



**CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.**

Programa de Estudios de Posgrado

**BÚSQUEDA DE REGIONES DE ALTA
REPRESENTATIVIDAD DENTRO DEL GRAN
ECOSISTEMA MARINO DE LA CORRIENTE DE
CALIFORNIA**

T E S I S

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

**Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación en Biología Marina)**

p r e s e n t a

Ehecatl Manuel Muñoz Mejía

La Paz, B.C.S. Diciembre del 2001

ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz. B. C. S., siendo las 10:00 horas del día 10 del mes de diciembre del 2001, se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por la Dirección de Estudios de Posgrado del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., para revisar la Tesis de Grado titulada:

BUSQUEDA DE REGIONES DE ALTA REPRESENTATIVIDAD DENTRO DEL GRAN ECOSISTEMA MARINO DE LA CORRIENTE DE CALIFORNIA

Presentada por el Alumno:

Ehecatl Manuel Muñoz Mejía

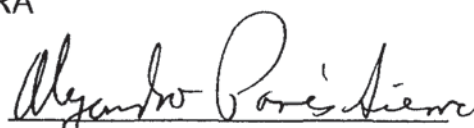
Aspirante al grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACION DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACION EN **BIOLOGIA MARINA**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA



Dr. Salvador Emilio Lluch Cota
DIRECTOR DE TESIS



Dr. Alejandro Parés Sierra
CO-TUTOR



Dr. Daniel Lluch Belda
CO-TUTOR



DR. SERGIO HERNANDEZ VAZQUEZ
DIRECTOR DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Resumen

La observación continua de los recursos vivos del mar, su entorno y variabilidad, es una actividad necesaria para su adecuado manejo. Los programas de amplia cobertura espacial y temporal representan una opción favorable en términos de la información que proporcionan, pero resultan inaplicables en casos en que los recursos económicos son limitados. Por otro lado, existen diversas técnicas derivadas de la sensoría remota, hidroacústica y muestreadores continuos que si bien permiten observar algunos aspectos del ecosistema, proporcionan solo una visión limitada de su compleja realidad. En este sentido, el presente trabajo tiene por objeto generar una propuesta de sistema de observación de Grandes Ecosistemas Marinos (GEM), a niveles de costo razonables. La propuesta se basa en la combinación del concepto de Centros de Actividad Biológica (BAC), que se refiere a pequeñas regiones costeras que concentran gran parte de la producción biológica de los GEM y la localización de zonas que permitan deducir el comportamiento del sistema completo. Para la zona de estudio (parte sur de la Corriente de California), se tienen identificados tres principales BAC; el sur de California, punta Eugenia y Bahía Magdalena, mismos que se propone utilizar como unidades espaciales de observación. Por otro lado, se identificaron sobre la base de análisis de datos generados por el programa CalCOFI, regiones de alta representatividad dentro del sistema, respecto a la combinación de cuatro indicadores biológicos (abundancias de larvas de sardina del Pacífico (*Sardinops caeruleus*), anchoveta nortea (*Engraulis mordax*), merluza (*Merluccius productus*) y el volumen de zooplancton) y una física (temperatura superficial del mar). Para cada punto, la representatividad se estimó como la cantidad (proporción) de estaciones de muestreo del sistema completo con las cuales se correlacionó significativamente. La combinación de las proporciones correspondientes a cada una de las cinco variables se presenta en valores entre 0 y 1, donde 1 es una representación significativa del área total. Se comparan los costos asociados al muestreo en una red de estaciones ampliamente distribuida y la presente propuesta (observación en los BAC y las zonas de alta representatividad) y se concluye que los últimos se encuentran por debajo de los primeros en por lo menos un orden de magnitud. Se reconoce que las observaciones de amplia escala son necesarias para generar este tipo de propuestas y evaluar su viabilidad en el futuro, y que este tipo de alternativas de observación es importante especialmente en aquellos países que no cuentan con la infraestructura necesaria para llevar a cabo programas permanentes de gran escala espacial.

Palabras clave: Corriente de California, BAC, Ecosistema marino, estrategia de observación.

Abstract

Constant monitoring of the environment and variability of Living Marine Resources is necessary for their proper management. The large spatial coverage observing programs are a suitable alternative providing a relevant information, but hard to develop in regions where economical resources are scarce. In the other hand, a number of techniques emerging from the development of remote sensing, hydroacustics and continuous monitoring, allow us to observe some features of the ecosystem, but provide a narrow view of their complex reality. This research is aimed at providing basis for developing systems to monitor Large Marine Ecosystems (LME), at reasonable costs. The proposal is based on a combination of the Biological Action Centers (BAC) concept, which refers to those small coastal regions concentrating a big proportion of the total LME biological production, and the tracking of small regions that could allow us to infer the behavior of the entire system. Within the study area (South of the California Current) three main BAC have been identified: Southern California Bight, Punta Eugenia and Bahía Magdalena, and is suggested to use these regions as spatial units for monitoring. On the other side, by analyzing data generated by the CalCOFI program, “highly representative” regions were identified inside the system, using the combination of four biological indicators (larvae abundances of the Pacific sardine (*Sardinops caeruleus*), northern anchovy (*Engraulis mordax*), Pacific hake (*Merluccius productus*) and zooplankton volume) and one physical (sea surface temperature). “Representativity” was estimated for each sampling point as the amount (proportion) of stations of the entire system to which it was significantly correlated ($P < 0.05$). The combination of the proportions corresponding to each of the five variables is indicated in values from 1 to 0, where 1 is a total representation of the complete area. The costs associated to monitoring of a wide station plan and those to this proposal (BAC and highly representative regions) were compared, and is concluded that the costs of the latter are at least one order of magnitude below the former. It is also mentioned that broad spatial observation programs are necessary to generate this sort of proposal, and evaluate its reliability over time, and also that alternative monitoring strategies, such as the one proposed here, are specially relevant for countries lacking the necessary facilities to perform permanent programs in a large spatial scale.

Keywords: California Current, BAC, marine Ecosystem, monitoring strategy.

Agradecimientos

El autor fue becario CONACYT con registro No. 144429

Al proyecto CONACYT 35151-B “**Caracterización espacio-temporal del hábitat de los primeros estadios bentónicos de la langosta *Panulirus interruptus* (Randall) en su área de mayor abundancia**” y su responsable el M. en C. German Ponce, parte importante para la culminación de este documento. De igual forma al Proyecto fiscal **RP-11 “Patrones de variabilidad ambiental y pesquera”** y **RP-14 “Hacia un sistema de información para el análisis de relaciones ambientales del recurso (sardina del Golfo de California), calibración, evaluación y comparación ante escenarios ambientales”**

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste por el apoyo logístico brindado y a la gente involucrada en el nivel académico

Al Programa de Estudios de Posgrado por las facilidades otorgadas para concluir con estos estudios: Dr. Sergio Hernández Vázquez, Lic. Osvelia Ibarra, Lic. Leticia González y Beatriz Gálvez, así como a Horacio Sandoval y Manuel Melero por su gran disposición.

A mis asesores Salvador Lluch, Dr. Daniel Lluch Belda y Dr. Alejandro Parés por sus sugerencias y recomendaciones además del tiempo y atención brindadas para la elaboración de este trabajo.

A mis padres, Genoveva y Manuel y mis hermanos, Quetzalli, Jaina y Tonatiuh por su apoyo en todo momento y brindarme el ánimo para continuar.

A Verónica por su amor, cariño y generosa ayuda en todos aquellos momentos difíciles.

Al apoyo técnico prestado por el Lic. Carlos Pacheco y la Sra. Eulalia Meza y a la ayuda desinteresada del M. en C. César Salinas, a todos ellos por su amistad y los ratos agradables, no importa que casi siempre estemos discutiendo.

A Daniel, Chucho y Pablo por aguantarme y contestarme gentilmente tantas y tantas preguntas.

A mis compañeros de generación a quienes debo muchos recuerdos gratos.

A Tere Sicard, quien siempre nos auxilió y que fue en parte causa suya el que hayamos llegado aquí y sigamos con bienestar.

CONTENIDO

Págs.

Resumen

Abstract

Agradecimientos

Lista de figuras

Lista de tablas

Introducción.....1

Antecedentes.....4

Área de estudio.....9

Hipótesis.....11

Objetivos.....11

Metodología.....12

Procesamiento de datos.....17

Resultados.....21

Discusión.....28

Conclusiones.....33

Bibliografía.....35

Anexo.....39

Lista de figuras

Figura 1. Variaciones de algunos stocks de peces de importancia comercial a nivel mundial (Modificada de Bakun, 1998).

Figura 2. Los Grandes Ecosistemas Marinos propuestos a nivel mundial.

Figura 3. Los Grandes Ecosistemas Marinos propuestos para la zona de México: La Corriente de California, el Golfo de California, el Golfo de México y el de la costa central del Pacífico americano.

Figura 4. Centros de Actividad Biológica identificados para la costa Oeste de Norteamérica. Mar de Bering (MB), Estrecho de Shelikov (ES), Isla Vancouver (IV), Río Columbia (RC), Bahía Monterey (BM), Santa Bárbara (SB), Punta Eugenia (PE), Bahía Magdalena (BMa), Golfo de California (GC), Golfo de Tehuantepec (GT) y el Golfo de Papagayo (GP) (Lluch Belda, 1997).

Figura 5. Plan básico de estaciones CalCOFI desde 1950 (Moser *et al.*, 1994).

Figura 6. Zona de estudio: el sur de California (línea continua) y Punta Eugenia–Bahía Magdalena (línea punteada).

Figura 7. Cobertura de los cruceros CalCOFI para el periodo de 1950-1998.

Figura 8a. Porcentaje de puntos de muestreo con correlación significativa ($P < 0.05$) para la zona del sur de California.

Figura 8b. Total de líneas-estaciones correlacionadas significativamente ($P < 0.05$) y expresadas en porcentaje, para la zona de Punta Eugenia – Bahía Magdalena.

Figura 9. Representatividad combinada y escalada (entre 1 y 0) de las series de temperatura superficial del mar, volumen de zooplancton y abundancias de sardina, anchoveta y merluza.

Figura 10. Comparación de las áreas BAC con el resto del sistema. Los cuadros y barras en rojo indican la ubicación y la concentración o abundancias que tienen los BAC con respecto a cada variable, la zona y barras en azul representan la región costera, la zona y barras en amarillo equivalen a la parte oceánica y las barras en gris señalan el total del sistema. Encima de las barras se indica el porcentaje que ocupa cada zona con respecto al total (tomado de Lluch Belda, 2000).

Figura 11. Propuesta de muestreo construida a partir de la información recopilada más la obtenida en este estudio. Los cuadros amarillos identifican a los BAC, la zona dentro de la línea indica que cualquier parte en que se observe, se tiene una representatividad del 90 %

con respecto al sistema completo y los puntos sugieren la localización de las plataformas oceanográficas.

Figura 12. La Corriente de California digitalizada de Lynn y Simpson (1987) (punteado) y la contracorriente costera (tomado de Lluch Belda, 2000).

Figura 13. Grupos de especies con diferente distribución asociada a: a) la Cuenca del sur de California y b) la Bahía Sebastián Vizcaíno (tomado de Bautista Romero, 1999).

Figura 14. Concentración de pigmentos para la zona de Punta Eugenia y Bahía Magdalena (tomado de Morales Zárata *et al.*, 2000).

Lista de tablas

Tabla I. Clasificación de los 10 taxa (huevos y larvas) más abundantes identificados por el programa CalCOFI durante el periodo de 1951-1984 (Moser *et al.*, 1993).

Tabla II. Valores máximo, mínimo y promedio de las series de temperatura superficial del mar, volumen de zooplancton y abundancias de sardina, anchoveta y merluza.

Tabla III. Representatividad de las regiones correlacionadas al 95%, BAC y propuesta del presente trabajo. Se muestra también el porcentaje de área que comprenden comparadas con el programa CalCOFI, así como el costo en miles de pesos que implica muestrearlas: a) un mes, b) un año y c) cinco años.

Introducción

De manera tradicional se ha utilizado a la dinámica de las poblaciones como una de las herramientas más comunes para la evaluación de los recursos vivos. Sin embargo, dada la dificultad de contar con observaciones directas de los organismos marinos, a diferencia del medio terrestre, en muchos casos este tipo de metodologías han sido poco exitosas para el manejo de recursos vivos del mar. Esta problemática, acentuada por el hecho de que en la mayoría de los esquemas de manejo se tiende a no considerar el efecto de las variaciones ambientales sobre las poblaciones marinas ha resultado en poca eficacia para pronosticar fuertes fluctuaciones en los niveles de abundancia de diferentes recursos pesqueros importantes (figura 1). En este sentido, el manejo de los recursos marinos debe estar basado en información recabada de manera continua sobre el estado de los recursos, su entorno y su variabilidad.

Entre las alternativas para la observación de los sistemas marinos se han contemplado programas de muestreo de largo plazo y de gran cobertura espacial, algunos de ellos enfocados principalmente a las primeras fases de desarrollo (huevos y larvas de peces de importancia comercial) y a las posibles consecuencias de los niveles de explotación y los cambios ambientales sobre el éxito reproductivo. Entre los ejemplos más importantes de este tipo de programas se encuentran el California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations (CalCOFI, 1988) y recientemente el Programa Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California (IMECOCAL, Baumgartner *et al.*, 2000). Si bien es cierto que este tipo de esquemas de muestreo representa un esfuerzo enorme de manutención por sus

elevados costos y demanda de personal, a partir de ellos se han generado bases de datos de gran importancia que permiten el desarrollo de nuevas metodologías para mantener observaciones continuas e integrales de los sistemas marinos, a un nivel de esfuerzo humano y económico factible para las condiciones de los diversos países, principalmente aquellos que se encuentran en desarrollo.

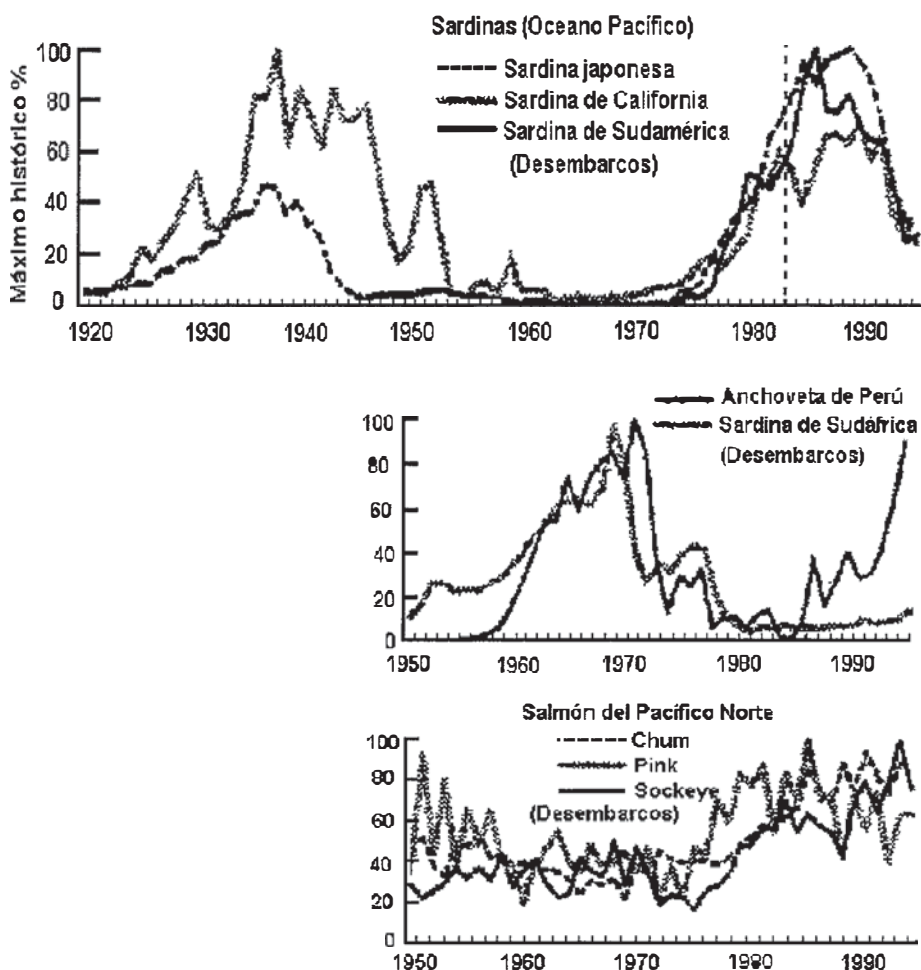


Figura 1. Variaciones de algunos stocks de peces de importancia comercial a nivel mundial (Modificada de Bakun, 1998)

Por otro lado, el estado actual del progreso tecnológico ofrece herramientas alternativas que permiten obtener información a intervalos temporales y resoluciones espaciales que son

difíciles de cubrir sobre la base de mediciones *in situ*. Un ejemplo de estas nuevas herramientas lo constituye la sensoría remota, que permite la observación de variables y procesos a varias escalas espaciales, proporcionando información de buena calidad. Sin embargo, existen limitantes en cuanto al tipo de variables que pueden ser registradas por esta vía, especialmente en lo que se refiere a recursos vivos. Asimismo, actualmente se cuenta con herramientas de relativo bajo costo de operación que permiten registrar la distribución y abundancia de poblaciones de interés abarcando grandes extensiones del océano, tal es el caso de los métodos de hidroacústica, los muestreadores continuos de plancton, las bombas para huevos de peces (CUFES), etc. Sin embargo, este tipo de tecnologías ofrecen una visión sólo parcial de la dinámica del ecosistema y la interacción de diferentes escalas de variabilidad.

Ante la imposibilidad de mantener una observación constante de todos los océanos, el planteamiento de nuevas metodologías que permitan mantener mediciones continuas con un enfoque a nivel de ecosistema, que demande poco esfuerzo y no pierda objetividad es una prioridad para el adecuado manejo de los recursos marinos.

Dentro de los diversos enfoques propuestos para el estudio de los océanos se contempla que el seguimiento de las variaciones climáticas de los sistemas puede ser una buena opción para establecer al menos un conjunto de relaciones empíricas que nos permitan aspirar a pronosticar los diferentes eventos y su intensidad, con objeto de tener las condiciones necesarias para tomar las decisiones que permitan disminuir sus efectos o incrementar sus beneficios. Con este fin, la identificación de áreas reducidas a partir de las cuales se pueda

inferir el comportamiento del ecosistema entero es una idea atractiva, que puede funcionar de una forma correcta en conjunto con los programas de gran cobertura espacial si son planteados adecuadamente (Martínez García y Lluch Belda, 2000).

Antecedentes

El manejo responsable de los sistemas marinos y sus recursos depende en gran medida de la capacidad de observación continua de largo plazo. En este sentido, existen algunas propuestas de programas dirigidos a mejorar las estimaciones de los recursos marinos a través del tiempo y reconociendo las realidades socioeconómicas regionales y del propio ecosistema.

Una de estas propuestas se basa en el reconocimiento de sistemas marinos costeros de grandes dimensiones. Sobre la base de diferencias batimétricas, hidrográficas, de productividad y de las poblaciones que dependen de ellas, se han clasificado los océanos en 49 regiones de gran extensión espacial las cuales fueron nombradas Grandes Ecosistemas Marinos (GEM). Los GEM son regiones del océano del orden de 200,000 km² o más que se extienden desde la costa, incluyendo desembocaduras de ríos y estuarios, hasta el límite de la plataforma continental o el margen de los sistemas de corrientes costeros y tienen la ventaja de ofrecer una mejor perspectiva sobre el efecto ambiental y antropogénico en los recursos marinos (Sherman y Tang, 1999; figura 2). Bajo esta consideración se aprecia que el 95% de la captura total mundial se efectúa dentro de los Grandes Ecosistemas Marinos. Para la región que comprende a México se han nombrado cuatro Grandes Ecosistemas

Marinos: el de la Corriente de California, el del Golfo de California, el del Golfo de México y el de la costa central del Pacífico americano (propuesto recientemente como el número 50, figura 3).

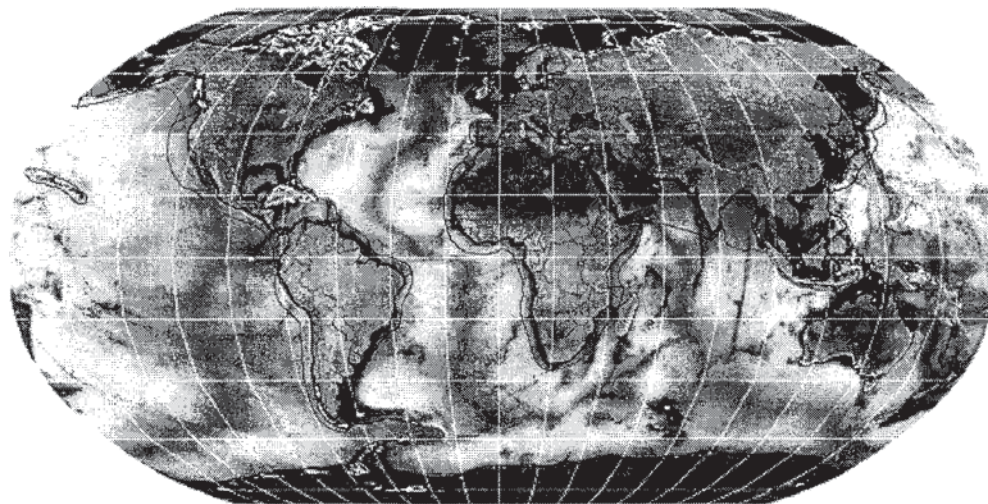


Figura 2. Los Grandes Ecosistemas Marinos propuestos a nivel mundial.

El Sistema de Observación Global de los Océanos (Global Ocean Observing System; GOOS) creó el Panel de los Recursos Vivos del Mar (LMR-GOOS) con el objetivo de abordar la problemática asociada con la observación continua de los recursos marinos (GOOS, 1998). Entre sus actividades, el Panel reconoció una serie de proyectos piloto que ofrecían posibles vías y enfoques para abordar esta difícil tarea. Uno de estos proyectos es el de los Centros de Actividad Biológica (BACs)

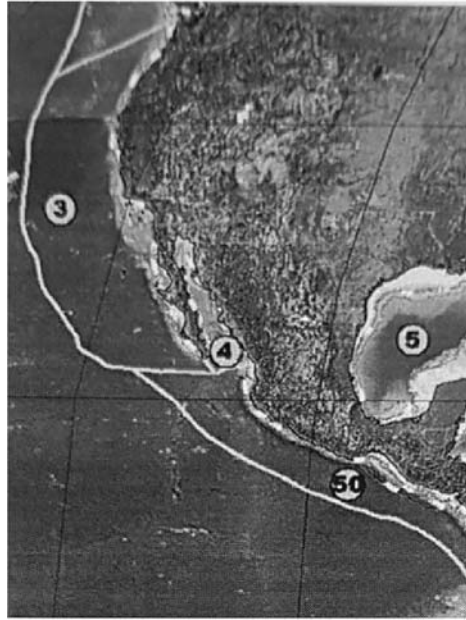


Figura 3. Los Grandes Ecosistemas Marinos propuestos para la zona de México: La Corriente de California, el Golfo de California, el Golfo de México y el de la costa central del Pacífico americano.

Estas zonas, reconocidas por ser pequeñas y estar fijas en el espacio se describieron durante una serie de talleres de trabajo realizados durante los años de 1998 y 1999 (Lluch-Belda *et al.*, 2000; figura 4). La propuesta original surgió a partir de observaciones recopiladas durante el estudio de los cambios de abundancia de varias poblaciones de especies pelágicas, principalmente la sardina y la anchoveta y su relación con las fluctuaciones ambientales al identificar de manera recurrente algunas zonas de refugio y reproducción permanente incluso ante condiciones ambientales adversas (Lluch-Belda *et al.*, 1992; Hernández-Vázquez 1994). La propuesta de abordar el estudio de estas regiones y aprovechar su potencial uso como unidades de observación de grandes regiones fue atractiva tanto para LMR-GOOS como para diferentes grupos de investigación, que vieron parte de sus resultados reunidos en una obra bajo este enfoque, recientemente publicada (Lluch-Belda *et al.* (eds.) 2000).

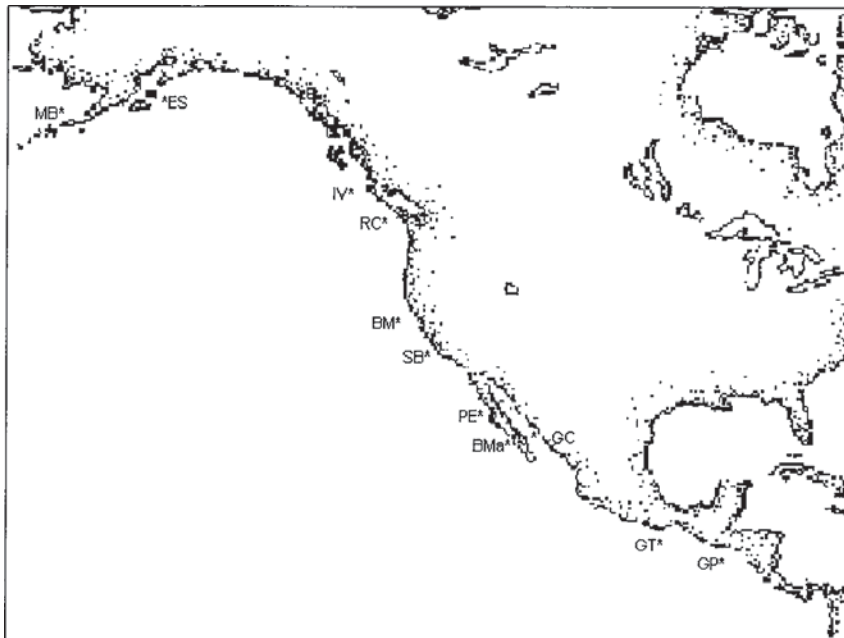


Figura 4. Centros de Actividad Biológica identificados para la costa Oeste de Norteamérica. Mar de Bering (MB), Estrecho de Shelikof (ES), Isla Vancouver (IV), Río Columbia (RC), Bahía Monterey (BM), Santa Bárbara (SB), Punta Eugenia (PE), Bahía Magdalena (BMe), Golfo de California (GC), Golfo de Tehuantepec (GT) y Golfo de Papagayo (GP) (Lluch Belda, 1997).

En diversos trabajos de esta obra se propone que la mayoría de estos puntos presentan procesos físicos en común como el enriquecimiento (disponibilidad de alimento), la concentración y la retención de partículas, los cuales se integran en el concepto de la tríada fundamental (Bakun, 1996). Mediante la comparación de áreas costeras se ha propuesto un modelo basado en la tríada para abordar las diferencias entre una zona que pueda considerarse BAC y el resto (Morales-Zárate, 1999; Morales-Zárate *et al.*, 2000).

Una de las contribuciones de dicho volumen comprende el antecedente más directo del presente estudio (Muñoz-Mejía *et al.*, 2000), que abordó la posibilidad de utilizar los BAC de las costas de la parte sur de la Corriente de California (Punta Eugenia y el sur de California) como predictores de todo el ecosistema en el tiempo y en el espacio. Sin

embargo, si bien se localizaron regiones donde potencialmente se puede identificar el comportamiento de grandes áreas respecto a diferentes variables, la resolución de dicho trabajo (cuadrantes de 1° x 1°) no permitió definir posibles estrategias de observación continua ni evaluar regiones óptimas para realizarlas a lo largo de toda la corriente. Otros trabajos han abordado esta misma problemática respecto a variables biológicas (larvas de sardina *Sardinops caeruleus*, larvas de anchoveta *Engraulis mordax*, concentración de pigmentos, larvas de bonito *Sarda chiliensis*, larvas de merluza *Merluccius productus*, desplazamiento de macrozooplancton) (Morales-Zárate *et al.*, 2000; Muñoz Mejía *et al.*, 2000; Martínez García y Lluch Belda, 2000) con resultados prometedores, pero sin llegar a propuestas concretas.

El estudio de los Grandes Ecosistemas Marinos tiene importancia para las pesquerías que se efectúan a nivel mundial; sin embargo, si consideramos su gran extensión resulta difícil pensar que todos los países involucrados cuentan con las mismas posibilidades de mantener un estudio continuo que permita obtener la información necesaria para realizar evaluaciones acerca de los recursos. La propuesta de utilizar regiones de menor cobertura, como los BAC, representa una alternativa para mantener un monitoreo de largo plazo con un bajo costo de operación y una rápida implementación.

El presente trabajo pretende proponer una zona que represente de forma significativa a una región muy extensa, el GEM de la Corriente de California. Este enfoque otorga la ventaja de conocer de manera general el comportamiento de procesos oceánicos a diferentes escalas espaciales, la variabilidad y comportamiento del sistema e inferir los cambios que podrían

presentar variables tanto físicas como biológicas. Por otra parte, intuitivamente se sabe que áreas como los BAC son diferentes al resto de la costa por las altas abundancias y producción constante, por lo que su observación podría ser de gran ayuda para conocer el comportamiento del sistema completo.

Área de estudio

La zona de estudio se ubica en la Corriente de California (CC), sistema que se distingue por transportar agua fría de la región subártica hacia el trópico a lo largo de la costa oeste de América del Norte y presentar altos niveles de productividad primaria y sobrevivencia de ictioplancton derivados de diversos procesos oceanográficos de enriquecimiento (surgencias costeras) y concentración (frentes, giros; Lynn y Simpson, 1987; Lasker y MacCall, 1983).

El comportamiento de la CC ha sido descrito en varios trabajos. En años normales, el flujo es más fuerte en primavera y verano, encontrándose más cerca de la costa durante la primera estación. Para la zona de Baja California la corriente no alcanza a recorrer más de 100 km directamente hacia el sur y mientras se desplaza hacia mar abierto se inestabiliza por la presencia de algunos giros temporales, los cuales generan que la corriente presente una ramificación (Bograd *et al.*, 2000; Lynn y Simpson, 1987). Pavlova (1966) menciona que la Corriente de California alcanza un máximo desarrollo entre los 30-35° N en verano y entre los 25-30° N en primavera e inicios de verano siendo la zona de la Bahía Sebastián Vizcaíno donde se desvía significativamente hacia el Oeste.

En términos pesqueros esta zona es importante porque en ella se desarrollan pesquerías de algunos de los recursos de mayor valor comercial para la región como la sardina, la anchoveta, el abulón y la langosta, además de algunos mantos de algas como *Macrocystis* y *Gelidium* y un número importante de recursos costeros como las almejas, el tiburón, la lisa, el lenguado y la cabrilla.

Ecológicamente, la ubicación latitudinal de Punta Eugenia–Bahía Sebastián Vizcaíno le proporciona a la región características transicionales templado-tropicales y funciona como una frontera provincial de muchos grupos taxonómicos, entre los que destacan algunos braquiuros, moluscos, algas, briozoarios y peces de importancia comercial, como la sardina, la anchoveta y la merluza (Hewitt, 1981) y de manera ocasional el atún, que se presenta principalmente durante los años cálidos (Ahlstrom, 1965; Leet *et al.*, 1992).

Hipótesis

El comportamiento de los Grandes Ecosistemas Marinos puede ser inferido a partir de regiones de menor escala espacial, lo cual podría ser aprovechado para reducir los costos de operación en la observación de diferentes variables físicas y biológicas.

Objetivos

General

Identificar regiones de baja cobertura espacial dentro de la Corriente de California que representen significativamente la variabilidad del Gran Ecosistema Marino.

Particulares

Documentar la importancia de los Centros de Actividad Biológica (BAC) de las costas de la corriente de California como indicadores de la producción biológica del GEM.

Localizar regiones de alta representatividad dentro de la Corriente de California, que permitan representar el comportamiento del GEM respecto a diferentes variables físicas y biológicas combinadas.

Evaluar los niveles de ahorro que representa reducir el esfuerzo de observación sobre la base de los resultados obtenidos.

Metodología

El presente estudio se basó en los datos del Programa CalCOFI, que cuenta con observaciones de abundancia y apariciones de larvas y huevos de más de 200 taxa de peces identificados y registros de temperatura, oxígeno y salinidad, así como una clave codificada de cada punto de muestreo y sus respectivas coordenadas geográficas para el periodo de 1954-1984 (figura 5).

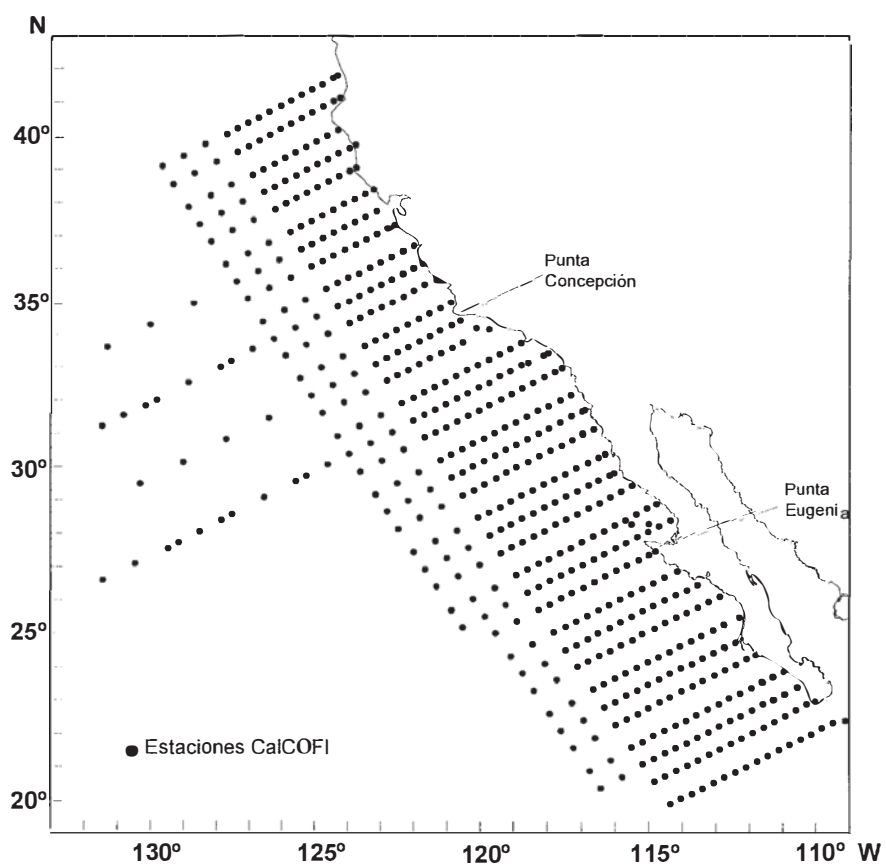


Figura 5. Plan básico de estaciones CalCOFI desde 1950 (Moser *et al.*, 1994)

Como principales indicadores biológicos se utilizaron las abundancias de huevos y larvas de la sardina del Pacífico (*Sardinops caeruleus*), la anchoveta norteña (*Engraulis mordax*) y la merluza del Pacífico (*Merluccius productus*) (Tabla I), que son especies de importancia ecológica, pesquera y económica para la región.

La pesquería de sardina tuvo auge durante la Primera Guerra Mundial y fue su caída la que ocasionó el nacimiento del programa CalCOFI. Algunos estudios han señalado que su comportamiento es sincrónico e inverso al de la anchoveta, al menos durante el periodo de estudio (Lluch Belda *et al.*, 1992). La mayor parte de las capturas de esta especie se destinan a la reducción (harina y aceite) mientras que el resto se enlata para consumo humano o animal, se utiliza como carnada o se vende localmente.

La anchoveta ocupa el primer lugar en cuanto a abundancias reportadas por el programa CalCOFI para este periodo. Esta especie, contrario a la sardina, presentó un incremento en las capturas a finales de la década de los 1940s y principios de los 1950s y no fue sino hasta los 1960s cuando México inició su captura de manera comercial; al igual que la sardina es utilizada principalmente para reducción, ya que su alto contenido proteico sirve como complemento alimenticio para aves, ganado y algunos peces (Leet *et al.*, 1992).

La merluza está ubicada como segundo en cuanto al total de abundancias registradas por el programa CalCOFI (Moser *et al.*, 1993). Es un recurso que se explota comercialmente desde 1991 y se caracteriza por tener grandes volúmenes de captura y un bajo valor comercial. La población más abundante se distribuye entre California y Baja California y

tiene un comportamiento costero; aunque está clasificada como especie demersal, puede ser encontrada con frecuencia en el ambiente pelágico.

Se consideró al volumen de zooplancton como un indicador de la producción secundaria del sistema; a pesar de los problemas asociados a este tipo de información (i.e. no conocer la composición específica), se encuentra ampliamente muestreado.

La temperatura superficial del mar (SST) es sin duda la variable ambiental mejor registrada por el programa CalCOFI. De forma general la SST es una de las principales variables a las cuales se asocian algunas de las características poblacionales como son área de distribución, zona de desove y migraciones.

Tabla I. Clasificación de los 10 taxa (huevos y larvas) más abundantes identificados por el programa CalCOFI durante el periodo de 1951-1984 (Moser *et al.*, 1993).

	Especie	Abundancia Total
1	<i>Engraulis mordax</i>	5772080
2	<i>Merluccius productus</i>	1043952
3	<i>Vinciguerria lucetia</i>	956790
4	<i>Sebastes spp.</i>	710358
5	<i>Leuroglossus stilbius</i>	456743
6	<i>Triphoturus mexicanus</i>	404359
7	<i>Stenobranchius leucopsarus</i>	326318
8	<i>Sardinops caeruleus</i>	219964
9	<i>Trachurus symmetricus</i>	208085
10	<i>Citharichthys spp.</i>	195518

Para facilitar el análisis la zona de estudio se dividió en dos partes de acuerdo con la importancia local y la alta productividad asociada a cada una. La región del sur de California ubicada entre los 34° y los 28° N y los 122° a 116° W, y la región de Punta Eugenia-Bahía Magdalena localizada entre los 30° y los 24° N y los 119° a 112° W (figura 6).

El desarrollo de los muestreos CalCOFI sufrió cambios a medida que se presentaron problemas de presupuesto, lo que ocasionó que la frecuencia y la cobertura de los cruceros se redujera en forma gradual, pasando de los iniciales registros mensuales a una frecuencia de muestreo más baja, generalmente trimestral (figura 7). En el estudio se consideran estos cambios y para evitar sesgos se realizó un análisis exploratorio previo para elegir los puntos con mayor homogeneidad y constancia. A nivel espacial se utilizaron mapas en los que se observa el recorrido de los cruceros efectuados durante el periodo de enero de 1951 a diciembre de 1984 para escoger los meses donde la cobertura del muestreo incluyó a las regiones de estudio (Hewitt, 1988), mientras que a nivel temporal se eligieron sólo aquellos meses en los cuales los cruceros tuvieron cobertura sobre las áreas estudio.

Adicionalmente, se consideró para cada variable tomar en cuenta sólo las estaciones que contaron con por lo menos el 50% del total de muestras para evitar que aquellos con pocos datos y valores altos mostraran un resultado engañoso.

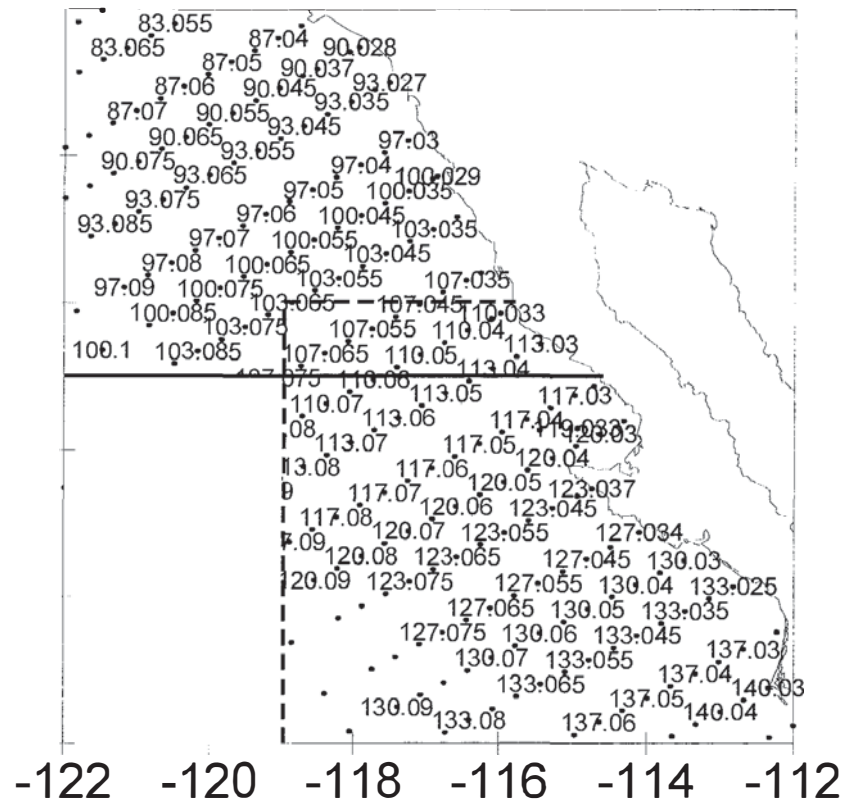


Figura 6. Zona de estudio: el sur de California (línea continua) y Punta Eugenia-Bahía Magdalena (línea punteada).

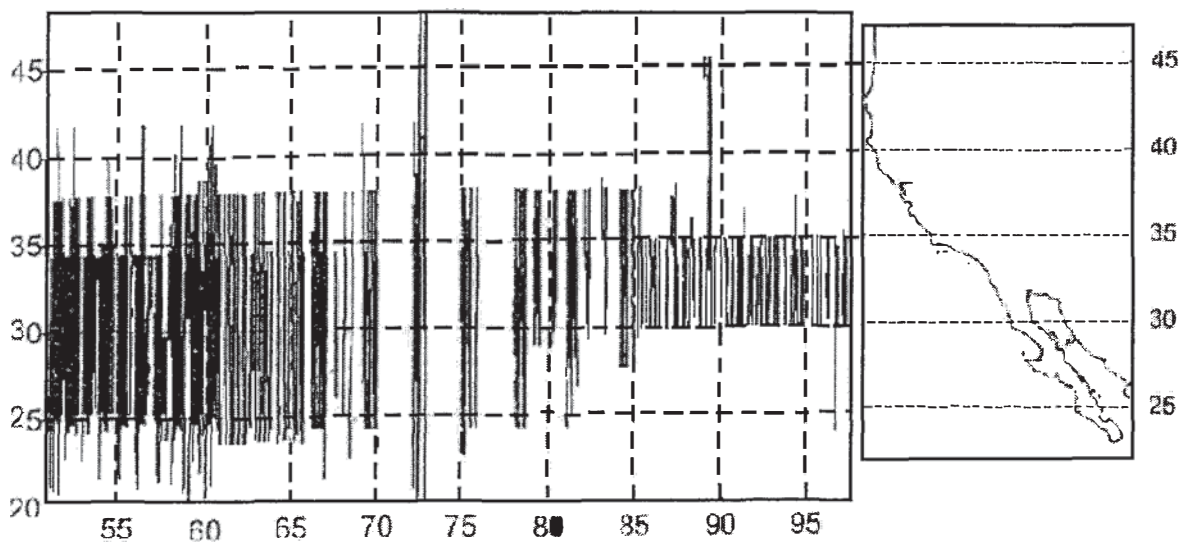


Figura 7. Cobertura de los cruceros CalCOFI para el periodo de 1950-1998

Procesamiento de datos

Para cada estación, variable y periodo (resolución mensual) se registró el valor de abundancia de larvas. Sobre la base de que los valores promedio para cada estación presentaban diferencias fuertes en comparación con el valor máximo registrado (valores muy altos; Tabla II), en el análisis se manejaron las series transformadas a logaritmo natural, a excepción de la serie de temperatura que no presenta diferencias tan notables.

Con estas series se elaboró una matriz de correlación entre líneas-estaciones (una correlación para cada par de puntos de muestreo). La reducción en el muestreo se reflejó en el número de datos pareados para las series correlacionadas (en este caso los valores de abundancia del mismo mes y año de dos diferentes líneas-estaciones) variando desde un mínimo de 47 pares hasta un máximo de 182. Con estos datos se calculó el valor de

probabilidad (p) asociado a cada par de series, en función del número de datos (n) y se contabilizó como 1 aquellos casos donde el valor de correlación estaba por encima del 95% de significancia, y como 0 aquellos donde era menor. Sobre la base de estos resultados, se estimó para cada serie el porcentaje de los puntos de muestreo correlacionados significativamente (total de puntos = 100%); a esta estimación (porcentaje del área expresado en series de los sitios de muestreo-cubierta con correlaciones significativas) se le denomina representatividad. En otras palabras, cada serie de las líneas-estaciones tiene un valor de representatividad que indica con cuántas otras series del área total está correlacionada significativamente. Este proceso se repitió para cada una de las variables.

La distribución espacial de la representatividad se graficó mediante isolíneas, en las que las áreas sin valor fueron interpoladas mediante “kriging” (ver anexo), utilizando la paquetería comercial de análisis espacial (SURFER 7). Las isolíneas se graficaron con referencia geográfica para elaborar mapas de representatividad para cada variable considerada.

Posteriormente se combinaron las variables para identificar aquellas regiones que presentan los valores más altos respecto a las cinco variables al mismo tiempo. Previamente, con la intención de dar el mismo peso a cada una de las variables y dado que los intervalos de representatividad fueron diferentes entre variables (i.e. las variables físicas como la temperatura presentan distribuciones más homogéneas en el espacio, lo que se refleja en valores de representatividad más altos que en las variables biológicas), se escalaron entre 0 y 1. A partir de esto se combinaron (promedio aritmético de los valores de representatividad para cada variable en cada punto) en una serie única de fácil

interpretación en la cual el valor de representatividad más alto posible para las variables combinadas es igual a 1. Esta serie se graficó mediante isolíneas y, al igual que los mapas anteriores, se utilizó el método de “kriging” para encontrar los valores que se localizan entre cada punto de muestreo.

Puesto que se utilizaron correlaciones de abundancia para la determinación de la zona de mayor representatividad, los Centros de Actividad Biológica que mantienen productividad y abundancias altas a lo largo del año no presentan un comportamiento similar al de cada uno de los puntos del sistema completo; sin embargo, el hecho de presentar de manera concentrada la mayor proporción de producción biológica de todo el sistema permite considerarlos como sitios ideales para la observación; en otras palabras, al registrar los cambios que se presentan en un BAC no conoceremos mucho sobre los cambios que ocurren en cada una de las zonas (puntos) del resto del sistema, pero sí de la producción biológica integrada para todo el sistema. En este sentido, se realizó una búsqueda bibliográfica para apoyar la idea de que siendo los lugares con mayor concentración de pigmentos, volumen de zooplankton y larvas de algunos peces, tienen un papel fundamental en la dinámica del ecosistema y su observación es necesaria para la evaluación de varios recursos importantes.

Por otra parte, sobre la base de información recabada se realizó una estimación de los costos asociados a dos escenarios de muestreo y se compararon a tres lapsos. Los escenarios considerados fueron: a) mantener un programa tipo CalCOFI (costos de buque similares a aquellos del B/O Francisco Ulloa, valores aproximados proporcionados por el

M.C. Ricardo Saldierna; CICIMAR) y b) mantener un muestreo constante sobre la zona de alta representatividad localizada en este estudio mediante campañas y una plataforma oceanográfica (costo estimado a partir de consultas con personal especializado), en conjunto con la observación de los BAC.

Finalmente, sobre la base de los resultados del presente trabajo, se elaboró un mapa en el que se señalan los lugares preferenciales a muestrear con la finalidad de reducir esfuerzo humano y costos bajo la perspectiva de obtener la mayor cantidad de información para la observación del sistema.

Tabla II. Valores máximo, mínimo y promedio de las series de temperatura superficial del mar, volumen de zooplancton y abundancias de sardina, anchoveta y merluza.

	Anchoveta	Sardina	Merluza	Zooplancton	Temperatura
Máximo	21409.54	1114.27	9848.78	5409.6	28.3
Mínimo	0	0	0	0	10.3
Promedio	73.67	4.94	33.89	46.26	16.9

Resultados

Para cada región y variable se realizaron mapas de representatividad (porcentaje de líneas estaciones con una correlación significativa ($p < 0.05$) respecto al total) que se muestran en las figuras 8a y 8b. Los mapas señalan que las zonas más representativas están ubicadas cerca de la costa y no lejos de los Centros de Actividad Biológica considerados en este trabajo. La figura 9 muestra la representatividad de la combinación de las cinco variables.

La figura 10 (modificada de Lluh-Belda, 2000) muestra una comparación de los BAC respecto al resto del área, en términos de la extensión aproximada que ocupan, las diferencias en la concentración de pigmentos, algunas larvas de peces y el volumen de zooplancton.

Los resultados permiten estimar el costo aproximado que representa el mantener una observación constante sobre el ecosistema. En este trabajo se propone el uso de plataformas oceanográficas para el registro continuo de variables físicas, en forma conjunta con mediciones directas (campañas) en las zonas de alta representatividad y los Centros de Actividad Biológica. Esta propuesta se presenta en la figura 11, y la comparación entre los costos asociados a ésta, y aquellos del muestreo tradicional tipo CalCOFI en la Tabla III.

Tabla III. Representatividad de las regiones correlacionadas al 95%, BAC y propuesta del presente trabajo. Se muestra también el porcentaje de área que comprenden comparadas con el programa CalCOFI, así como el costo en miles de pesos que implica muestrearlas: a) un mes, b) un año y c) cinco años.

Zona observada	Area (%)	Costo (miles) ^a	Costo ^b	Costo ^c
95% de representatividad combinada	1.61	36	144	720
BAC	1.9	60	240	1200
Plataforma oceanográfica	—	500	520	600
Propuesta (total)	3.5	596	904	2520
Región CalCOFI (cruceros)	100	1356	5424	27120

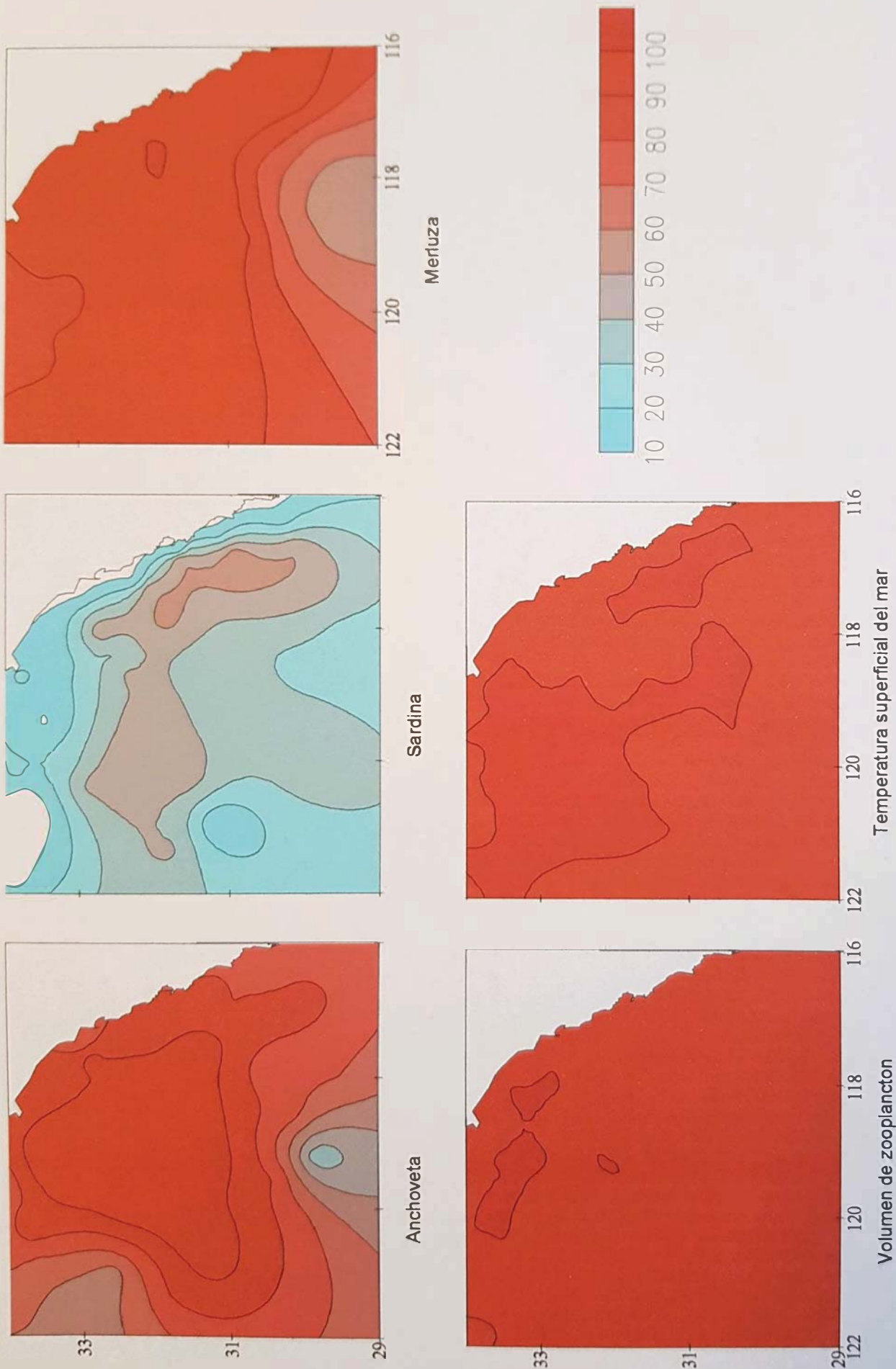


Figura 8a. Porcentaje de puntos de muestreo con una correlación significativa ($P < 0.05$) para la zona del sur de California

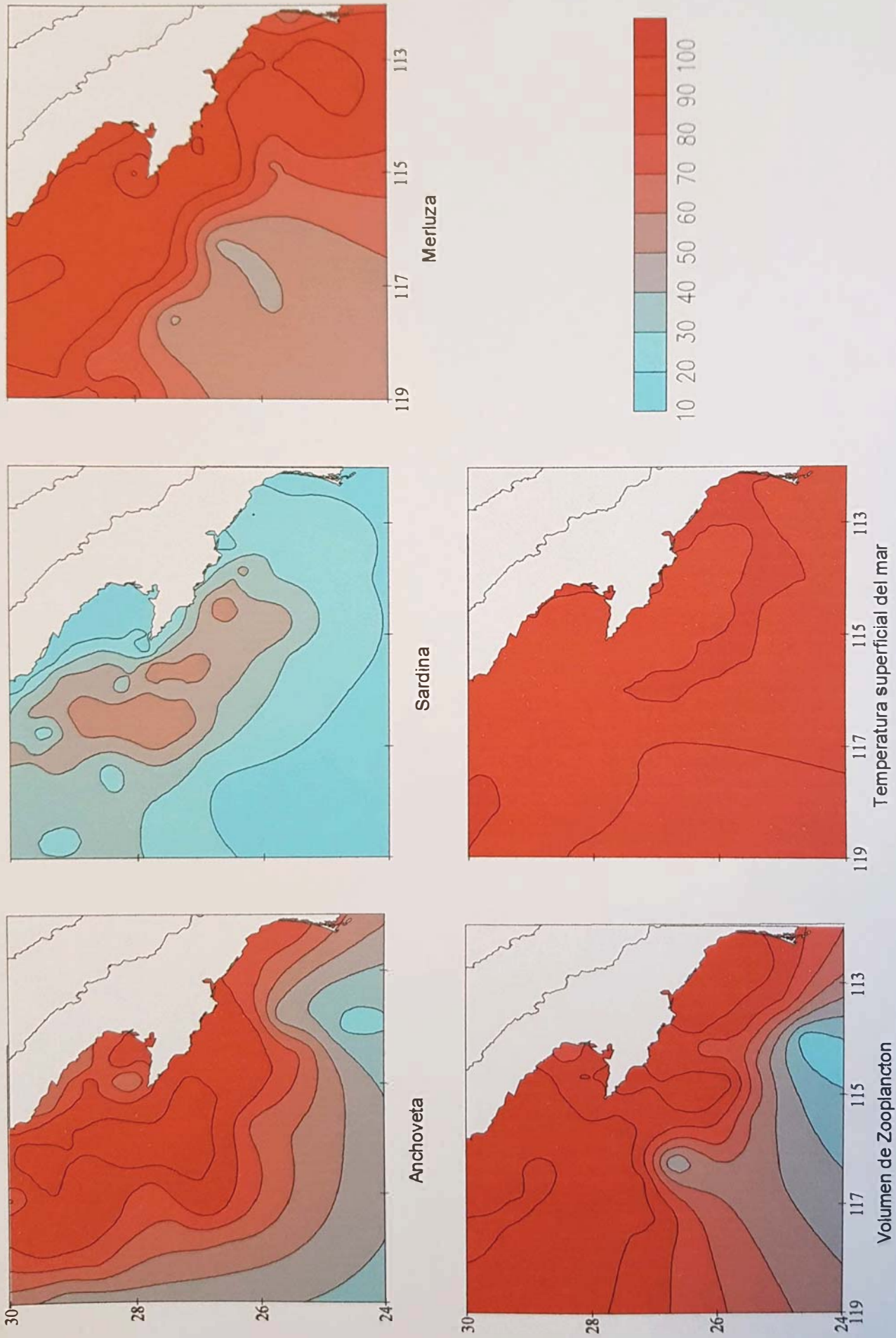


Figura 8b. Total de líneas-estaciones correlacionadas significativamente ($P < 0.05$) y expresadas en porcentaje, para la zona de Punta Eugenia-Bahía Magdalena.

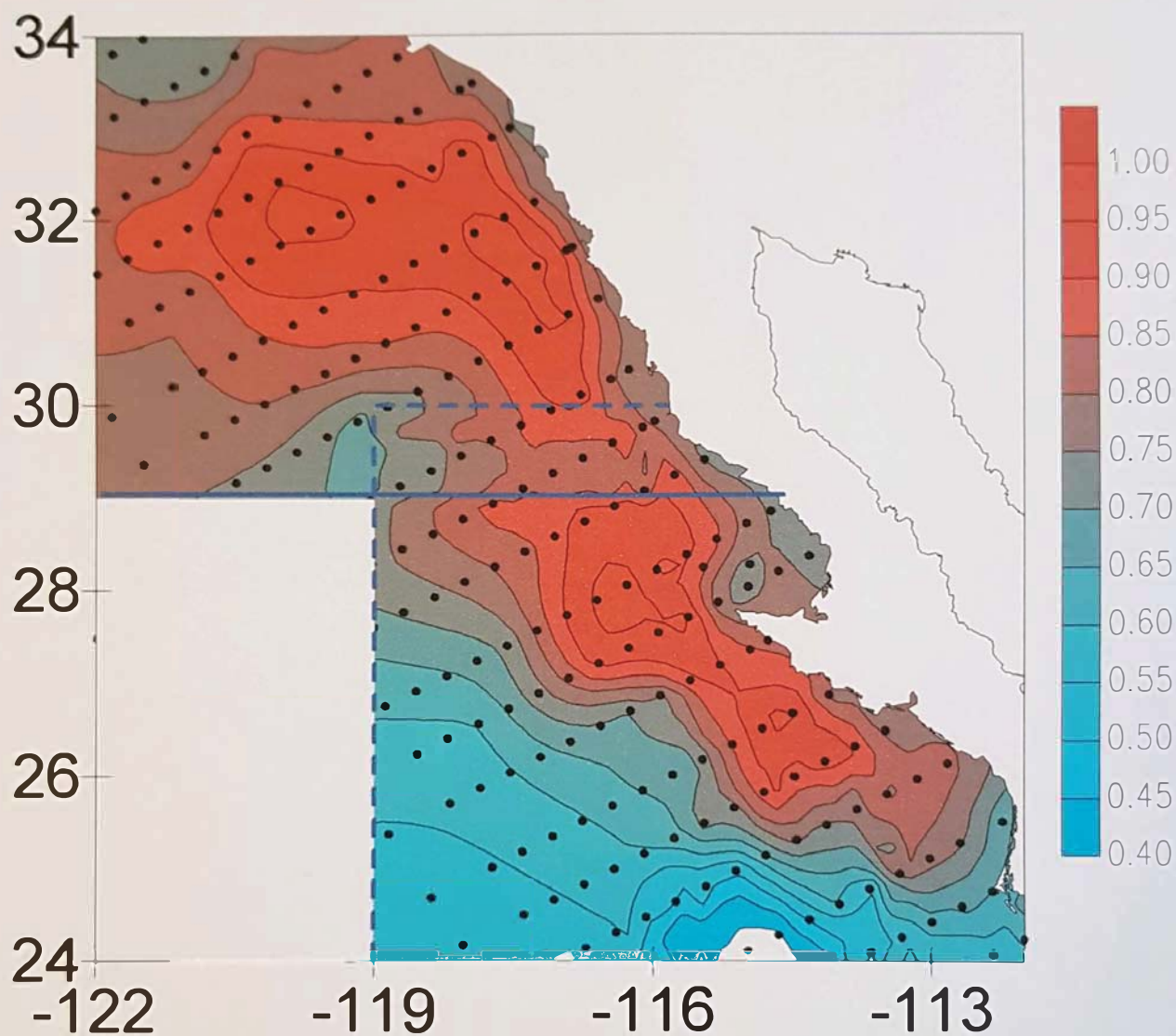


Figura 9. Representatividad combinada y escalada (entre 1 y 0) de las series de temperatura superficial del mar, volumen de zooplancton y abundancias de sardina, anchoveta y merluza.

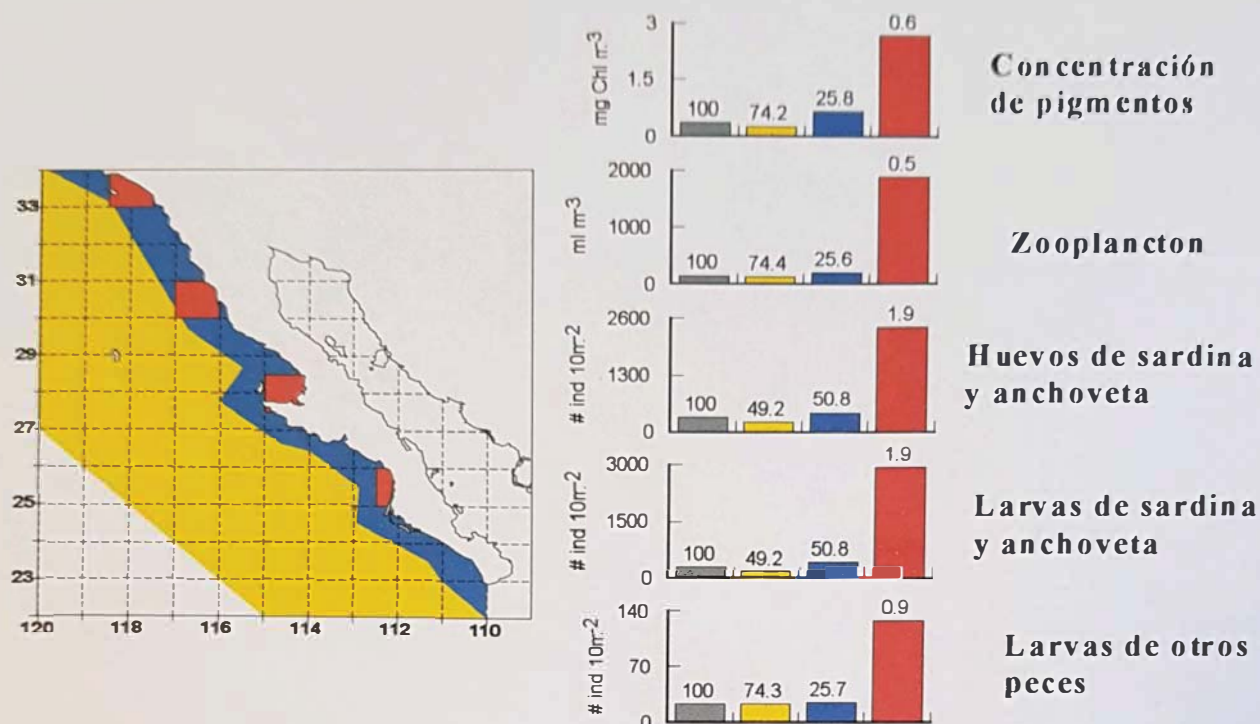


Figura 10. Comparación de las áreas BAC con el resto del sistema. Los cuadros y barras en rojo indican la ubicación y la concentración o abundancias que tienen los BAC con respecto a cada variable, la zona y barras en azul representan la región costera, la zona y barras en amarillo equivalen a la parte oceánica y las barras en gris señalan el total del sistema. Encima de las barras se indica el porcentaje que ocupa cada zona con respecto al total (tomado de Lluch Belda, 2000).

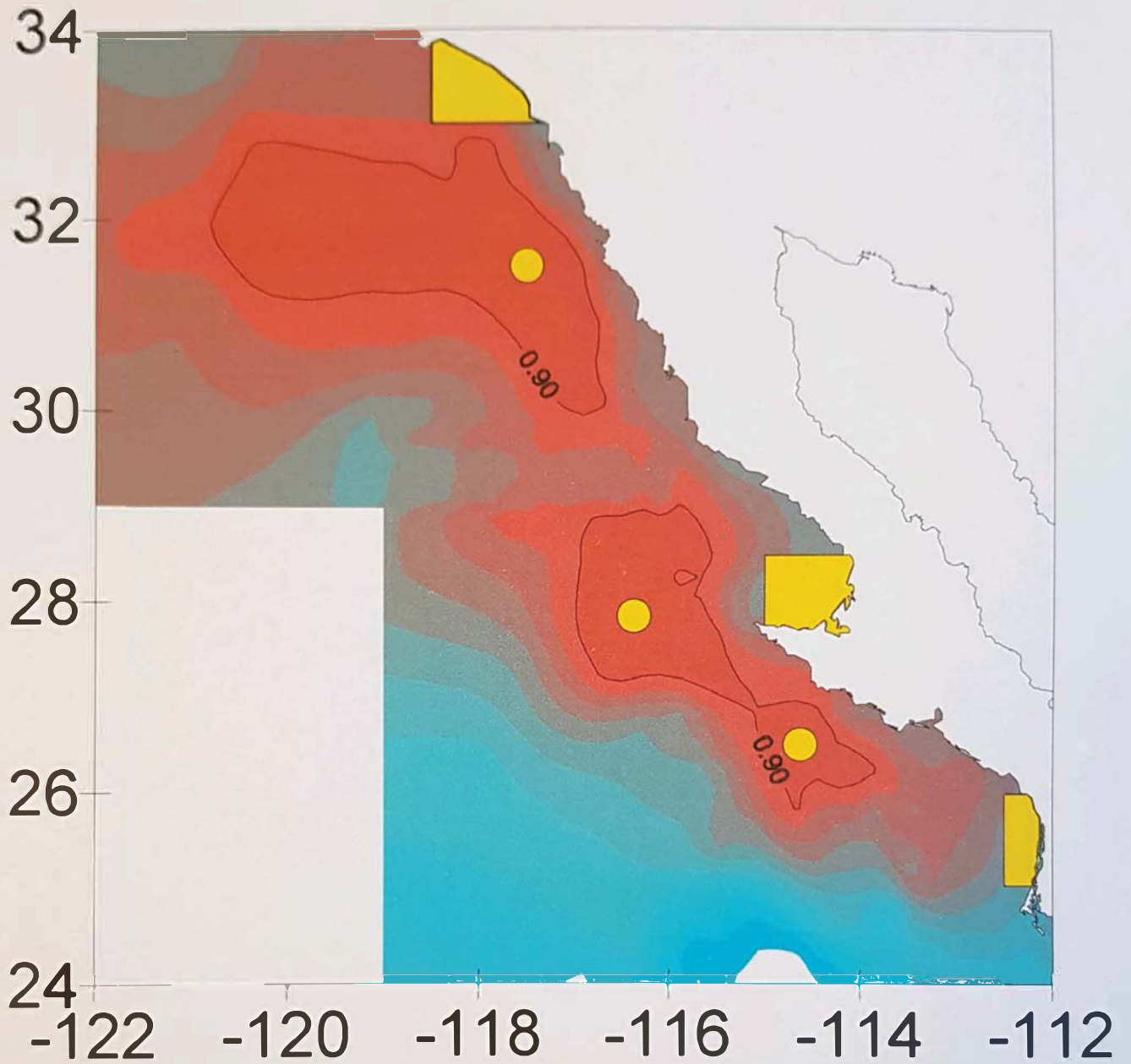


Figura 11. Propuesta de muestreo construida a partir de la información recopilada más la obtenida en este estudio. Los cuadros amarillos identifican a los BAC, la zona dentro de la línea indica que en cualquier parte en que se observe, se tiene una representatividad del 90% con respecto al sistema completo y los puntos sugieren la localización de las plataformas oceanográficas.

Discusión

El análisis de representatividad desarrollado en el presente estudio tienen el objetivo de resaltar aquellas regiones que por su forma de variación respecto de diversas variables combinadas nos permitan inferir el comportamiento de otras zonas dentro del sistema.

En la Corriente de California el agua del Pacífico Sub-ártico es acarreada hacia el Ecuador durante todo el año, extendiéndose hacia el océano entre 300-400 km en el centro y el sur de California, mientras que para la región de Baja California disminuye hasta 200 km. Esta estructura es similar a la encontrada en los mapas de representatividad del presente estudio, en los que la zona más representativa se acerca hacia la costa a medida que la latitud es menor e incluso disminuye de forma importante para la región del Golfo de Ulloa. En este sentido, los resultados del presente trabajo muestran que la región de mayor representatividad para las variables combinadas tiene una estructura espacial muy similar a la Corriente de California descrita por Lynn y Simpson (1987; figura 12; tomado de Lluch Belda, 2000). Respecto de la otra categoría de zonas, los BAC, la propuesta del presente estudio se basa en trabajos realizados por otros autores en los que se denota la importancia relativa de estas pequeñas regiones costeras. Bautista Romero (1999) menciona que existen por lo menos cinco grupos de distribución de larvas de peces asociados al sistema de la Corriente de California y dos de ellos, en los que se incluyen a las especies indicadoras, se encuentran en los BAC (figura 13).

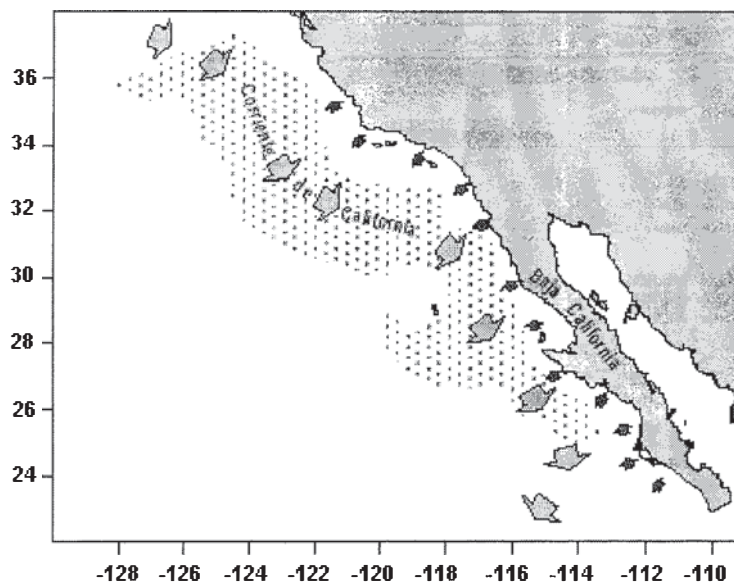


Figura 12. La Corriente de California digitalizada de Lynn y Simpson (1987) (punteado) y la contracorriente costera (tomado de Lluh Belda, 2000)

Morales Zárate *et al.*, (2000) analizaron la posible forma de operación de la tríada propuesta por Bakun para la región de Bahía Sebastián Vizcaíno y Punta Baja, encontrando que en la primera se mantiene una productividad constante a través del tiempo (figura 14) gracias a que, por la presencia de un giro semi-permanente, se presentan los tres elementos de la tríada, mientras que para Punta Baja se encuentran ausentes los procesos de concentración y retención. Hernández Rivas *et al.* (2000) realizaron un estudio sobre la distribución del zooplancton e ictioplancton en la región de estudio y concluyen que las zonas de la cuenca del sur de California y la Bahía Sebastián Vizcaíno son favorables para la reproducción, alimentación y refugio para especies de diferentes hábitat tanto en el dominio espacial como en el térmico. En el presente trabajo se considera que estas regiones deben ser observadas de manera continua, a fin de contar con un indicador de lo que ocurre con la producción biológica del sistema completo; es decir, mediante la observación de aquellas regiones donde se

concentra la mayor actividad biológica se tiene un estimado de una proporción importante de la producción del sistema completo.

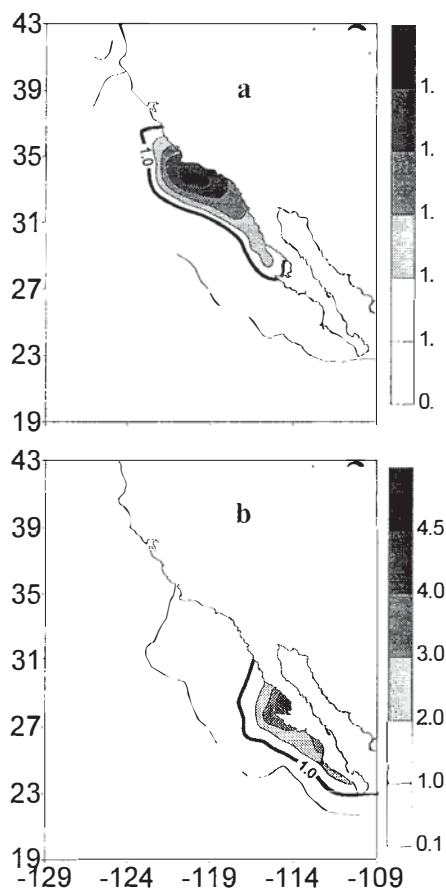


Figura 13. Grupos de especies con diferente distribución asociada a: a) la Cuenca del sur de California y b) la Bahía Sebastián Vizcaíno (tomado de Bautista Romero, 1999)

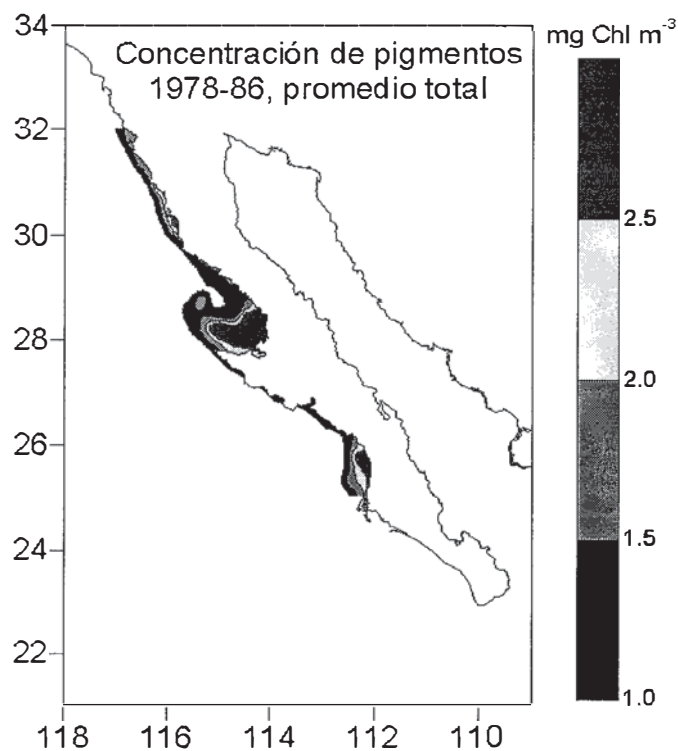


Figura 14. Concentración de pigmentos para la zona de Punta Eugenia-Bahía Magdalena (tomado de Morales Zárate *et al.*, 2000).

En la figura 10 se aprecia la diferencia que existe entre las regiones BAC y sus alrededores usando varios índices, como la concentración de pigmentos, la abundancia de larvas costeras y pelágicas y el volumen filtrado de macrozooplancton. Algunos trabajos previos consideran la posibilidad de manejar estos puntos de alta concentración como indicadores de los cambios del sistema. Muñoz Mejía *et al.* (2000) mencionan que las especies que se encuentran en la Corriente de California tienen respuestas muy diferentes ante los diversos cambios en el tiempo; sin embargo, a nivel espacial destacan la importancia de cuadrantes de 1° x 1° localizados cerca de los BAC, de las cuales concluyen que es necesario efectuar estudios dirigidos a la factibilidad de utilizarlos como zonas de predicción.

La estimación de costos de operación indicó que un monitoreo continuo para las regiones de mayor representatividad en conjunto con los Centros de Actividad Biológica es mucho menor comparada con la de hacer recorridos para toda la zona utilizada por el programa CalCOFI, en un orden de hasta 1/14. Con la intención de contar con mediciones continuas de diversas variables, se contempla en la presente propuesta el uso de plataformas oceanográficas. La comparación de los gastos incluido este elemento indica que a largo plazo puede resultar de gran beneficio, a pesar de que al inicio los costos son poco menos de la mitad de los asociados al muestreo tipo CalCOFI, en un cálculo a cinco años el costo relativo es de hasta 1/10.

Los alcances de la presente propuesta no se limitan a la observación de la parte sur de la Corriente de California, sino que representan un modelo de esquema basado en análisis de representatividad e identificación de regiones altamente productivas, que podría ser aplicado en otras regiones del planeta, especialmente a aquellas donde debido a su situación económica y/o de gobernabilidad, puede ser la única posibilidad para realizar observación de recursos.

Finalmente, es importante notar que el muestreo continuo de la región propuesta debe efectuarse preferentemente cuando la observación de toda la zona no sea factible, y bajo este esquema, debemos resaltar que sólo mediante programas tipo CalCOFI se podrá verificar la información obtenida en los monitoreos continuos por lo que su ejecución es también necesaria y benéfica

Conclusiones

1. Los Centros de Actividad Biológica mantienen una alta productividad a lo largo del tiempo, contribuyendo con una alta proporción de la producción del sistema completo (GEM). En este sentido, se reconoce la necesidad de mantener una observación permanente en ellos.
2. Los resultados muestran que la región de más alta representatividad del sistema completo en términos de variaciones tiene una estructura espacial muy similar a la Corriente de California. Esta zonas, por definición, representan una posibilidad de observar cambios el sistema completo sobre la base de muestrear en pequeñas regiones.
3. Se propone que la observación permanente y combinada de los Centros de Actividad Biológica y las regiones de mayor representatividad permitiría generar la información necesaria para identificar los cambios y explorar los mecanismos que participan en el Gran Ecosistema Marino de la Corriente de California.
4. Los costos de operación que resultarían de mantener un monitoreo continuo sobre la región de mayor representatividad y los BAC en conjunto son de un orden de magnitud inferior comparado con el necesario para muestrear la CC sobre la base de muestreos tradicionales tipo CalCOFI (cruceros). La inclusión de una plataforma oceanográfica para el registro constante de las variables físicas de mayor importancia no representa un cambio significativo a largo plazo, puesto que su manutención no demanda muchos recursos económicos.

5. Adicionalmente al estudio permanente de las regiones propuestas, la observación eventual del sistema completo mediante programas tipo CalCOFI permitiría obtener información útil para la validación de las mediciones realizadas en las zonas propuestas en este estudio.

6. La consideración de este tipo de alternativas de observación es importante especialmente en aquellos países que no cuentan con la infraestructura necesaria para llevar a cabo programas permanentes de gran escala espacial.

Bibliografía

Ahlstrom, E. H. 1965. Kinds and abundance of fish in the California Current region based on egg and larval surveys. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep. 10:31-52.

Bakun, A. 1998. Ocean triads and radical interdecadal stock variability bane and boon for fishery management science. *En*: Pithcer, T. J., P. J. B. Hart & D. Pauly. (Eds). Reinventing Fisheries Management. Kluwer Acad. Pub. 331-358 pp.

Bakun, A. 1996. Patterns in the ocean, ocean processes and marine population dynamics. California Sea Grant / CIB. 323 pp.

Bautista Romero, J. J. 1999. Distribución de larvas de peces de la corriente de California, en los dominios temporal, espacial y térmico. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas / Instituto Politécnico Nacional. 75 pp.

Baumgartner, T., R. Durazo, B. Lavaniegos, G. Gaxiola, M. Hernández, Y. Green, V. Arenas, S.E. Lluch-Cota y J. Gómez. 2000. The IMECOCAL Programme. GLOBEC International Newsletter, 6(2):13-15.

Bograd, S.J., P. M. DiGiacomo, R. Durazo, T.L. Hayward, K.D. Hyrenbach, R.J. Lynn, A.W. Mantyla, F.B. Schwing, W.J. Sydeman, T. Baumgartner, B. Lavaniegos, y C.S. Moore. 2000. The state of the California Current, 1999-2000: forward to a new regime? Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep., 41, 27 pp.

CalCOFI on line data system. 1988. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Spec. Pub. 25 pp.

GOOS-UNESCO. 1998. The Global Ocean Observing System Prospectus 1998. GOOS Pub. 42. 144 pp y anexos.

Hernández Rivas, M. E., S. Jiménez Rosenberg, R. Funes Rodríguez y R. Saldierna Martínez. 2000. El centro de actividad biológica de la bahía de Sebastián Vizcaíno, una primera aproximación. *En*: Lluch Belda, D., J. Elorduy Garay, S. E. Lluch Cota y G. Ponce (eds.) 2000. Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. 65-85 pp.

Hernández Vázquez, S. 1994. Distribution of eggs and larvae from sardine and anchovy off California and Baja California, 1951-1989. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.*, 35:94-107.

Hewitt, R. 1988. Historical review of the oceanographic approach to fishery research. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.*, 29:27-41.

Hewitt, R. 1981. Eddies and speciation in the California Current. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.*, 22:96-98.

Isaaks, E. H. y R. M. Srivastava. 1989. *Applied geostatistics*. Oxford University Press. Nueva York, E. U. 561 pp.

Lasker, R. y A. MacCall. 1983. New ideas on the fluctuations of the clupeoid stocks off California. *En* C.N.C. / SCOR Proc. of the Joint Oceanographic Assembly 1982-general symposia. Ottawa, Can. 110-120.

Leet, W. S., C. M. Dewees y C. W. Haugen. 1992. California's living marine resources and their utilization. California Sea Grant. Pub. 257 pp.

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 y G. Ponce (eds.) 2000. Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. 49-64 pp.

Lluch Belda, D. 1997. A Proposal for IAI phase II research Biological Action Centers: Background paper. IAI-Phase I Workshop: Comparative studies on the physical and biological environments of upwelling temperate areas. Biological Action Centers (BACs). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Inter-American Institute for Global Change Research. La Paz, B.C.S. México. Julio 1997.

Lluch Belda, D., J. F. Elorduy Garay, S. E. Lluch Cota & G. Ponce Díaz. 2000. Recapitulación. *En*: Lluch Belda, D., J. Elorduy Garay, S. E. Lluch Cota y G. Ponce (eds.) 2000. Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. 357-367 pp.

Lluch Belda, D., D. B. Lluch Cota, S. Hernández Vázquez y C. A. Salinas Zavala. 1992. Sardine population expansion at the eastern boundary systems of the Pacific Ocean, as related to sea surface temperature. *En*: Payne, A.J.L., K.H. Brink, K.H. Mann y R. Hilborn (Eds.) Benguela trophic functioning. *S. Afr. J. Mar. Sci.*, 147-155.

Lynn, R. J. y J. J. Simpson. 1987. The California current system: The seasonal variability of its physical characteristics. *Journal of Geophysical Research*, N. C12, 92:12947-12966.

Martínez García, M. y D. Lluch Belda. 2000. Cambio climático global y centros de actividad biológica. *En*: Lluch Belda, D., J. Elorduy Garay, S. E. Lluch Cota y G. Ponce (eds.) 2000. Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. 1-11 pp.

Morales Zárate, M. V., S. Lluch Cota, D. Voltolina y 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 y G. Ponce (eds.) 2000. Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. 99-110 pp.

Morales Zárate, M. V. 1999. Comparación entre dos zonas de alta productividad biológica en la costa occidental de Baja California. Tesis licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar. Universidad Autónoma de Sinaloa. 42 pp.

Moser, H. G., R. L. Charter, P. E. Smith, D. A. Ambrose, S. R. Charter, C. A. Meyer, E. M. Sandknop y W. Watson. 1993. Distributional atlas of fish larvae in the California Current region: Taxa with more than 1000 total larvae, 1951-1984. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Atlas, 31. 233 pp.

Moser, H. G., R. L. Charter, P. E. Smith, D. A. Ambrose, S. R. Charter, C. A. Meyer, E. M. Sandknop y W. Watson. 1994. Distributional atlas of fish larvae in the California Current region: Taxa with less than 1000 total larvae, 1951-1984. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Atlas, 32:xxi.

Muñoz Mejía, E. M., S. E. Lluch Cota, D. Voltolina y M. V. Morales Zárate. 2000. Exploración de la capacidad predictiva de los BACs en espacio y tiempo: Punta Eugenia y el sur de California. *En*: Lluch Belda, D., J. Elorduy Garay, S. E. Lluch Cota y G. Ponce (eds.). 2000. Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. 87-97 pp.

Pavlova, Y. V. 1966. Seasonal variations of the California Current. Academic of Science Institution of Oceanography, Rusia. 6 (6):806-814.

Sherman, K. y Q. Tang. 1999. Large Marine Ecosystems of the Pacific Rim. Assessment, sustainability and management. Blackwell Science, Inc. USA. 465 pp.

Anexo

KRIGING (*inglés*). Es un algoritmo que permite efectuar interpolaciones a nivel espacial con mayor precisión, reduciendo el error a cero, utilizando matrices de covariancias. Se distingue por incorporar el parámetro Lagrangeano para poder resolver las ecuaciones ponderando de acuerdo a los siguientes criterios:

1.- El algoritmo asigna un peso a los diferentes datos de acuerdo a la distancia que existe entre el punto que va a ser interpolado y los valores observados.

2.- Una vez asignado el peso, toma en cuenta las variaciones de superficie (p. e. topografía), si los valores se encuentran en una superficie plana el peso asignado será muy similar, de lo contrario los pesos se ajustan.

3.- Al calcular los pesos, el algoritmo considera el error de muestreo de los datos. Si las mediciones son buenas entonces la superficie interpolada pasará justo por el valor observado, mientras que si las mediciones son engañosas puede no cruzar el dato, lo cual es más evidente si existe un valor muy diferente con respecto a sus vecinos observados.

4.- A menudo los fenómenos y procesos naturales presentan una orientación definida, lo cual se nombra anisotropía. Por ejemplo, en la boca de un río los sedimentos que se encuentran cerca son más gruesos y a medida que se va más adentro se encuentran sedimentos más finos. Por lo tanto, al momento de otorgar pesos e interpolar, un punto a 100 metros de distancia será más similar a un valor observado paralelo a la costa que a otro ubicado a la misma distancia pero perpendicular a la costa.

Para información más detallada acerca de este método consultar Isaaks y Srivastava (1989).