

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

# 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 Zárate & 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

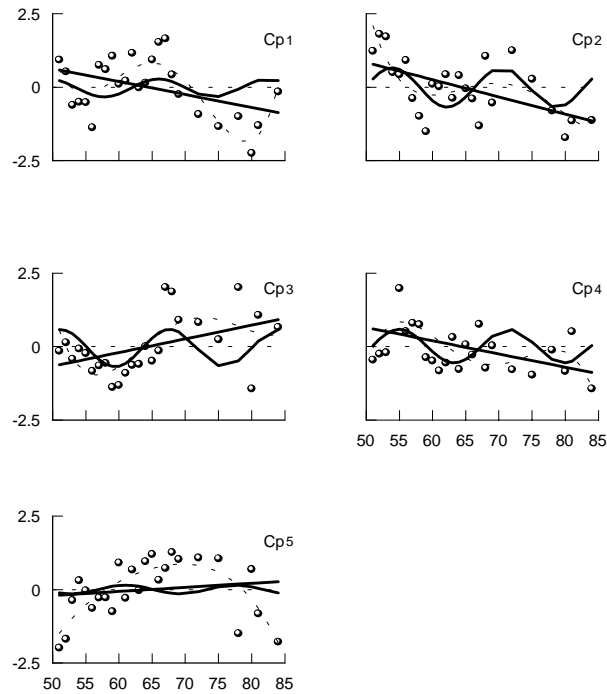
**Tabla 1.** Correlación especies – componentes principales. Se señala para cada serie el índice máximo de correlación **con caracteres más marcados** y con \* los valores de  $r$  que indican correlación con  $P < 0.05$ .

| 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.

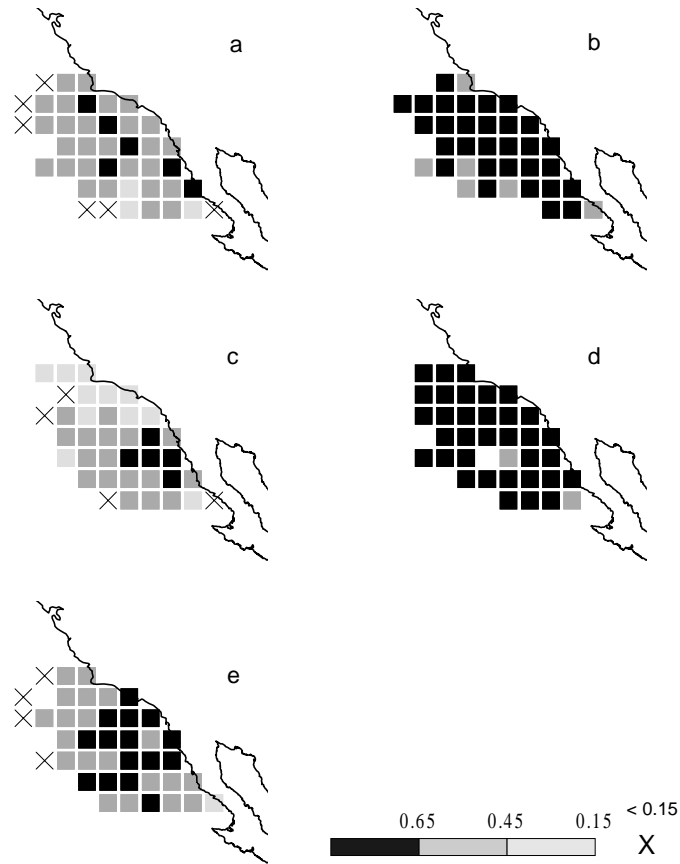
menor al mínimo formalmente señalado (MaCall & Prager, 1988); sin embargo, se considera que son suficientemente claros para las conclusiones a las que se llega en este trabajo.

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.

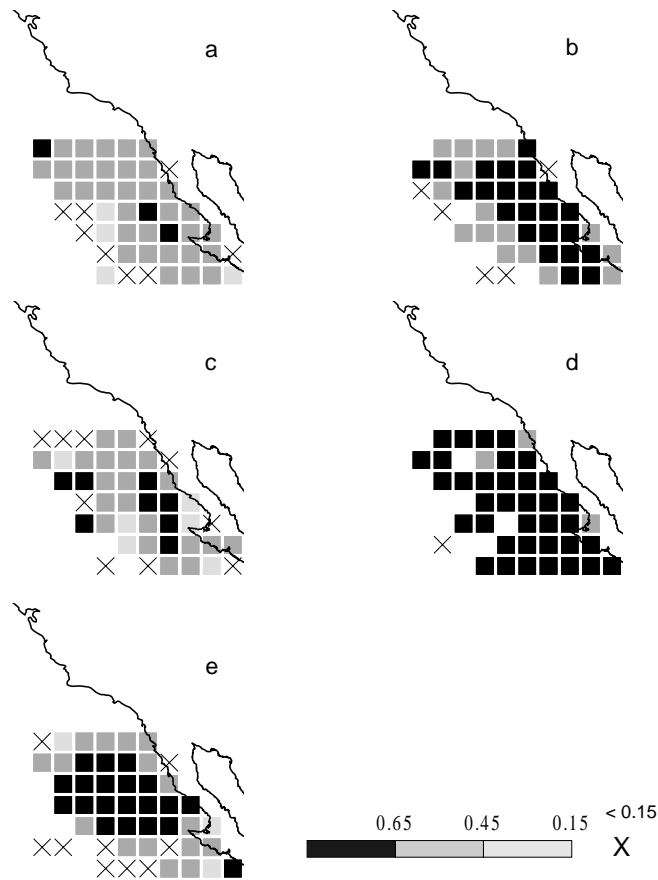




**Figura 2.** Valores de regresión ( $r$ ) entre la zona de muestreo (cuadrantes de  $1^\circ \times 1^\circ$ ) y el área total de Punta Concepción, EU.

**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 |
|-------------|--------------------------|-----------------------------|
|             | $r$                      | $r$                         |
| Anchoveta   | 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.