimiento de una biomasa elevada en un área geográficamente delimitada. Lo que suponemos favorece el desove, la crianza o la alimentación de diferentes especies, algunas de ellas de importancia comercial tales como el camarón, atún y sardina, entre otros.

Ayala-Duval *et al.*, (1998) sobre la base del análisis de muestras de cruceros realizados en enero, mayo y noviembre, encontraron que la densidad de la biomasa zooplanctónica presenta valores intermedios en enero, los más altos en mayo y los menores en noviembre. Se registran núcleos de alta densidad tanto de biomasa zooplanctónica como larvaria en la porción occidental del golfo durante enero, en la porción oriental en mayo y dispersos en el golfo durante noviembre. Destaca la presencia de larvas de la familia clupeidae y engraulidae, las cuales presentaron los mayores valores de densidad durante noviembre.

La variación mensual de la abundancia relativa (captura por unidad de esfuerzo) de la sardina crinuda *Opisthonema spp.* dentro de un año promedio, representativo de la captura de especies de carnada por barcos atuneros en esta zona durante el periodo 1931-1979, se presenta en la Figura 8, observándose una marcada estacionalidad de la sardina crinuda durante el primer trimestre del año.

Una característica importante de la carnada capturada es la predominancia de juveniles (Howard, 1952; Wood & Strachan, 1970; Maxwell, 1974; Baldwin, 1977). De las tres especies de sardina crinuda en el área, *O. libertate* es la más abundante (Berry & Barrett, 1963).

Sobre la base del análisis de los contenidos gástricos en adultos de *O. libertate* en diferentes áreas (Peterson, 1956; Romero-Ibarra & Esquivel-Herrera, 1989), se ha reportado que el fitoplancton constituye hasta el 60% en los contenidos



**Figura 8.** Captura por unidad de esfuerzo de *Opisthonema* spp. Año promedio del periodo 1931-1979.

estomacales de esta especie. Gallardo-Cabello *et al.* (1991) reportan que aunque las diatomeas representan el mayor aporte en número de individuos y de especies en la dieta de *O. libertate*, son las que menos cantidad de carbono contribuyen al régimen alimentario de la sardina crinuda en relación a los huevecillos de peces y a los crustáceos.

No obstante esta conclusión generalizada respecto a la alimentación de adultos, Gallardo-Cabello *et al.* (1991) presentan la relación entre las tallas de la sardina crinuda y los porcentajes promedio de aportes de carbono de las presas a la dieta de acuerdo con su tamaño. Se observa que conforme aumenta la longitud de la sardina crinuda aumenta el tamaño de sus presas. Las diatomeas y los dinoflagelados son más abundantes y principales contribuyentes del carbono a la dieta de la sardina de talla menor (140-149 mm de longitud patrón). Los huevecillos de peces contribuyen en mayor proporción al carbono de la dieta de la sardina de tallas 150-159 mm. A tallas mayores la importancia de los huevecillos es reemplazada gradualmente, por los copépodos, los anfípodos, los ostrácodos y los eufásidos.

El aumento del tamaño de las presas conforme incrementa la longitud de la sardina concuerda con el cambio de selectividad alimenticia observado en el aparato filtrador de la sardina durante su crecimiento (Rodríguez-Sánchez, 1989).

Considerando la importancia del fitoplancton en la alimentación de sardina crinuda de talla menor, se puede explicar el incremento de abundancia de estos peces durante el periodo de surgencias. La consecuente sucesión ecológica de zooplancton en el área y su importancia como alimento de la sardina a tallas mayores, también ayuda a explicar la estacionalidad de la abundancia de la sardina.

El Golfo de Tehuantepec es también una región donde las capturas de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) han sido tradicionalmente importantes (Allen & Punsly, 1984; Ortega-García, 1998) y se ha reconocido al norte de ésta

zona como la principal área de desove en aguas del Pacífico mexicano durante los meses de invierno (González & Ramírez, 1989). No obstante que Ortega-García & Lluch-Cota (1996) en un análisis para el periodo 1984-1985 mencionan un retraso de 3 a 5 meses entre las mayores concentraciones de pigmentos fotosintéticos y la abundancia relativa del atún aleta amarilla, para el periodo 1993-1997 la mayor intensidad de lances en el área se observa de enero a marzo, coincidiendo con las capturas totales más altas, con un promedio de 4,296 toneladas (Fig. 9). Durante los meses de verano, el esfuerzo disminuye drásticamente debido principalmente a la presencia de huracanes y tormentas tropicales que impiden el desarrollo de las operaciones de pesca en ésta época del año.

Otro recurso importante en el golfo es el camarón. Los estados de Oaxaca y Chiapas en conjunto ocupan el 4º lugar en cuanto a la producción de este recurso a nivel nacional, la cual se sostiene principalmente por cinco especies (*Penaeus vanamei* (camarón blanco), *P. stylirostris* (camarón azul), *P. californiensis* (camarón café) y *P. brevis* (camarón rojo). Otras pesquerías de importancia son la de la mojarra, lisa y tiburón y en menor escala se captura huachinango, robalo, barrilete y pargo, entre otras (Tapia-García & Gutiérrez-Díaz, 1998).

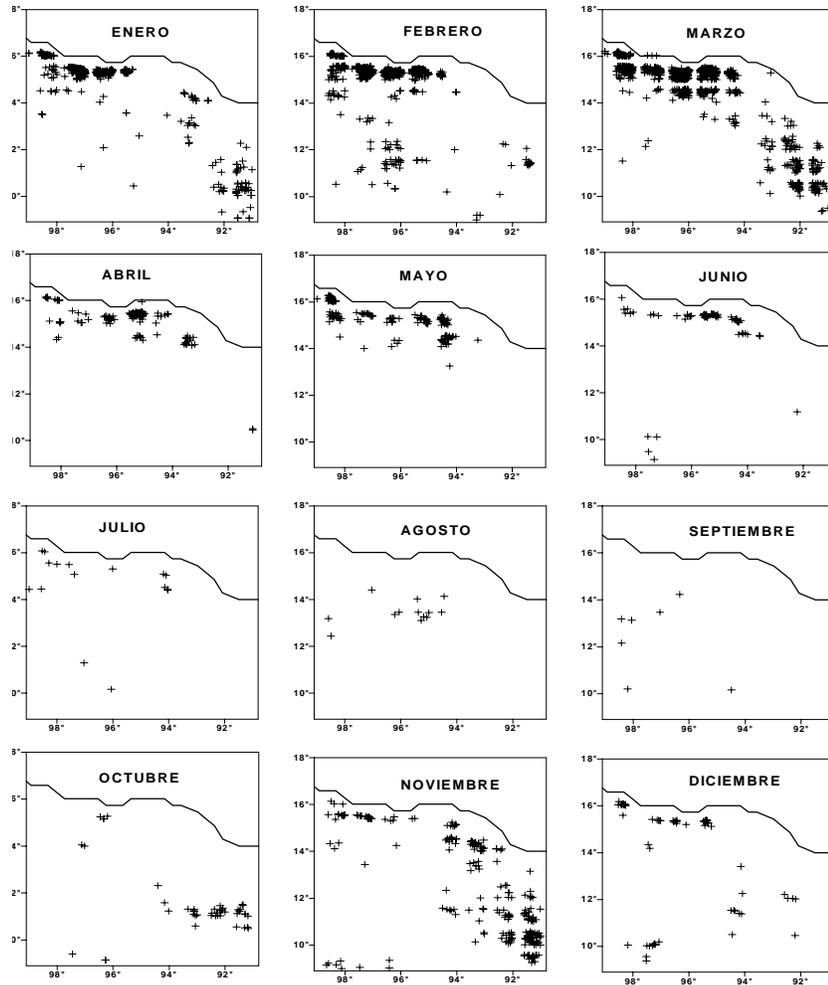
### **El Golfo de Tehuantepec como Centro de Actividad Biológica**

La Tabla 1 muestra como los niveles de concentración pigmentaria en el Golfo de Tehuantepec son en promedio menores que los de otros Centros de Actividad Biológica del Pacífico mexicano. Adicionalmente, se reconoce que su estacionalidad es mucho más marcada y que los niveles correspondientes a la época pobre son mucho menores. Sin embargo, el golfo representa, junto con el Golfo de Papagallo y el Domo de Costa Rica, la única fuente de enriquecimiento, por aporte de nutrientes a la superficie, en toda la región del Pacífico Costero Centroamericano (PCAC). En este sentido, representa un sistema clave respecto del control de la producción de todo el gran ecosistema marino y sus características ecológicas.

### **Necesidades de investigación**

El PCAC se encuentra ubicado entre dos de las regiones de surgencia más importantes del mundo, los sistemas de las Corrientes de California y de Humbolt. Debido a su importancia como proveedores de grandes volúmenes de captura de recursos masivos, estos sistemas han sido ampliamente estudiados, en especial la región de la Corriente de California donde el desarrollo de ambiciosos programas de investigación (por ejemplo CalCOFI) ha permitido que se genere, para ésta zona, la base de datos más completa y de mayor cobertura espacial y temporal del océano mundial.

En contraste, el PCAC es reconocido como una región poco estudiada, gobernada por procesos y características diferentes a aquellos de zonas de surgencia de los bordes de los grandes giros oceánicos, y que alberga una fauna completamente diferente (Bakun *et al.*, 1999). Adicionalmente, representa una



**Figura 9.** Distribución mensual de los lances de pesca realizados por la flota atunera mexicana en el Golfo de Tehuantepec durante 1993-1997.

**Tabla 1.** Comportamiento promedio de la concentración pigmentaria (mg Cl/m<sup>3</sup>) en los Centros de Actividad Biológica del Pacífico mexicano, estimados a partir de valores mensuales por cuadrantes de 1°x1° de datos de satélite CZCS.

BAC	Mes promedio	Máximos anuales	Mínimos anuales
Punta Eugenia	0.5	0.8	0.3
Bahía Magdalena	1.0	1.9	0.5
Golfo de California	1.3	2.2	0.4
Golfo de Tehuantepec	0.3	0.6	0.1

Nota: Por la forma en que se calculan estos valores, deben ser considerados con fines comparativos entre sistemas, no respecto de valores medidos en campo.

de las regiones del planeta donde se generan menor número de observaciones respecto de la variabilidad ambiental y los cambios en las características ecológicas. En este sentido, se reconoce la importancia de desarrollar investigación en ésta zona, con el objetivo de caracterizar y establecer sistemas de observación del ambiente y las comunidades biológicas, incluyendo las poblaciones de los diferentes recursos pesqueros que en ella habitan.

## BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R.L. & R.G. Punsly. 1984. Catch rates as indices of abundance of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the Eastern Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 18(4):301-379.
- Ayala-Duval, E., M. del C. Maldonado-Monroy, J.A. Becerril-Martínez, D.T. García-Tamayo, C. Juárez-Ortíz, J. Blas-Cabrera, V. Barrios-Orozco, J.A. Huerta-González & A. Almaráz-Gomez. 1998. Distribución de algunos componentes del ictioplancton y su relación con la biomasa zooplanctónica, 8:93-102. En: Tapia-García, M. (Ed.). El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos, 240 p. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, 1998. ISBN 970-654-348-1.
- Bakun, A., J. Csirke, D. Lluch-Belda & R. Steer-Ruíz. 1999. The Pacific Central American Coastal LME, 268-280. En: Sherman, K. & T. Qisheng (Eds.). Large Marine Ecosystems of The Pacific Rim: Assessment, Sustainability, and Management.
- Baldwin, W.J. 1977. A review on the use of live baitfishes to capture Skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, in the Tropical Pacific Ocean with emphasis on their behavior, survival, and availability, 8-35. En: Shomura, R.S. (Ed.) Collection of tuna baitfish papers. NOAA Technical Report NMFS. Circular No. 408.
- Blackburn, M. 1962. An Oceanography Study of the Gulf of Tehuantepec. U.S. Fish Wild. Serv., Spec. Sci. Rep. Fish 404, 28 p.
- Barton, E.D., M.L. Argote, J. Brown, P.M. Kosro, M. Lavin, J.M. Robles, R.L. Smith, A. Trasviña & H.S. Velez. 1993. Supersquirt: Dynamics of the Gulf of Tehuantepec, Mexico. Oceanography, 6, 23-30.
- Berry, F. H. & I. Barrett. 1963. Análisis de las branquiespinas y denominación de las especies del arenque de hebra género *Opisthonema*. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 7 (2):1-153.
- Carranza-Edwards A., E. Morales de la Garza, & L. Rosales-Hoz. 1998. Tectónica, sedimentología y geoquímica, 1:1-12. En: Tapia-García, M. (Ed.). El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos, 240 p. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, 1998. ISBN 970-654-348-1.
- Clarke, A. J. 1988. Inertial wind path and sea surface temperature patterns near

- the Gulf of Tehuantepec and Gulf of Papagayo, Journal of Geophysical Research, 93, C12, 15491-15501.
- Di-Mego, G.J., L.F. Bosart & G.W. Endersen. 1976. An examination of the frequency and mean conditions surrounding frontal incursions into the Gulf of Mexico and Caribbean Sea. Mon. Weather Rev., 104:709-717.
- Donguy, J.R. & G. Meyers. 1987. Observed and modeled topography of the 20°C isotherm in the Tropical Pacific. Oceanologica Acta, 10, 41-48.
- Enfield, D.B. & J.S. Allen. 1983. The generation and propagation of sea level variability along the Pacific coast of Mexico, Journal of Physical Oceanography, 10, 557-578.
- Farber-Lorda, J., M.F. Lavín, M.A. Zapatero & J.M. Robles. 1994. Distribution and abundance of Euphasiids in the Gulf of Tehuantepec during wind forcing. Deep-Sea Research I, 41, 2:359-367.
- Fiedler, P.C. 1994. Seasonal and Interannual variability of coastal zone color scanner phytoplankton pigments and winds in the eastern tropical Pacific. Journal Geophys. Res., 99:18, 371-384.
- Gallardo-Cabello, M., M. Jacob-Cervantes & X. Chiappa-Carrara. 1991. Análisis de los hábitos alimentarios y el aporte de carbono de las presas a la dieta de la sardina crinuda, *Opisthonema libertate*, Gunther 1866 (Pisces: Clupeidae) en el Golfo de California. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM, 18 (1): 37-48.
- Gallegos-García, A. & J. Barberán-Falcón, 1998. Surgencia eólica, 3:27-34. En: Tapia-García, M. (Ed.). El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos, 240 p. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, 1998. ISBN 970-654-348-1.
- González, P.G. & M. Ramírez. 1989. Zonas y épocas de reproducción del atún aleta amarilla *Thunnus albacares* en el Pacífico mexicano, Investigaciones Marinas CICIMAR, 4(2):201-209.
- Howard, G.V. 1952. Tuna Commission studies the bait fishes. Pan-American Fisherman, 7(5): 9, 22.
- Kessler, W.S. 1990. Observations of long Rossby waves in the Northern Tropical Pacific. Journal of Geophysical Research. 95:5183-5217.
- Lavín, M.F., J.M. Robles, M.L. Argote, E.D. Barton, R.L. Smith, J. Brown, M. Kosro, A. Trasviña, H.S. Vélez & J. García. 1992. Física del Golfo de Tehuantepec, Ciencia y Desarrollo, XVIII, 97-107.
- Legeckis, R. 1988. Upwelling off the Gulfs of Panama and Papagayo in the Tropical Pacific During March 1985. Journal of Geophysical Research, 93, C12, 15485-15489.
- Lluch-Cota, S.E. 1995. Variación espacio-temporal de pigmentos fotosintéticos en el Golfo de Tehuantepec derivados de datos de satélite (CZCS). Tesis de Maestría CICIMAR. 47p.

- Lluch-Cota, S.E., S. Alvarez-Borrego, E.M. Santamaría-del-Angel, F.E. Mueller-Karger & S. Hernández-Vásquez. 1997. El Golfo de Tehuantepec y áreas adyacentes: Variación espacio-temporal de pigmentos fotosintéticos derivados de satélite. *Ciencias Marinas*, 23(3): 329-340.
- Maxwell, W.D. 1974. A history of California live-bait fishing industry. Marine Resources Technical Report No. 27, *California Fish and Game*, 24 p.
- Molina-Cruz, A. & M. Martínez-Lopez. 1994. Oceanography of the Gulf of Tehuantepec, Mexico, indicated by Radiolaria remains. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 110: 179-195.
- Monreal-Gómez, M.A. & D.A. Salas-de-León. 1998. Dinámica y estructura termohalina, 2:13-26. En: Tapia-García, M. (Ed.). *El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos*, 240 p. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, 1998. ISBN 970-654-348-1.
- McCreary, J.P., H.S. Lee & D. B. Enfield. 1989. The response of the coastal to strong offshore winds: with application to circulation in the Gulfs of Tehuantepec and Papagayo. *Journal of Marine Research*, 47:81-109.
- Ortega-García, S. & S. Lluch-Cota. 1996. Distribución de la abundancia relativa de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) y su relación con la concentración de pigmentos fotosintéticos medidos por satélite en aguas al sur de México. *Investigaciones Geográficas Boletín del Instituto de Geografía*, Número Especial 4:85-93p.
- Ortega-García, S. 1998. *Análisis espacio-temporal de la abundancia de atún en el océano Pacífico Oriental*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- Peterson, C.L. 1956. Observations on the taxonomy, biology, and ecology of the engraulid and clupeid fishes of the Gulf of Nicoya, Costa Rica. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 1(5): 139-211.
- Ritter-Ortíz, W. & S. Guzmán-Ruíz. 1984. Modelo generalizado de producción pesquera con dependencia ambiental. Una aplicación al Golfo de Tehuantepec. *Revista Geofísica*, 20: 21-29.
- Robles-Jarero, E.G. & J.R. Lara-Lara, 1993. Phytoplankton productivity in the Gulf of Tehuantepec. *J. Plank. Res.* 15:1341-1358.
- Roden, G.I. 1961. Sobre la circulación producida por el viento en el Golfo de Tehuantepec y sus efectos sobre las temperaturas superficiales. *Geofísica Internacional* 1:55-76.
- Rodríguez-Sánchez, R. 1989. *Taxonomía de las especies del género *Opisthonema* (sardina crinuda) en el noroeste de México*. Tesis de Maestría. CICIMAR-I.P.N., La Paz, B.C.S., México. 101 pp.
- Romero-Ibarra, N. & A. Esquivel-Herrera. 1989. Análisis del contenido gástrico de adultos de *Opisthonema libertate* y su comparación con el plancton circundante. *Invest. Mar. CICIMAR*, 4(2): 267-279.

- Strong, A.E., R.J. de Rycke & H.G. Stumpf. 1972. Satellite detection of upwelling and cold waters eddies . Proc. 8<sup>th</sup> Int. Symp. Rem. Sens. Envir., Environmental Research Institute of Michigan Ann Arbor, 1097-1081.
- Stumpf, H.G. 1975. Satellite detection of upwelling in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. Journal of Physical Oceanography, 5, 383-388.
- Stumpf, H.G. & R.V. Legeckis. 1977. Satellite observations of mesoscale eddy dynamics in the Eastern Tropical Pacific Ocean. Journal of Physical Oceanography, 7, 648-658.
- Tapia-García, M. & B. Gutiérrez-Díaz. 1998. Recursos pesqueros de los estados de Oaxaca y Chiapas, 11: 149-162. En: Tapia-García, M. (Ed.). El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos, 240 p. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, 1998. ISBN 970-654-348-1.
- Trasviña, A., E.D. Barton, J. Brown, H.S. Vélez, P.M. Kosro & R.L. Smith. 1995. Offshore wind forcing in the Gulf of Tehuantepec , Mexico: the asymmetric circulation. Journal of Geophysical Research, 100, 20, 649-20, 663.
- Trasviña, A. & E.D. Barton. 1997. Los “Nortes” del Golfo de Tehuantepec: la circulación costera inducida por el viento. Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Monografía 3, Unión Geofísica Mexicana, 1997.
- Vázquez-Gutiérrez & Alexander-Valdés. 1993. La química marina de las costas nacionales de México. Geo-Univ. Nal. Autón. Méx., 2:34-41.
- Wood, R. & A.R. Strachan. 1970. A description of the northern anchovy live bait fishery, and the age and length composition of the catch during the seasons 1957-58 through 1964-65. California Fish and Game, 56(1): 49-59.
- Wyrki, K. 1967. Circulation and water masses in the Eastern Pacific Ocean. International Journal of Oceanology and Limnology. 1:117-147.

# RECAPITULACIÓN

*Daniel Lluch-Belda, Juan F. Elorduy-Garay, Salvador E. Lluch-Cota & Germán Ponce-Díaz*

## INTRODUCCIÓN

La heterogeneidad de la productividad oceánica no es un descubrimiento reciente y la existencia de áreas comparativamente pequeñas de alta productividad ha sido descrita anteriormente. El enfoque de los Centros de Actividad Biológica (BAC) es, más que nada, reconocer la existencia de tales áreas y utilizar su característica de puntos de concentración biológica y, por lo mismo, de información.

La lógica del proyecto se basa en las siguientes características de los BAC:

1. Su aportación a la productividad total del ecosistema es considerable.
2. Son regiones de productividad incrementada permanente.
3. Funcionan como muestras concentradas del ecosistema.
4. Se encuentran en áreas fijas.

Las dos primeras tienen relevancia ecológica indudable: no sólo se origina en ellas una porción importante de la biomasa total del sistema, sino que su permanencia permite la existencia de poblaciones masivas en un ambiente costero que varía entre estaciones ricas y pobres resultantes de los cambios en las surgencias. Una consecuencia de esta última característica es el hecho de que el tamaño de estas poblaciones masivas podría estar determinado por la condición del BAC en que se refugian durante la estación pobre.

Las dos últimas características tienen implicaciones importantes para su elección como sujetos de estudio; primero, son las áreas en las que podemos obtener mayor cantidad de información en menor espacio estudiado; segundo, su localización es predecible.

### **Antecedentes del proyecto**

Originalmente, el interés se derivó del reconocimiento de que las poblaciones de sardina (*Sardinops sagax*) se concentran en áreas específicas durante las temporadas de baja productividad. Gracias a un financiamiento del Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI, IAISG ATM95-30224) fue posible organizar una serie de talleres para explorar el reconocimiento de la existencia de tales áreas en otras regiones.

En el primer taller internacional (Tabla 1) se identificaron áreas similares de alta concentración biológica en otras latitudes y se conceptualizó el proyecto; asimismo, se señalaron investigadores e instituciones potencialmente participantes, que se reunieron en el segundo taller internacional. En éste se

**Tabla 1.** Listado de participantes en los talleres de trabajo.

Participante	Institución	I Taller Internacional	II Taller Internacional	Taller Nacional
Aída Martínez López	CICIMAR-IPN, México		x	x
Alejandro Parés-Sierra	CICESE, México		x	
Alma Rosa García Juárez	INP, México			x
Alvaro Morales	CIMAR, Costa Rica		x	
Amando Leyva-Contreras	UNAM, México		x	x
Andrés Levy Pérez	CICIMAR-IPN, México		x	x
Andrew Bakun	FAO (Observador)	x		
Angélica Peña	IOS, Canadá		x	
Armando Vega Velázquez	INP, México			x
Brent Hargreaves	PBS, Canadá		x	
Daniel B. Lluch Cota	CIBNOR, México	x	x	x
Daniel Lluch Belda	CIBNOR, México	x	x	x
Daniel Ware	PBS, Canadá	x		
David Fluharty	UW, EUA		x	
Eduardo Valdez Holguín	DICTUS, México			x
Edgar Alcántara Razo	CIBNOR, México			x
Francisco de La Chica-Bonilla	CICIMAR-IPN, México		x	x
Georgina Gluyas Millán	INP, México		x	x
Germán Ponce Díaz	CIBNOR, México		x	x
Gustavo Hernández Carmona	CICIMAR-IPN, México		x	x
Iván Rivera	INP, México			x
Jaime Gómez-Gutiérrez	CICIMAR-IPN, México			x
Jon Elorduy-Garay	CICIMAR-IPN, México			x
Juana López-Martínez	CIBNOR, México			x
Juli Berwald	UCS, EUA		x	
Laura Sánchez-Velasco	CICIMAR-IPN, México		x	x
Luis Brito-Castillo	CIBNOR, México			x
Manuel Nevárez Martínez	INP, México		x	x
Marco Sánchez Hidalgo	CICIMAR-IPN, México		x	x
Margarita Casas Valdez	CICIMAR-IPN, México		x	x
Mario Ramade-Villanueva	FRCPP, México		x	x
Martin Dorn	FSC, EUA		x	
Martín Hernández-Rivas	CICIMAR-IPN, México		x	x
Miguel Ángel Cisneros-Mata	INP, México			x
Nathan Mantua	UW, EUA		x	
Norman Silverberg	CICIMAR-IPN, México		x	x
René Funes-Rodríguez	CICIMAR-IPN, México		x	x
Ricardo Palomares	CICIMAR-IPN, México		x	x
Ricardo Saldierna-Martínez	CICIMAR-IPN, México		x	x
Rubén Rodríguez Sánchez	CICIMAR-IPN, México		x	x
Rufino Morales-Azpeitia	CIBNOR, México			x
Salvador E. Lluch-Cota	CIBNOR, México	x	x	x
Sergio Hernández-Trujillo	CICIMAR-IPN, México		x	x
Sergio Hernández-Vázquez	CIBNOR, México	x	x	x
Timothy Baumgartner	CICESE, México			x
Warren Wooster	UW, EUA	x	x	
William Peterson	NWFSC, EUA		x	

analizó la estrategia y etapas generales del proyecto y se formularon las preguntas científicas básicas.

Posteriormente, el primer taller nacional estableció lineamientos de acción específicos para iniciar el proyecto en su primera etapa. Uno de tales lineamientos fue la integración del presente volumen. Una serie de proyectos específicos, congruentes con el planteamiento general, se lleva a cabo en la actualidad.

El enfoque principal se propuso al Panel de Recursos Vivos del Mar (LMR) del Sistema Global de Observación de los Océanos (GOOS) y fue adoptado como proyecto piloto.

### Las preguntas básicas y respuestas a las mismas en este volumen

En el presente trabajo pretendemos integrar parte de la información contenida en los distintos capítulos y evaluar hasta qué grado responden a las preguntas básicas, así como proponer algunas de las líneas futuras a seguir. En la discusión siguiente, los números entre paréntesis indican el número del capítulo que hace referencia a la pregunta. En la Tabla 2, puede consultarse la región, temas y enfoques abordados por cada uno de los capítulos.

### Los mecanismos físicos que resultan en la existencia de los BAC

De entre las preguntas básicas planteadas, las que se refieren a mecanismos físicos fundamentales han sido básicamente abordadas por biólogos y no por los especialistas adecuados. Por lo mismo, las respuestas no dejan de ser deducciones indirectas a partir del comportamiento de los organismos o descripciones sinópticas de grandes áreas, basadas en comportamiento de variables físicas.

**Tabla 2.** Regiones, temas y enfoques abordados por cada uno de los 22 capítulos de aportaciones.

Capítulo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
<i>Aportaciones por BAC</i>																							
Punta Eugenia				x	x	x	x				x	x		x									
Golfo de Ulloa				x					x	x	x		x	x	x								x
Golfo de California														x		x	x	x	x	x	x		
Golfo de Tehuantepec																							x
Otras zonas					x		x	x						x									
>1 BAC o ninguno particular	x	x	x	x																			
Comparativo entre BAC			x	x			x	x						x									
<i>Aportación por pregunta</i>																							
1) Procesos físicos	x	x	x		x		x	x	x					x				x		x			x
2) Variabilidad	x	x	x				x	x	x					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Escala estacional</i>				x					x	x				x				x	x	x	x	x	
<i>Escala interanual (ENSO)</i>	x			x					x	x	x			x	x	x		x				x	
<i>Cambio climático</i>	x	x	x						x									x	x				
3) Ecosistemas				x	x	x			x	x	x	x	x							x	x		x
<i>Productores primarios</i>				x	x				x	x	x	x	x										
<i>Productores secundarios</i>				x	x	x								x	x								
<i>Consumidores</i>				x	x	x																	
<i>Varios niveles</i>				x	x	x																	x
4) Pesquerías																							x
5) Dimensión humana	x		x																				x
<i>Enfoque del trabajo</i>																							
Revisión	x		x		x		x	x	x	x	x	x	x		x	x			x	x	x	x	x
Contiene inventario						x				x	x	x		x									x
Propuesta metodológica	x	x	x			x	x	x						x									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	

*¿Cuál es la naturaleza del forzamiento atmosférico y oceánico de la circulación local?*

En la costa occidental de la península, los patrones de circulación de mesoescala, tanto atmosféricos como oceánicos, están básicamente determinados por la dinámica de la Corriente de California (5, 7). En el Golfo de California el forzamiento es de escala regional, tipo monzónico con fuertes variaciones estacionales evidentes en reversión de flujos superficiales tanto atmosféricos (vientos) como de circulación superficial del mar (17). En Tehuantepec la circulación está determinada por la Corriente norecuatorial, excepto durante periodos cortos en el invierno donde la influencia de fuertes vientos provenientes del Atlántico modifican las condiciones regionalmente (22).

*¿Cómo se incorporan los nutrientes a la capa superficial?*

A lo largo de los trabajos, se reconocen tres procesos principales mediante los cuales los nutrientes son llevados a la superficie: surgencias tipo Ekman (costa occidental y Golfo de California: 8, 17, 19), mezcla por mareas (Golfo de California: 17, 18) y surgencias por arrastre hacia afuera de la costa (22).

*¿Cómo se mantiene la estratificación de la capa superficial?*

Los procesos de estratificación, que permiten la proliferación de productores primarios, resultan también de tres mecanismos diferentes: en la costa occidental de la Península existen estructuras oceanográficas semipermanentes (giros) a los que llegan aguas enriquecidas en las cercanas zonas de surgencia (2, 7) que son retenidas, lo que resulta en estratificación hacia el centro del giro (7). En el Golfo de California, el patrón de circulación es una consecuencia de que la zona central funcione como estructura de retención y estratificación (17), mientras que en el Golfo de Tehuantepec los vientos fuertes son seguidos de periodos de calma durante los cuales se estratifica la columna de agua (22).

*¿Cómo afecta la circulación prevaleciente la retención y concentración de organismos planctónicos, incluyendo larvas de peces?*

*¿Cómo difieren estos procesos en los BAC con aquellos de los ambientes adyacentes?*

Aparentemente, al menos en el caso de la costa occidental, los mecanismos de retención y concentración de material, incluido plancton y larvas de peces, está básicamente asociado a las estructuras semi permanentes (6, 7); se reconocen algunas regiones aledañas donde existen también altos niveles de producción pero en las que el material se pierde rápidamente mar afuera (4, 7).

## **Cambios temporales de los procesos físicos, desde la escala estacional hasta secular**

*¿Cuáles son los cambios promedio estacionales de la circulación atmosférica y cuáles son sus consecuencias sobre la disponibilidad de nutrientes, estratificación, dispersión y advección lateral?*

*¿Cómo varían interanualmente, desde años hasta siglos?*

La variabilidad ambiental a diferentes escalas temporales es importante en la zona del Pacífico mexicano, por sus características como zona de transición (1). Existen descripciones respecto de cómo varían las condiciones atmosféricas que generan surgencias en las diferentes regiones: en la costa occidental existe un máximo de primavera-verano en la intensidad de los vientos noroeste, en el Golfo de California la circulación y vientos apropiados para generar surgencias en la costa continental se presentan en el invierno al igual que la incidencia de episodios de viento intenso (nortes) hacia afuera de la costa en el Golfo de Tehuantepec (22).

En el Golfo de California, existe además aporte de nutrientes de manera independiente a la variabilidad interanual gracias a la mezcla por mareas en la zona de las grandes islas. Sin embargo, no existe claridad en cómo varía a lo largo del año la intensidad y tamaño de las estructuras oceanográficas de retención en los BAC de la costa occidental, ni cuál es la importancia relativa y cómo cambian a lo largo del año los dos principales mecanismos de enriquecimiento en el Golfo de California.

Existen algunas pistas sobre como cambian algunas de las características a escalas interanuales (1, 9, 12, 13, 16); sin embargo, no tenemos una idea totalmente clara de los mecanismos involucrados ni siquiera a escala intraanual, y en ese sentido no podemos extrapolar; prácticamente no hay variables observadas a largo plazo, y las pocas que existen no sabemos cómo se relacionan con los procesos físicos que controlan la producción biológica.

Si bien tenemos aparentemente ideas más o menos claras acerca de cómo funcionan los BAC del Pacífico mexicano, se basan mayormente en piezas aisladas de información publicada, observaciones no dirigidas e interpretaciones hechas a partir de los estudios biológicos. No contamos con descripciones finas de estos procesos, no sabemos cómo evaluarlos en el tiempo, cómo predecir su comportamiento ni cómo pueden responder ante diferentes escenarios de cambio.

Para lograr estas capacidades necesitaríamos que se involucrara personal del área de oceanografía física, tanto observacional como de modelación, y que intervengan no sólo en la descripción fina y evaluación de los procesos antes mencionados, sino también en su cuantificación, la identificación de agentes forzantes en la mesoescala (campos de viento, ondas oceánicas, contenido de calor, etc.), modelación y diseño de esquemas de monitoreo de largo plazo.

La primera conclusión que se deriva del análisis de los capítulos es que hemos tenido una participación mayoritaria de biólogos y muy pobre de oceanógrafos; por lo mismo, las descripciones deben considerarse preliminares.

## Características del ecosistema de los BAC en sus distintos niveles tróficos y sus cambios temporales

*¿Cuáles son las principales especies de plancton, algas, vertebrados e invertebrados de los distintos niveles tróficos?*

Nuestro nivel de conocimiento en cuanto a las especies que habitan los BAC del Pacífico mexicano es bastante aceptable. Podemos decir que se conocen y se han muestreado la mayor parte de las especies de fitoplancton (9, 10), zooplancton (12) e ictioplancton (13).

Respecto a cuáles son las principales especies, los estudios llevados a cabo por los especialistas permiten tener respuestas razonablemente adecuadas. Este conocimiento es, en general, bueno para todos los BAC mencionados en este libro. Quizá el de más pobre conocimiento sea el Golfo de Tehuantepec, y el más conocido y estudiado el de Punta Eugenia.

También se tiene un conocimiento bastante acertado de las especies de macroalgas (11). Sólo en Punta Eugenia existen 136 especies diferentes, aunque no todas tienen valor comercial. Existen estudios detallados en cuanto a las especies importantes - biomásas cosechables, producción, etc.- de macroalgas de la costa occidental de la Península de Baja California. Mucho menor es, sin embargo, el nivel de conocimiento de las especies del Golfo de California o del de Tehuantepec.

En cuanto al zooplancton, distintos especialistas han estudiado algunos grupos particulares, como copépodos, eufáusidos, quetognatos, sifonóforos, etc. También existen buenos registros de biomásas zooplanctónicas en los distintos BAC, en distintas condiciones oceanográficas y en las estaciones del año (12, 18, 19).

El ictioplancton ha sido quizá el grupo más estudiado bajo distintos puntos de vista, dadas las consecuencias que puede tener el conocimiento generado en el comportamiento y administración de las pesquerías de la zona. En la costa occidental de Baja California se han identificado del orden de 350 especies de peces, la mayoría de ellos de carácter pelágico costero (13).

El panorama es bastante menos halagüeño en referencia a los macroinvertebrados y vertebrados. Si bien se conocen la existencia y las distribuciones de la mayor parte de los moluscos (15, 21), crustáceos (20) y peces, estamos muy lejos de saber con cierto detalle, tan siquiera las historias de vida de la mayoría de las especies. Sólo existen estudios sobre las principales especies pesqueras, aunque no todas. Lo mismo podemos decir sobre la dinámica poblacional de la mayoría. De hecho, se tienen atisbos de la dinámica de poblaciones de especies como el camarón café (*Farfantepenaeus californiensis*), la anchoveta del norte (*Engraulis mordax*), la sardina Monterey (*Sardinops caeruleus*), la merluza del Pacífico (*Merluccius productus*), el atún aleta amarilla (*Tunnus albacares*) y pocos más. Ciertamente se han realizado una serie de esfuerzos puntuales para conocer la biología básica y dinámica poblacional de otras especies, pero todavía el conocimiento es una fracción insignificante con respecto a lo conocido. También existen datos relevantes

sobre vertebrados superiores – aves y mamíferos marinos – que en los últimos años han recibido una atención considerable.

*¿Cuál es la naturaleza de sus interacciones?*

Hay razonable información acerca de la naturaleza de las interacciones entre organismos del mismo o distintos niveles tróficos (8), al menos de acuerdo a la teoría ecológica y biológica general. Es decir, reconocemos los eventos de competencia y depredación en sus términos más generales. No existen, sin embargo, estudios cuantitativos detallados sobre la mayor parte de organismos en cuanto a sus interacciones. Existe, por ejemplo, una amplia literatura sobre hábitos alimenticios de muy diversas especies que habitan en los BAC.

Los conocimientos existentes sirven para tener una base de trabajo imprescindible para aplicar otras metodologías. Una de ellas es la que se presenta en el capítulo 2 del presente libro que destaca la importancia y utilidad de los BAC como unidades de modelación. Esta aproximación es interesante si se utiliza a modo de “vaivén”. Es decir, un modelo como ECOPATH y sus asociados ECOSIM y ECOSPACE pueden, en su origen, servir para “rellenar huecos de información”; una vez detectadas dichas faltas o fallas de información se podría volver al terreno para constatar si las predicciones del modelo son acertadas. Este sería un método de avance más racional y más barato para conocer las interacciones principales entre los organismos.

Existen desde luego otros métodos de modelación y de monitoreo. Actualmente, los métodos de monitoreo que utilizan sensores remotos tienen un avance considerable. Permiten la observación de fenómenos de mediana y gran escala espacial que proporcionan una visión más general y, por tanto, una posibilidad de conocimiento más holístico. Dichos métodos de monitoreo remoto nos han de servir fundamentalmente para perfilar las áreas y tiempos en que se debieran realizar muestreos específicos que nos ayuden a comprender la dinámica de los diferentes componentes del ecosistema. También pueden ayudarnos sobremanera a definir de manera más precisa los límites de los BAC, tanto espaciales como temporales.

*¿Es el BAC un área de desove o crianza de las especies principales?*

Aparentemente sí, aunque no tengamos una certeza absoluta en todos los casos. La pregunta entraña nuestra incertidumbre sobre la ubicación en espacio y tiempo de los BAC y sus variaciones (4, 6, 7, 14). Existen una serie de estudios e investigaciones que han tratado de correlacionar las variaciones de la productividad primaria y de la biomasa zooplanctónica con los productos de desove de varias especies, sobre todo de los denominados pelágicos menores. Prácticamente todos ellos confirman la existencia de un acoplamiento, en mayor o menor grado, entre los sucesivos eventos que van escalando la cadena trófica. Sin embargo, la variabilidad de los ecosistemas es de tal magnitud, el número de componentes y variables que intervienen es tan amplio, que es difícil precisar las consecuencias de un determinado fenómeno primario.

Es evidente que todo lo que sucede en las comunidades de un BAC es producto, en principio, de las características físicas y químicas del mismo y de

su evolución en tiempo y espacio (3). Así, los biólogos hablamos frecuentemente de las consecuencias que un frente, un giro o una surgencia tienen sobre la producción primaria y, a su vez, sobre los subsecuentes escalones tróficos.

La dificultad está en que si bien un frente oceánico puede ser delimitado y definido físicamente de una manera bastante precisa, sus consecuencias en las tramas tróficas se van “diluyendo” en el espacio y en el tiempo. Los fenómenos de surgencia provocan crecimientos explosivos de productores primarios en periodos de días; éstas, a su vez, generan crecimientos de la biomasa zooplanctónica en periodos de semanas a meses, en un área frecuentemente mayor o, cuando menos, desplazada con respecto al origen del fenómeno físico; la abundancia de fitoplancton y zooplancton tendería a generar un aumento de las poblaciones de consumidores que tienen ciclos de vida en el orden de meses hasta años. El corolario es que las escalas de tiempo y espacio a las que debemos atender son variables dependiendo del grupo que queramos estudiar; esto dificulta asegurar que un BAC sea un área de crianza para una especie o grupo de especies dado. Se ha verificado, sin embargo, que las mayores biomásas de desove se producen en lugares característicos de la costa, concretamente los BAC; pero también se producen desoves, de las mismas especies, en zonas que aparentemente no corresponderían con las características de un BAC. Así, podríamos poner la pregunta original de este apartado de otra forma: ¿Las especies principales “eligen” los BAC como áreas de desove y crianza de sus productos? Y si es así ¿Cuáles son los mecanismos de las especies para “elegir” el momento y lugar adecuados?

*¿Cómo varía la abundancia y distribución de estas especies estacionalmente y a escalas interanuales?*

Tenemos una idea bastante aproximada de las variaciones estacionales de la distribución y abundancia de una buena parte de las especies que se encuentran en un BAC o sus alrededores. En este libro existen numerosas referencias y varios capítulos dedicados al análisis de la variabilidad estacional de los diversos grupos; más concretamente del fitoplancton y la productividad primaria, así como del zooplancton (5, 7, 9, 10, 12, 13, 18, 19). También existe una amplia bibliografía que relata las variaciones, en diferentes escalas de tiempo, de muchas de las especies comercialmente más importantes. Los mecanismos, sin embargo no están del todo claros aunque se han avanzado hipótesis diversas. Los estudios de series de tiempo de variables físicas en combinación con datos de productividad, abundancia de ictioplancton, de datos paleontológicos, están ofreciendo resultados muy interesantes en distintas escalas de tiempo. En este libro concretamente se presentan varias propuestas para analizar datos biológicos y ecológicos en el contexto de las variaciones físicas de los BAC a lo largo del tiempo.

Las tres escalas de tiempo que habitualmente se manejan son: la estacional o microescala, la interanual o mesoescala –período de varios años a varias décadas- y la interdecenal o secular o macroescala. Los conocimientos base, sobre las especies o poblaciones, necesarios para entender las variaciones de abundancia y distribución son necesariamente de distinto carácter en el estudio

de cada una de las escalas. Pero, además, también hay que tener en cuenta los ciclos de vida propios de cada especie. Es decir, una generación de merluza –con una longevidad promedio de unos 14 años- contendrá varias generaciones de anchovetas que, a su vez contendrán varias generaciones de copépodos o eufáusidos. Entonces el problema es ¿Cómo conectamos las variabilidades de cada una de estas especies en una escala común de tiempo?

*¿Cómo difieren estas características de los BAC de aquellas de los ambientes adyacentes?*

Por lo que se ha dicho en los apartados anteriores, es claro que los BAC son entidades reales en cuanto a su mayor productividad primaria y secundaria, bien sea estacionalmente o de forma continua. También es claro que muchas especies comerciales han adaptado sus ciclos de reproducción a los tiempos y las zonas de los BAC. Así pues, las características de los BAC son claramente diferentes a las de los ambientes adyacentes. Sin embargo, existen especies que aparentemente no explotan directamente los BAC, más bien parecen encontrarse en sus alrededores y, en ocasiones, distribuidas independientemente de las zonas de mayor producción primaria y/o secundaria.

Por tanto, tendríamos que ser muy cuidadosos en diferenciar las especies típicas de los BAC, aquellas que los usan o explotan directamente. Por otro lado, tendríamos que identificar las especies que utilizan recursos que quizás provengan de una zona de mayor producción pero que, debido a fenómenos como los de dispersión mencionados previamente, no se encuentran en tiempo y área en los BAC .

### **Características de los sistemas pesqueros asociados y sus cambios temporales**

*¿Cuáles son las principales pesquerías?*

*¿Qué métodos de pesca se emplean, por quiénes y qué volúmenes obtienen?*

*¿Cuál es el patrón estacional de pesca, y cómo han cambiado los sistemas pesqueros interanualmente?*

*¿Cómo se manejan estas pesquerías?*

Dado que las pesquerías se han estudiado en general bajo un enfoque tradicional, la conexión entre éstas y los BAC no es específicamente claro, aunque sí intuitivamente evidente. Pocas son las especies comerciales cuya extracción está limitada a los BAC o sus alrededores inmediatos, pero entre ellas destacan las de macroalgas y los invertebrados bentónicos asociados, como abulones, langostas, erizos, etc.

A pesar de que el conocimiento pesquero es considerable y responde a las preguntas básicas, especialmente en la costa occidental de Baja California y el Golfo de California (ver p. ej. Casas V. y Ponce D. (eds.) 1996), sólo cinco de los capítulos incluidos tratan temas de pesca en sí (11, algas; 15, almejas; 20,

camarón; 21, calamar y 22, atunes). Entre éstos, sólo uno se refiere a especies cuya distribución está estrechamente relacionada con los BAC.

La limitada participación de los investigadores pesqueros nos señala que el papel de los BACs no ha sido percibido como crucial para la abundancia de los recursos de importancia comercial.

### **Las consecuencias de cambios y variaciones del funcionamiento de los BAC sobre los valores sociales, culturales y económicos**

*¿Cuál es la historia del uso de los recursos marinos?*

*¿Cuál es la importancia económica y social de las pesquerías?*

*¿Hasta qué punto los cambios en los patrones de uso han sido forzados por la abundancia o disponibilidad de los recursos y hasta qué otro lo han sido de actividades humanas que afectan el esfuerzo pesquero?*

*¿Qué otros usos del mar y sus recursos son significativos, cómo han cambiado en el tiempo y cómo pueden ser afectados por variaciones climáticas?*

*¿Cuáles son las probables consecuencias sociales, económicas y políticas del cambio climático?*

Desde la perspectiva del análisis de los impactos en la producción pesquera en los Centros de Actividad Biológica, los diferentes capítulos que conforman este libro no permiten avanzar mucho en la formulación de respuestas sobre las características de los sistemas pesqueros asociados a estos centros y sus cambios en el tiempo, así como de las consecuencias relacionadas por estas variaciones con respecto a los entornos económicos y sociales en la regiones de influencia.

Si bien se señala la necesidad de procurar la descripción de los procesos para generar una base de información lo más confiable posible que permita reducir la incertidumbre y estar en capacidad de tomar eventualmente medidas sobre uso y manejo de recursos pesqueros de manera racional, tal que permitan un flujo de beneficios económicos a la sociedad.

Por ejemplo, el componente ficológico de la región de Punta Eugenia permite una alta generación de biomasa a partir de la cual se soporta una serie de recursos pesqueros de alta importancia económica como abulón, langosta y caracol. Estas pesquerías representan los principales ingresos económicos de la región, por lo que poblados enteros de la zona dependen completamente de ellas; los montos que generan tienen un impacto relevante en el contexto de la pesca mexicana.

Las variaciones interanuales seguramente asociadas a los cambios en los BAC impactan a recursos costeros como la almeja catarina (15) en Bahía Magdalena, que ha presentado cambios extremos de abundancia a lo largo del tiempo. En condiciones de alta abundancia, la derrama económica en la región es considerable, así como el número de empleos generados, por lo que se tiene un impacto significativo en la zona. Esta es tan sólo una de tantas pesquerías ribereñas en las zonas asociadas a los BAC que resulta en condiciones

económicas y de empleo considerables en alta abundancia y en verdaderas catástrofes cuando disminuye a niveles bajos.

Tres de los capítulos abordan el problema de la variabilidad natural en la abundancia de los recursos de camarón (20), calamar (21) y atún, con enormes consecuencias en la economía nacional, regional y el empleo; el hecho mismo de explorar su potencial relación con los BAC revela una búsqueda de conexiones que hasta ahora no son claras, pero que dan idea de los potenciales beneficios de dilucidarlas.

## CONCLUSIONES

De los párrafos anteriores pueden entresacarse algunas conclusiones relevantes para los propósitos del presente volumen:

1. Los investigadores mayormente interesados en el tema de los BAC han sido especialistas en oceanografía biológica (biología marina), particularmente aquellos con orientación sinecológica derivada del estudio del plancton por una parte y aquellos cuyo interés se centra en las relaciones entre los organismos y el ambiente por la otra.
2. No se ha establecido una conexión evidente entre BAC y recursos pesqueros, lo que resulta en que los especialistas no han percibido aún la importancia potencial del estudio de estas estructuras. Es evidente que la amplia distribución de las poblaciones sujetas a pesca (que son mayormente de niveles tróficos superiores) no permite apreciar la importancia de áreas pequeñas.
3. Es claro que el tema no ha logrado captar la atención de los oceanógrafos físicos y químicos de manera suficiente. Es posible que lo limitado de la extensión de que se trata no concuerde con la perspectiva normal de sus campos.
4. La falta de trabajos acerca de la “dimensión humana” del problema, particularmente las consecuencias de cambios y variaciones del funcionamiento de los BAC sobre los valores sociales, culturales y económicos refleja una problemática muy generalizada de las ciencias marinas en México, que carecen de especialistas interesados en estos temas.
5. A lo largo de los capítulos se percibe la potencial utilidad del estudio de los BAC como objetos de monitoreo. Esta es, posiblemente, una de las más importantes aplicaciones prácticas del tema.

En cuanto a lineamientos para trabajos futuros, se sugiere:

1. Lograr la integración de oceanógrafos al proyecto.
2. Propiciar el trabajo en grupos de investigadores que favorezca la integración de conocimientos de oceanografía biológica, especialmente orientados al análisis de interacciones.
3. Iniciar la discusión con grupos de trabajo en otros países.

**El Libro**  
**BAC: Centros de Actividad Biológica**  
**del Pacífico mexicano,**  
**se terminó de imprimir en los**  
**talleres gráficos del**  
**Centro de Investigaciones Biológicas**  
**del Noroeste, S.C.**  
**en el mes de diciembre de 2000.**  
**Su tiraje fue de 500 ejemplares.**

