



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

ANALISIS DE LA VARIABILIDAD ESPACIO-
TEMPORAL EN LA DISPONIBILIDAD DE LAS
ESPECIES DE PELAGICOS MENORES EN EL GOLFO
DE CALIFORNIA Y SU RELACION CON EL MEDIO
AMBIENTE.

TESIS

Que para obtener el grado de

Doctor en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación Pesquerías)

P r e s e n t a

Edgar Edmundo Lanz Sánchez

La Paz, B.C.S., Septiembre de 2008

ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 13:00 horas del día 12 del mes de noviembre del 2008, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

"Análisis de la variabilidad espacio-temporal en la disponibilidad de las especies de pelágicos menores en el Golfo de California y su relación con el medio ambiente"

Presentada por el alumno:

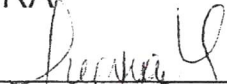
Edgar Edmundo Lanz Sánchez

Aspirante al Grado de DOCTOR EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN PESQUERÍAS

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

LA COMISIÓN REVISORA

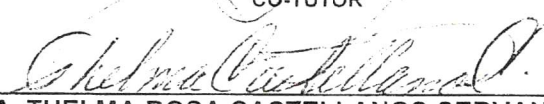

DR. MANUEL OTILIO NEVÁREZ MARTÍNEZ
DIRECTOR DE TESIS


DRA. JUANA LÓPEZ MARTÍNEZ
CO-DIRECTOR DE TESIS


DR. SERGIO HERNÁNDEZ VÁZQUEZ
CO-TUTOR


DR. DANIEL BERNARDO LLUCH COTA
CO-TUTOR


DR. JUAN ADOLFO DWORAK ROBINSON
CO-TUTOR


DRA. THELMA ROSA CASTELLANOS CERVANTES,
DIRECTORA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Comité Tutorial y Revisor de Tesis

Dr. Manuel Otilio Nevárez Martínez (DIRECTOR DE TESIS)

Dr. Juana López Martínez (CO-DIRECTOR DE TESIS)

Dr. Daniel Bernardo Lluch Cota (CO-TUTOR DE TESIS)

Dr. Sergio Hernández Vázquez (CO-TUTOR DE TESIS)

Dr. Juan Adolfo Dworak Robinson (CO-TUTOR DE TESIS)

Jurado De Tesis

Dr. Manuel Otilio Nevárez Martínez

Dr. Juana López Martínez

Dr. Daniel Bernardo Lluch Cota

Dr. Sergio Hernández Vázquez

Dr. Juan Adolfo Dworak Robinson

RESUMEN

El Golfo de California (GC) soporta una importante pesquería comercial de pelágicos menores. Sin embargo, estas especies han experimentado variaciones significativas a lo largo del tiempo, las cuales han sido adjudicadas a la variabilidad ambiental y a factores denso-dependientes. Aunque la información existente sobre estos recursos es considerable, aun existen preguntas fundamentales relacionadas con el impacto que las condiciones oceanográficas tienen sobre su distribución y abundancia. En el presente trabajo se aborda el problema de la distribución espacial de las especies de pelágicos menores en el GC, con énfasis en la sardina Monterrey (*Sardinops sagax caeruleus*), sardina Crinuda (*Opisthonema libertate*), macarela (*Scomber japonicus*) y la anchoveta norteña (*Engraulis mordax*), y el efecto que la variabilidad oceánica (con énfasis en Temperatura Superficial del Mar (TSM) y Concentración de Pigmentos fotosintéticos (Chl-a), inferida mediante imágenes de satélite) tiene sobre la disponibilidad de estas especies.

La investigación doctoral se compone de tres fases fundamentales. En la primera fase, se extrae la información de composiciones semanales de los campos de TSM y Chl-*a* provenientes del satélite MODIS-Aqua, a una resolución espacial de 4 km, a partir de Octubre de 2002 hasta Junio de 2007. En la segunda fase, se analizó la información pesquera, basada en las relaciones topológicas de lances diarios, para el mismo periodo de tiempo, utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). En esta fase se implementó un método para la regionalización y el análisis de la actividad pesquera de pelágicos menores en el GC basado en los patrones espaciales de la información de lances y capturas. Estos datos fueron transformados a un Índice de Región Ponderada (WRI) utilizando operadores de Lógica Difusa. El WRI reveló centros de actividad pesquera caracterizados por áreas con los valores más altos de WRI y se obtuvo un orden jerárquico para denotar la importancia relativa de cada región, siendo las regiones de Guaymas, el Desemboque de Caborca, Isla Patos y Bahía San Rafael, los más prominentes. Sobre esas regiones reveladas, se analizó la información histórica de la composición de especies en la forma de frecuencia relativa. Este análisis en particular mostró que la sardina Monterrey tuvo una abundancia relativa mayor al 80% en la región de las Grandes Islas y permaneció como la especie más importante en las regiones del alto golfo, mientras que en la parte central del golfo las abundancias de la sardina Monterrey y la anchoveta norteña estuvieron más equilibradas. La abundancia relativa de la macarela fue significativamente mayor en la región de la Isla Patos, respecto a cualquier otra región. La región de Guaymas mostró la mayor composición relativa de anchoveta norteña, en contraste con los más bajos valores de sardina Monterrey. El Desemboque de Caborca mostró la mayor homogeneidad en la composición relativa de especies. En consecuencia, el presente método reconoce las diferencias espaciales en la composición de especies por regiones.

La tercera fase integra la información pesquera y del clima oceánico para explorar las relaciones ambiente-recurso. En esta fase, las imágenes de Chl-*a* y SST, y mapas derivados en forma de gradientes de SST y Chl-*a*, fueron relacionados con los datos de captura de sardina Monterrey, sardina crinuda, anchoveta y la macarela. El parámetro SST

no mostró tener gran influencia para la mayoría de las especies estudiadas a excepción de la anchoveta ($r^2=0.71$), mientras que la Chl-*a* mostró ser altamente significativo para la sardina Monterrey ($r^2=0.94$), sardina crinuda ($r^2=0.90$) y macarela ($r^2=0.96$). La clorofila también mostró tener una mejor asociación para la anchoveta ($r^2=0.57$), con un rango de preferencia de 2.5 a 4.5 mg/m³. Sin embargo, la magnitud del gradiente de SST mostró ser un mejor patrón que describe la distribución de esta especie en el GC ($r^2=0.87$), mientras que el resto de las especies mostraron una distribución de frecuencias similar en el análisis de gradientes de SST y Chl-*a*.

Palabras Clave: distribución espacial, Golfo de California, SIG, regiones pesqueras, pelágicos menores. SIG, temperatura superficial del mar, Clorofila, Gradiente.

ABSTRACT

The Gulf of California (GC) constitutes a unique ecosystem that is characterized by an important small pelagic fishing industry. However these species have undergone considerable variations in both, their distributions and abundance over time; influenced by spatial and temporal climate variations that influences the distribution of fish and therefore their availability to fishing. The present study deal with the spatial and temporal distribution of small pelagic fishes in the GC, focused mainly on Pacific sardine (*Sardinops sagax caeruleus*), thread herring (*Opisthonema libertate*), mackerel (*Scomber japonicus*) and northern anchovy (*Engraulis mordax*), and the influence that the oceanic climate variation (in the basis of remote-sensed Sea Surface Temperature and Chlorophyll -a concentration) has in the availability of these species.

The study overall is based on three phases mainly. In the first stage we retrieved information of remote-sensed weekly composites Sea Surface Temperature (SST) and Chlorophyll -a (Chl-a) concentration from the sensor MODIS-Aqua in a 4 km spatial resolution for the period October 2002 to June 2007. Second stage compromises the analysis of commercial fisheries data, based on the topology of landing for the same period, by using a Geographical Information System (GIS) approach. In this stage a method for regionalization and analysis of fishing activities for small pelagic fisheries in the GC based on spatial patterns of landing and catch data was performed. Landings and catching data were transformed into a Weighted Region Index (WRI) by using fuzzy logic operators. The WRI revealed fishing action centers characterized by areas with the highest WRI values, and a hierarchy for the relative importance of the regions was established. Guaymas, Desemboque de Caborca, Isla Patos, and Bahía San Rafael they were the most prominent ones. An analysis of the relative frequency of species composition showed that the Pacific sardine had over 80 % abundance in the midriff islands, and remained as the most important in the upper gulf regions, while in the central part of the gulf, relative abundances of Pacific sardine and northern anchovy were more balanced. Relative abundance of mackerel was significantly larger around Isla Patos than in any other place. Guaymas had the largest relative composition of Northern anchovy and the lowest values for Pacific sardine. Desemboque de Caborca showed the largest homogeneity in species relative composition. Thus the present method acknowledges the spatial differences of species by regions, additional to the traditional time series analysis.

Third phase integrates the previous stages, to explore fisheries and climate relationships in the GC. In this stage, a GIS-based approach was used to investigate the association between weekly remote-sensed sea surface chlorophyll-a concentration (Chl-a), sea surface temperature (SST) images, and derived SST and Chl-a gradient maps, and daily fisheries catch data for the same period. The species studied included Pacific sardine, thread herring, anchovy and, mackerel. SST not showed higher influence for the most species except for anchovy ($r^2=0.71$), while Chl-a showed to be significant for Pacific sardine ($r^2=0.94$), thread herring ($r^2=0.90$), and mackerel ($r^2=0.96$). Chl-a showed a better association in relation with anchovy ($r^2=0.57$). However, SST gradient showed to be a better pattern for the distribution of this species ($r^2=0.87$), while the rest of species showed similar distribution in the SST and Chl-a gradients.

Key words: spatial distribution, Gulf of California, GIS, fishing regions, small pelagic fishes, SST, Chlorophyll-a, Gradient.

DEDICATORIA.

A mi madre Sra. Flora Sánchez Félix.

A mi esposa Sra. Loredana Carrero Portillo por su amor y apoyo.

A mi hija **Loredana.**

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. a través del proyecto Fiscal EP.5 “Recuperación y ordenamiento pesquero en la región Noroeste de México”.

Al Centro regional de Investigación Pesquera en Guaymas, Sonora, por las facilidades otorgadas, en especial al grupo de trabajo del Proyecto Sardina.

A la Cámara Nacional de la Industria Pesquera, en especial a la compañía PROPEGUAY S.A. DE C.V., por su valiosa contribución con la información pesquera.

Se agradece al CONACyT por el otorgamiento de la beca numero 85931 y al departamento de Posgrado del CIBNOR por el apoyo recibido durante mis estudios en esa institución.

Agradezco al Dr. Manuel Otilio Nevárez Martínez su amistad, apoyo y confianza para iniciar en esta nueva etapa de mi vida. Gracias también por sus valiosos consejos en la Dirección de esta Tesis. A la Dra. Juana López Martínez, Co-directora de tesis por su apoyo y momentos agradables y de convivencia. Igualmente al Dr. Juan Adolfo Dworak Robinson por estar siempre pendiente de mis avances en la investigación doctoral y valiosos consejos. A los Dres. Daniel Bernardo Lluch Cota y Sergio Hernández Vázquez por su valioso tiempo dedicado a las correcciones y al desarrollo de esta investigación.

Al Instituto Tecnológico de Guaymas, por su apoyo al otorgarme permisos para asistir a los eventos académicos inherentes a este programa de estudios.

A la Dra. Elia Alicia Moreno Burceaga, por su confianza y su apoyo en las etapas importantes de mi formación en SIG, en el cual hoy se ve cristalizado un sueño más.

Agradezco a mi esposa Loredana Carrero Portillo por brindarme su comprensión y apoyo moral y estar a mi lado a lo largo de todo este recorrido físico e intelectual. A mi hija a quien le ha tocado gozar y sufrir una parte de este recorrido y a mis amigos por compartir conmigo este tiempo.

Contenido.

Página

Acta de revisión de tesis.
Resumen en español
Resumen en inglés
Dedicatoria
Agradecimientos
Contenido
Lista de Figuras
Lista de Tablas

I Introducción.

- 1.1. Antecedentes.
 - 1.1.1. La pesquería de pelágicos menores en el Golfo de California.
 - 1.1.2. La composición por especie de la pesquería de pelágicos menores.
 - 1.1.3. Los cambios en la abundancia de las especies de pelágicos menores en el GC.
 - 1.1.4. La importancia del ambiente en la distribución y abundancia de pelágicos menores.
 - 1.1.5. La variabilidad ambiental y su relación con la distribución y abundancia de pelágicos en el Golfo de California.
 - 1.1.6. La variabilidad espacial de la disponibilidad de los recursos pesqueros y su importancia en las pesquerías.
 - 1.1.7. El uso de SIG y sensores remotos para la evaluación y manejo de pesquerías.
 - 1.1.8. La regionalización de la actividad pesquera.
- 1.2. Objetivos.
 - 1.2.1. Objetivo general.
 - 1.2.2. Objetivos particulares.

II. Materiales y Métodos.

- 2.1. El área de estudio.
- 2.2. Información del clima oceánico.
 - 2.2.1. Imágenes de satélite.
 - 2.2.2. Procesamiento de la información proveniente de satélites.

Contenido (cont.).

Página

- 2.3. Análisis de la información pesquera.
- 2.3.1. Recopilación de datos de la pesquería.
- 2.3.2. El método para regionalizar la actividad pesquera.
- 2.3.3. El uso de filtros espaciales.
- 2.3.4. El análisis de regiones basado en la composición de especies.
- 2.4. Análisis de la relación ambiente-recurso.
- 2.4.1. Mapas de gradiente derivados de TSM y Chl-*a*.
- 2.4.2. Análisis en el SIG.
- 2.4.3. Análisis estadístico de la información pesquera.

III Resultados.

- 3.1. Imágenes de satélite.
- 3.1.1. Patrones espacio-temporales de la TSM y Chl-*a*.
- 3.2. Análisis de la información pesquera: en busca de Centros de Actividad Pesquera en el GC.
- 3.2.1. Distribución espacial de los lances de pelágicos menores.
- 3.2.2. Distribución espacial de la densidad e lances y densidad de capturas.
- 3.2.3. Regionalización de la actividad pesquera.
- 3.2.4. Distribución espacial de las especies de pelágicos menores en las regiones más densamente muestreadas.
- 3.3. Relación ambiente-recurso.
- 3.3.1. Distribución espacial de los datos de la pesquería.
- 3.3.2. Patrones temporales de TSM y Chl-*a* provenientes de satélite.
- 3.3.3. Influencia del ambiente en la abundancia de pelágicos menores.

IV. Discusión de resultados.

- 4.1. Imágenes de satélite.
- 4.1.1. Temperatura Superficial del Mar y Clorofila -*a*.
- 4.2. Análisis de la información pesquera.

Contenido (cont.).

Página

- 4.2.1. El método de regionalización de la actividad pesquera.
- 4.2.2. Determinación de las regiones más densamente muestreadas en relación a la pesquería de pelágicos menores.
 - 4.2.2.1 Distribución espacial de los IEL
 - 4.2.2.2 El uso de filtros espaciales.
 - 4.2.2.3 Localización de los Centros de Actividad Pesquera para el GC.
- 4.3. Análisis espacial de las especies de pelágicos menores en las regiones más densamente muestreadas.
- 4.4. Relación ambiente-recurso.
 - 4.4.1. La relación del medioambiente con la pesquería de pelágicos menores.
 - 4.4.2. Las preferencias ambientales de las especies de pelágicos menores.

V Conclusiones.

VI Referencias.

ANEXOS

1. Composiciones mensuales de Clorofila-*a* obtenida de MODIS-Aqua.
2. Composiciones mensuales de TSM obtenida de MODIS-Aqua.
3. Promedios y desviaciones estándar temporales de Clorofila-*a* y TSM.
4. Distribución mensual de las especies de pelágicos menores en el GC de Oct. 2002 a Jul. 2004
5. Artículo Aceptado.
6. Artículo sometido.

Lista de Figuras.

	Descripción	Página
Figura 1.	Comportamiento de la pesquería de pelágicos menores (valores normalizados: $Z_i=(x_i-\mu)/\sigma_x$) en el Golfo de California para las temporadas 1969 /1970 a 2005/2006.(Modificado de INP 2006).	
Figura 2.	Descarga comercial de pelágicos menores y flota pesquera en Baja California Norte (A) y en Sonora (B) (Tomado de Nevárez-Martínez <i>et al.</i> 2004).	
Figura 3.	Comportamiento histórico de las capturas comerciales de pelágicos menores en Sonora (A) y en Ensenada (B). (Tomado de Nevárez-Martínez <i>et al.</i> 2004).	
Figura 4.	Mapa del GC mostrando las áreas estadísticas de pesca para la pesquería de pelágicos menores (Modificado de Nevárez-Martínez <i>et al.</i> 2001).	
Figura 5.	Modelo de circulación superficial del mar en el Golfo de California durante invierno y verano (tomado de Lluch-Cota 2000).	
Figura 6.	Frecuencias relativas de lances y abundancias relativas para una resolución espacial de 4 km y de 9 km,	
Figura 7.	Representación esquemática de un filtro espacial con un kernel de 3x3.	
Figura 8.	Imágenes de satélite del Golfo de California extraídas de MODIS-Aqua mostrando la Temperatura Superficial del Mar A) y B) y la concentración de clorofila -a C) y D), para Diciembre y Enero de 2003, respectivamente, representando condiciones de invierno y verano.	
Figura 9.	Distribución espacial de los lances (puntos gris obscuro) de la pesquería de pelágicos menores en el GC del 2002 al 2007.	
Figura 10.	Distribución espacial de A) densidad de lances y B) densidad de capturas (celdas en tonos de gris) de la pesquería de pelágicos menores en el GC del 2002 al 2007. Los colores mas oscuros de la escala de grises indican valores altos para la densidad de lances y capturas.	

Lista de Figuras (Cont.).

	Descripción	Página
Figura 11.	Distribución de frecuencias para A) la densidad relativa de lances, y B) la densidad relativa de la abundancia, derivada de los mapas de densidad de lances y densidad de capturas.	
Figura 12.	Gráfica de regresión lineal para los valores normalizados de la frecuencia de lances vs. la abundancia (<i>nceldas=664</i>). Las discrepancias entre los datos “observados” en torno a la recta de regresión son mayores a medida que la densidad de lances se incrementa.	
Figura 13.	Regiones mas densamente muestreadas en relación con la pesquería de pelágicos menores en el GC en la forma de WRI a una resolución de 4 km.	
Figura 14.	Frecuencia relativa en la composición de especies de pelágicos menores: A) composición de especies por regiones; B) Composición de especies entre regiones. PaS= sardina Monterrey, TH= sardina crinuda, BS= sardina bocona, RH= sardina japonesa, M= macarela PiS= sardina Piña.	
Figura 15.	Promedios mensuales de temperatura superficial del mar y concentración de clorofila- <i>a</i> obtenidos de sensores remotos, y lances de pelágicos menores en el GC de 2002-2007.	
Figura 16.	Distribución espacial de las composiciones semanales promedio de A) TSM; B) Chl- <i>a</i> ; C) Magnitud del Gradiente de TSM, y D) Magnitud del Gradiente de Chl- <i>a</i> . Las imágenes para la semana correspondiente a los días Julianos 097-105 (Abril, 2004) son tomados como un ejemplo.	
Figura 17.	Distribuciones de frecuencia de la TSM y Chl- <i>a</i> para A) sardina Monterrey, B) sardina crinuda, C) macarela y D) anchoveta, para el periodo 2002-2007.	
Figura 18.	Distribuciones de frecuencia de los gradientes de TSM y gradientes de Chl- <i>a</i> para A) sardina Monterrey, B) sardina crinuda, C) macarela y D) anchoveta, para el periodo 2002-2007.	

Lista de Figuras (Cont.).

	Descripción	Página
Figura 19.	Índice de Eficiencia por Lance para una resolución espacial de 4 km.	
Figura 20.	Representación hipotética de la distribución espacial de IEL. El ejemplo muestra un lance con un valor alto de abundancia relativa para un píxel en particular, dando un valor alto de IEL.	
Figura 21.	Representación esquemática de un filtro espacial con un kernel de 3x3.	
Figura 22.	Sobreposición de las regiones pesqueras reveladas sobre la malla de zonas estadísticas de pesca del INP. Las regiones parecen diferenciarse muy bien con respecto a cada área de pesca, principalmente por las regiones III y IV.	
Figura 23.	La sobreposición de las regiones de actividad pesquera con: A) patrones de circulación en la forma de giros (Modificado de Pegau <i>et al.</i> 2002), y B) Regionalización basada en la productividad primaria en el GC (Modificado de Lluch-Belda y Arias-Aréchiga 2000).	
Figura 24.	Valores normalizados de composiciones promedio mensuales de captura y TSM proveniente de sensores remotos durante 2002-2007.	

Lista de Tablas.

	Descripción	Página
Tabla 1.	Principales sensores en operación para aplicaciones oceánicas.	
Tabla 2.	Valores mínimos y máximos de composiciones mensuales de Temperatura Superficial del Mar extraídas de satélite MODIS-Aqua.	
Tabla 3.	Valores mínimos y máximos de composiciones mensuales de concentración de clorofila- <i>a</i> extraídas de satélite MODIS-Aqua.	
Tabla 4.	Valores de Gamma utilizados en el desarrollo de los algoritmos de Lógica Difusa para encontrar las áreas más representativas de la actividad pesquera en el GC.	
Tabla 5.	Explorando Centros de Actividad Pesquera en la forma de Índice de Región Ponderada (WRI) y localización de las regiones seleccionadas para el GC.	
Tabla 6.	Número de datos extraídos de TSM, Chl- <i>a</i> y mapas de gradiente para cada especie de pelágicos menores.	
Tabla 7.	Distribuciones de probabilidad de la TSM para las especies de pelágicos menores en el GC, parámetros estadísticos y valores óptimos, estimados para el periodo 2002-2007.	
Tabla 8.	Distribuciones de probabilidad de gradiente de Sobel para la TSM por especie de pelágicos menores en el GC, parámetros estadísticos y valores óptimos, estimados para el periodo 2002-2007.	
Tabla 9.	Distribuciones de probabilidad de gradiente de Sobel para Chl- <i>a</i> por especie de pelágicos menores en el GC, parámetros estadísticos y valores óptimos, estimados para el periodo 2002-2007.	
Tabla 10.	Análisis de correlación cruzada para las especies de pelágicos menores encontradas en las regiones seleccionadas para el GC.	

I. INTRODUCCIÓN

En México, la pesquería de pelágicos menores (sardinias, anchovetas, macarela y afines) representan aproximadamente el 37% de las capturas totales, siendo esta pesquería la que más participa en términos de peso desembarcado, el cual se encuentra en el orden de los 1.3 a 1.5 millones de toneladas (Anónimo 2000). En el Golfo de California, esta pesquería es multi-específica (Figura 1), lo cual significa que se capturan varias especies con el mismo sistema de pesca. Entre estas, la sardina Monterrey (*Sardinops sagax caeruleus*), es la especie objetivo, seguida por la sardina crinuda (*Opisthonema libertate*), macarela (*Scomber japonicus*), sardina japonesa (*Etrumeus teres*), anchoveta norteña (*Engraulis mordax*), sardina bocona (*Cetengraulis mysticetus*) y sardina piña (*Oligoplites spp.*) (Nevárez-Martínez *et al.* 2004).

La composición de las capturas de estas especies en el Golfo de California ha cambiado en las últimas décadas (Cisneros-Mata *et al.* 1995; Nevárez-Martínez *et al.* 1997, 2001, 2004; Martínez-Zavala *et al.* 2000). En los años setenta y ochenta, las descargas de esa especie crecieron de 11,500 t hasta un récord de 294,000 t en 1988/89. Después hubo una rápida declinación hasta casi 7,000 t en las temporadas 1991/92 y 1992/93 (Cisneros-Mata *et al.* 1995; Nevárez-Martínez *et al.* 1997, 2001). Las capturas se incrementaron nuevamente hasta 215,000 t en 1996/97, pero debido a los fenómenos El Niño y La Niña, disminuyeron de nuevo a niveles de 55,000 t entre 1997/98 - 1999/00 (Martínez-Zavala *et al.* 2000). Entre 2000/01 y 2002/03 las capturas de esta especie se incrementaron de nuevo a niveles promedio de 203,000 t (Nevárez-Martínez *et al.* 2004).

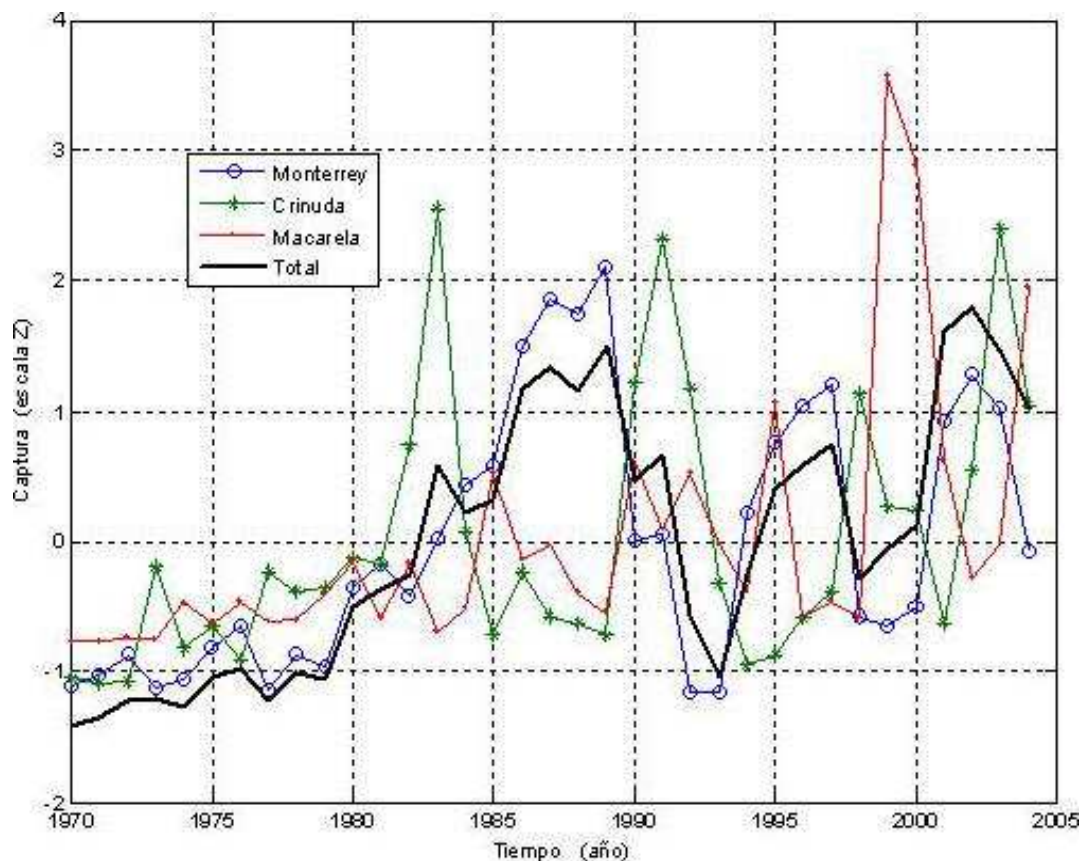


Figura 1. Comportamiento de la pesquería de pelágicos menores (valores normalizados: $Z_i=(x_i-\mu)/\sigma_x$) en el Golfo de California para las temporadas 1969 /1970 a 2005/2006.(Modificado de INP 2006).

A nivel mundial, los grandes cambios en la distribución geográfica de estos organismos han sido reconocidos, impactando su disponibilidad a estas pesquerías, lo cual se refleja en grandes fluctuaciones en las capturas (Radovich 1982; Arcos *et al.* 2001). Las causas de estas fluctuaciones se han planteado desde diferentes enfoques: el ambiental en diferentes escalas de tiempo y espacio (Lluch-Belda *et al.* 1986,1989, 1995; Lluch-Cota *et al.* 1999; Nevárez-Martínez *et al.* 2001) y el pesquero (Nevárez-Martínez *et al.* 2001; Lluch-Cota *et al.* 2001).

El reconocimiento de que grandes fluctuaciones naturales durante periodos cortos de tiempo han ocurrido en las poblaciones de sardina en ausencia de la pesquería, ha sido fuertemente soportada (Smith y Moser 1988; Lluch-Belda 1989, Arcos *et al.* 2001), principalmente basada en las hipótesis de una competencia interespecífica, principalmente con la anchoveta como el más viable competidor ha sido considerada por varios autores (Arcos *et al.* 2001). Sin embargo, Daan (1980) y MacCall (1986) rechazan esta hipótesis al no encontrar una evidencia clara. Basados en las ideas de Hjort (1914), otros autores como Parrish *et al.* (1981) y Lasker y MacCall (1983) entre otros, plantean el problema del reclutamiento de estos organismos como la principal causa de estas fluctuaciones naturales, debidas principalmente a la carencia de alimento como el principal factor de sobrevivencia larvaria. Notables intentos también han sido llevados a cabo intentando relacionar la abundancia de estos organismos con procesos físicos tales como la temperatura o productividad. Cury y Roy (1989), Lluch-Cota *et al.* (1999) y Silva y Yáñez (2000), entre otros, relacionan el éxito en el reclutamiento anual como una función del índice de surgencia, confirmando la existencia de una ventana ambiental óptima para el reclutamiento. El mismo problema es abordado por Cubillos y Montes (2000), para analizar las fluctuaciones de anchoveta y sardina debido a las variaciones locales de Temperatura Superficial del Mar (TSM), encontrando que variaciones de baja frecuencia en la TSM, están asociadas a variabilidad de baja frecuencia en las poblaciones de estos pelágicos.

A nivel nacional, mucho material ha sido publicado en relación con las pesquerías de pelágicos menores, con especial énfasis en la sardina del Pacífico (*Sardinops sagax caeruleus*) (Cisneros-Mata 1987; Cisneros-Mata *et al.* 1996a, 1996b; Sharp 2000; Nevárez-

Martínez *et al.* 1997,1999, 2001, 2004). Las investigaciones en los años recientes han encontrado que el reclutamiento de esta especie esta posiblemente relacionada con la variabilidad ambiental (Lluch-Belda *et al.* 1989, 1995; Shannon *et al.* 1988), y al reclutamiento denso-dependiente de la especie (Cisneros-Mata *et al.* 1996a). En relación con esta variabilidad ambiental y su repercusión en la abundancia en las especies de pelágicos menores, se han realizado evaluaciones del rendimiento de la sardina Monterrey y del número de barcos recomendables (Nevárez-Martínez *et al.* 1997) bajo la influencia de fenómenos oceanográficos tales como El Niño y La Niña (Cisneros-Mata *et al.* 1998; Martínez-Zavala *et al.* 2000). De igual manera, la abundancia de las especies de sardina crinuda, japonesa y bocona se han evaluado utilizando métodos tradicionales (Cisneros-Mata *et al.* 1997a) como por ejemplo el análisis de cohortes de Jones (Martínez-Zavala *et al.* 2000) y los modelos de regresión basados en datos históricos de temporadas de pesca. Sin embargo, las evaluaciones tradicionales de stock asumen que las condiciones ambientales y ecológicas son constantes. Por otro lado, los trabajos existentes en esta región carecen de un enfoque multiespecífico, y no abordan el problema de los cambios en la disponibilidad de estos recursos, por lo cual no son suficientes para asegurar la sustentabilidad de la pesquería en la región.

Recientemente, la incorporación de nuevas tecnologías para la toma y análisis de información espacial, tales como las imágenes provenientes de sensores remotos montadas sobre satélites y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), permiten el planteamiento de nuevas hipótesis para el entendimiento de las relaciones entre los recursos pesqueros y el clima oceánico. Las primeras, nos proveen de información sobre el clima oceánico de

grandes extensiones a intervalos regulares y a un costo relativamente bajo. Los segundos, poseen la capacidad de integrar y analizar grandes volúmenes de información georeferenciada de diversa naturaleza y de estructura multidimensional (Amidei 1983). La integración de estas dos herramientas ha sido utilizada con éxito en el análisis de la disponibilidad de especies de pelágicos menores en latitudes medias y altas (Yang, *et al.* 1995; Castillo *et al.* 1996; Andrade y García 1999; Gordo *et al.* 2000; Fox *et al.* 2000; Hansen *et al.* 2001; Perrotta *et al.* 2001; Ku *et al.* 2003; Lanz *et al.* 2008). A pesar del hecho de que las aplicaciones en pesquerías gradualmente se expandieron hacia aguas oceánicas, cubriendo todos ellos para 1990s, el número de aplicaciones marinas aun es limitado cuando lo comparamos con el de aplicaciones terrestres (Nishida 2001).

Intentando entender mejor el papel que los factores ambientales juegan en la distribución espacial y temporal de estos recursos, en este trabajo se plantea la hipótesis de que esta variabilidad ambiental puede explicar las variaciones en la disponibilidad y abundancia de las principales especies de pelágicos menores en el Golfo de California. Para ello, el uso de información meteorológica proveniente de satélites e información de la pesquería es analizada en conjunto utilizando para ello herramientas de SIG.

1.1. Antecedentes.

1.1.1 La pesquería de pelágicos menores en el Golfo de California.

En México, las pesquerías de peces pelágicos menores (sardinas, anchovetas, macarela y afines) representan aproximadamente el 37% de las capturas totales, siendo esta pesquería la que mas participa en términos de peso desembarcado, el cual se encuentra en

el orden de los 1.3 a 1.5 millones de toneladas (Figura 2) (Anónimo, 2003). En el Golfo de California, la pesquería de pelágicos menores consta de seis especies entre las cuales, La sardina Monterrey (*Sardinops sagax caeruleus*), representa casi el 80% del volumen desembarcado (Santos-Molina *et al.* 1999).

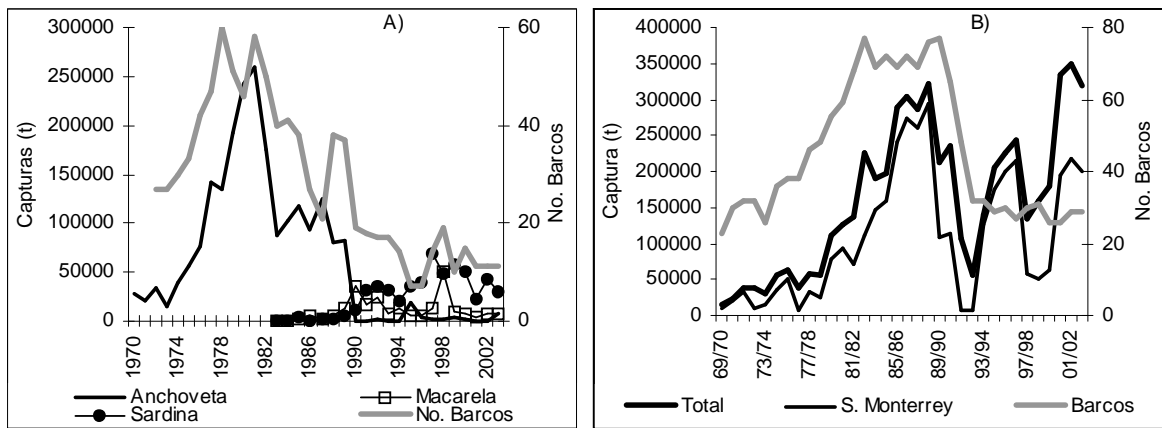


Figura 2. Descarga comercial de pelágicos menores y flota pesquera en Baja California Norte (A) y en Sonora (B) (Tomado de Nevárez-Martínez *et al.* 2004)

Estas especies se destinan principalmente a la elaboración de harina y aceite de pescado (85%) y enlatado y congelado (15%) (Anónimo 2003). La sardina Monterrey, la cual representa la especie más importante de esta pesquería, se destina para el consumo humano directo, aunque recientemente, la sardina crinada y la macarela, también han tenido el mismo destino (Cisneros-Mata *et al.* 1991; Nevárez-Martínez *et al.* 2004).

1.1.2 La composición por especie de la pesquería de pelágicos menores.

La pesquería de pelágicos menores en el golfo es multiespecífica, lo cual significa que se capturan varias especies con el mismo sistema de pesca, en ocasiones se capturan dos o tres especies en el mismo lance de pesca. La composición de las descargas en los principales puertos del Pacífico es la siguiente: En Ensenada B.C., la pesquería consta de cuatro especies: sardina Monterrey (*Sardinops sagax caeruleus*), macarela (*Scomber japonicus*), anchoveta norteña (*Engraulis mordax*) y charrito (*Trachurus symmetricus*). (García *et al.* 1995a, 1995b, 1995c; García y Sánchez 1996, 1997). La proporción actual en las capturas es 80% monterrey, macarela 11%, anchoveta norteña 8% y charrito 1%. En Bahía Magdalena, B.C.S., la composición específica de las descargas consta de: sardina monterrey, sardina crinuda, macarela, bocona (*Cetengraulis mysticetus*), sardina japonesa (*Etrumeus teres*) y piña (*Oligoplites spp.*). El promedio de la proporción de especies en la captura del año 2000 al 2003 fue de: sardina monterrey 88.4%, crinuda 5.2%, macarela 2%, bocona 3.6%, y sardina japonesa menos del 1% (Félix-Uraga *et al.* 2002, 2003; Gluyas *et al.* 2003). En Mazatlán, Sinaloa, la pesquería se basa en las tres especies de sardina crinuda (*O. libertate*, *O. bulleri* y *O. medirastre*) y en la bocona. En Sonora (Guaymas y Yavaros), se descargan las siguientes especies: sardina monterrey (55.9% del total en las temporadas 2000/01 a 2003/04), tres especies de sardina crinuda (17.4%), macarela (3.8%), anchoveta norteña (0.7%), bocona (20.7%), sardina japonesa (0.8%) y piña (0.7%) (Nevárez-Martínez *et al.* 2004).

La composición de las especies de pelágicos menores ha cambiado en las últimas décadas. A finales de los años setenta e inicio de los ochenta, la anchoveta constituía cerca del 50% de la producción total de pelágicos menores. Actualmente, en el 2004, esta especie representa alrededor del 3%, mientras que la sardina Monterrey aumentó su volumen a un 50% y la sardina Crinuda en un 25% (Nevárez-Martínez *et al.* 2004). Una especie que en los últimos cinco años aumentó considerablemente sus niveles de abundancia es la sardina bocona (una especie de anchoveta de afinidad tropical) pasando de casi un 0% hasta un 16% del total. Sin embargo, en algunas regiones particulares de Sonora y Sinaloa, este porcentaje ha sido cercano al 50%. Aunque las otras especies de pelágicos menores tienen una menor importancia económica comparada con la sardina Monterrey, sus descargas tienden a aumentar cuando escasea esta última. (Nevárez-Martínez *et al.* 2004).

Los fuertes cambios en la distribución y abundancia de las especies de pelágicos menores han marcado la pauta en el desarrollo de esta pesquería (Lluch-Belda *et al.* 1989, 1995; Nevárez-Martínez *et al.* 2002), cuya variabilidad se ha planteado desde diferentes enfoques: el ambiental en diferentes escalas de tiempo y espacio (Lluch-Belda *et al.* 1989, 1995; Lluch-Cota *et al.* 1999; Nevárez-Martínez *et al.* 2001) y el pesquero (Nevárez-Martínez *et al.* 2001; Lluch-Cota *et al.* 2001; Rodríguez-Sánchez *et al.* 2001), intentando entender mejor el papel que juega cada uno de estos factores y lograr una planificación adecuada de estos recursos.

1.1.3 Los cambios en la abundancia de las especies de pelágicos menores en el GC.

En Sonora, la captura total de pelágicos menores ha fluctuado de acuerdo con la abundancia de sardina Monterrey (Figura 3). En los años setenta y ochenta, las descargas de esta especie crecieron de 11,500 t hasta un récord de 294,000 t para la temporada 1988/89. Posteriormente este recurso sufrió una rápida declinación hasta casi 7,000 t en las temporadas 1991/92 y 1992/93 (Cisneros-Mata *et al.* 1995; Nevárez-Martínez *et al.* 1997, 2001). Estas capturas se incrementaron nuevamente en 1996/97 alcanzando las 215,000, las cuales, debido a los fenómenos El Niño y La Niña, disminuyeron de nuevo a niveles de 55,000 t entre 1997/98 - 1999/00 (Martínez-Zavala *et al.* 2000). Para las temporadas 2000/01 y 2002/03 las capturas se incrementaron de nuevo a niveles promedio de 203,000 t (Nevárez-Martínez *et al.* 2004). Las capturas de sardina crinuda también presentaron una tendencia a la alza, pero mostrando una gran variabilidad (entre 3,000 y 100,000 t), asociadas a eventos ambientales y al comportamiento de la pesquería de la sardina Monterrey. Se ha observado una estrecha relación inversa en las capturas de sardina crinuda y Monterrey, la cual se relaciona con eventos El Niño. En presencia de este fenómeno (1981-82, 1991/92, 1997/98), la captura de la sardina Monterrey disminuye y la de crinuda aumenta (Molina *et al.* 1984, 1987; Lluch-Belda *et al.* 1986) y viceversa.

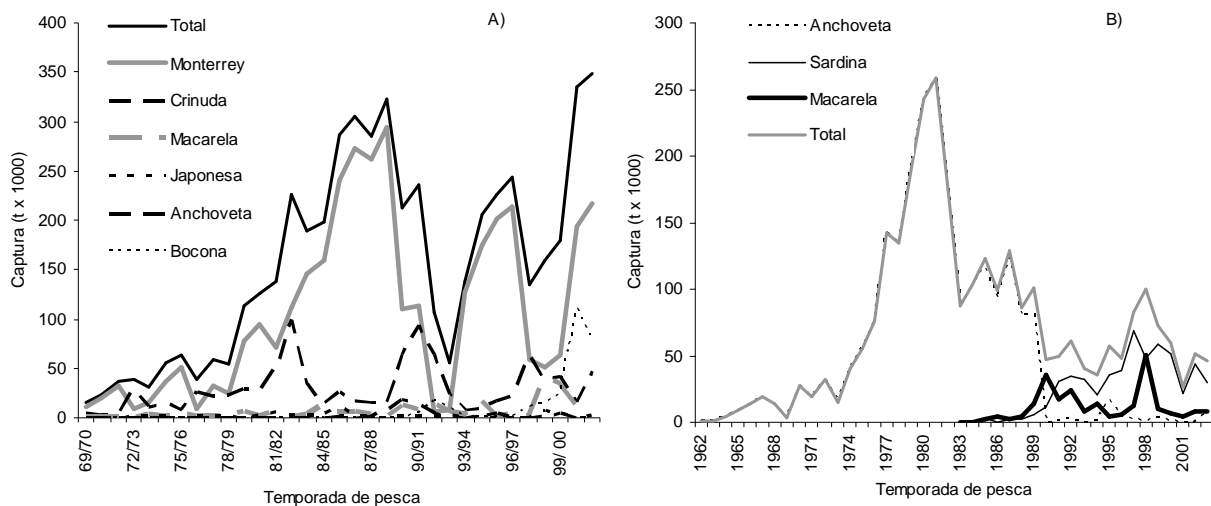


Figura 3. Comportamiento histórico de las capturas comerciales de pelágicos menores en Sonora (A) y en Ensenada (B). (Tomado de Nevárez-Martínez *et al.* 2004).

En los años ochenta, los niveles de captura de anchoveta y sardina bocona sufrieron un incremento significativo. En particular, la pesquería comercial de la anchoveta norteña en el Golfo de California tuvo su origen en 1985 (Hammann y Cisneros-Mata 1989; Cisneros-Mata *et al.* 1995), con un comportamiento altamente variable, presentando sus niveles más altos de captura en la temporada 1989/90. En el caso de la sardina bocona, los niveles de captura tomaron importancia a partir de 1989/90, presentando una gran variabilidad, repuntando estas capturas en 1991/92 y a partir de 1996/97 se observó un incremento extraordinario en sus niveles de captura (Figura 3) (Nevárez-Martínez *et al.* 2004). La sardina japonesa y macarela también aumentaron sus capturas, atribuidas principalmente a los cambios en el ambiente.

1.1.4 La importancia del ambiente en la distribución y abundancia de pelágicos menores.

Las variaciones en las condiciones oceánicas juegan un papel clave en las fluctuaciones naturales de las poblaciones de peces y en su disponibilidad a la pesca (Anónimo 1993; Lluch-Cota *et al.* 1999; Nevárez-Martínez *et al.* 2001; Lin *et al.* 1995). La evidencia a la fecha sugiere que ciertos factores ambientales, por ejemplo, la temperatura superficial del mar (TSM) tienen el mayor impacto en los estadios larvarios de los peces y en su distribución espacial (Cury y Roy, 1989; Lluch-Cota *et al.*, 1999, Luch-Cota *et al.*, 2001). Actualmente, la TSM es un indicador útil de las condiciones ecológicas de un lugar y ha sido utilizado por décadas por pescadores e investigadores para determinar áreas potenciales de pesca (Barbieri *et al.* 1990; Faji *et al.* 1990; González 1993; Yáñez *et al.* 1996, 1997). Adicionalmente, los gradientes térmicos (GRT) han sido abordados en algunos estudios como un indicador de frentes y zonas de surgencias, las cuales son áreas altamente productivas que sostienen a las poblaciones de peces (Podesta *et al.* 1993; Olson *et al.* 1994; Fernández y Pingree 1996; Yáñez *et al.* 1996; Polovina 1997; Nieto 1999). Por ejemplo, algunos estudios sobre el atún, y otros peces escómbridos relacionados, indican la existencia de fronteras físicas y biológicas muy marcadas, las cuales promueven o inhiben la abundancia o congregaciones de cardúmenes de peces, organismos individuales o algún grupo de tamaño específico, los cuales dependen de ciertos procesos oceánicos tales como frentes, termoclinas y surgencias (Glantz y Geingold 1990; Kanthi 2000). Generalmente, los pescadores y las aves marinas han aprendido a operar en la vecindad de esos frentes, a partir del hecho de que estos indican la abundancia de peces.

1.1.5 La variabilidad ambiental y su relación con la distribución y abundancia de pelágicos en el Golfo de California.

A nivel nacional, mucho material ha sido publicado en relación con las pesquerías de pelágicos menores, con especial énfasis en la sardina del Pacífico (*Sardinops sagax caeruleus*) (Cisneros-Mata 1987; Cisneros-Mata *et al.* 1996a, 1996b; Sharp 2000; Nevárez-Martínez *et al.* 1997, 1999, 2004). Las evaluaciones tradicionales de stock asumen que las condiciones ambientales y ecológicas son constantes, por lo cual no son suficientes para asegurar la sustentabilidad de la pesquería. Las investigaciones en los años recientes han encontrado que el reclutamiento de esta especie está posiblemente relacionada con la variabilidad ambiental (Lluch-Belda *et al.* 1989, 1995; Shannon *et al.* 1988), y al reclutamiento denso-dependiente de la especie (Cisneros-Mata *et al.* 1996a).

Basándose en esta variabilidad ambiental y su repercusión en la abundancia en las especies de pelágicos menores, se han realizado evaluaciones del rendimiento de la sardina Monterrey y del número de barcos recomendables (Nevárez-Martínez *et al.* 1997) bajo la influencia de fenómenos oceanográficos tales como El Niño y La Niña (Cisneros-Mata *et al.* 1998; Martínez-Zavala *et al.* 2000). De igual manera, la abundancia de las especies de sardina crinuda, japonesa y bocona se han evaluado utilizando métodos tradicionales (Cisneros-Mata *et al.* 1997a) como por ejemplo el análisis de cohortes de Jones (Martínez-Zavala *et al.*, 2000) y los modelos de regresión basados en datos históricos de temporadas de pesca.

1.1.6 La variabilidad espacial de la disponibilidad de los recursos pesqueros y su importancia en las pesquerías.

Desde el punto de vista del presente estudio, es necesario identificar los límites y diferenciar los diferentes elementos sobre los cuales las evaluaciones de los recursos pesqueros son hechas:

- (a) La disponibilidad del total de biomasa y lo que determina en términos de mortalidad, crecimiento y disponibilidad de alimento, reproducción y reclutamiento.
- (b) La accesibilidad a esos stocks, lo cual es función de las características de la flota y de la distribución del stock; en términos aritméticos, accesibilidad significa la proporción del stock pescable que se encuentra al alcance de la flota que lo explota.
- (c) La vulnerabilidad del stock, es decir, la propensión de un pez individual a ser capturado, esto es función de las características del arte pesquero y de las características del comportamiento del stock individual; matemáticamente, la vulnerabilidad esta representada por la probabilidad que existe, durante una operación de la unidad de arte, de que un pez individual dentro del área o del volumen de alcance de esa unidad de aparejo sea capturado.

La investigación de estas tres características, disponibilidad, accesibilidad y vulnerabilidad, nos implica en estudios biológicos del recurso y en estudios tecnológicos de la unidad de pesca y sus artes pesqueros, los elementos clave en la distribución espacial y temporal de las especies de pelágicos menores, así como los estudios de relación con el clima oceánico.

1.1.7 El uso de SIG y sensores remotos para la evaluación y manejo de pesquerías.

Se sabe que el papel del ambiente en el golfo es altamente determinante en la distribución, abundancia y disponibilidad de las especies de pelágicos menores en el golfo. Sin embargo, no existen trabajos exitosos que integren este conocimiento en modelos espacialmente explícitos que permitan un mejor entendimiento de estas relaciones y sirvan de base para orientar y planear las actividades pesqueras. Una de estas metodologías que han sido utilizadas exitosamente en la evaluación de recursos naturales son los Sistemas de Información Geográfica y las imágenes provenientes de sensores remotos montados sobre satélites. Los primeros, poseen la capacidad de integrar y analizar grandes volúmenes de información georeferenciada de diversa naturaleza y de estructura multidimensional. Las segundas, nos proveen de información sobre el clima oceánico de grandes extensiones a intervalos regulares y a un costo relativamente bajo. La integración de estas dos herramientas han sido utilizadas con éxito en el análisis de la disponibilidad de especies de pelágicos menores en latitudes medias y altas con fines predictivos (Yang, *et al.* 1995; Castillo *et al.* 1996; Andrade y García 1999; Gordoia *et al.* 2000; Fox *et al.* 2000; Hansen *et al.* 2001; Perrotta *et al.* 2001; Ku *et al.*, 2003; Lanz, *et al.* 2004, 2008).

La observación del clima oceánico basada en sensores remotos constituye una herramienta para coleccionar información global a intervalos regulares, y ofrece la posibilidad de monitorear la superficie o capas sub-superficiales del océano en su dinámica y variabilidad climática de grandes áreas y a un costo relativamente bajo (Amidei 1983).

Varios sensores se encuentran en la actualidad disponibles para el monitoreo del ambiente y recursos marinos (Tabla I).

Tabla I. Principales sensores en operación para aplicaciones oceánicas.

Satélite	Sensor	Espectro (nm)	Resolución espacial (m)	Resol. Temp. (días)	Usos	Modelación
SeaStar	SeaWIFS	0.40-0.88	1300	1	Clorofila- <i>a</i> , Turbidez	Producción primaria
NOAA	AVHRR	3.5-12.55	1100	0.5	Temperatura, Brillo	TSM
Terra	MODIS	0.4-0.87	1000	1-2	Clorofila- <i>a</i> , Turbidez	Producción primaria
Terra	MODIS	3.66-12.27	1000	1-2	Temperatura, Brillo	TSM
Terra	ASTER	0.52-0.86	15	16	Arrecifes coral, Turbidez	
Landsat	TM-5, 7	0.45-1.75	30	16	Arrecifes coral, Turbidez	
IRS-P4	OCM	0.40-0.88	360 × 236	2	Clorofila- <i>a</i> , Turbidez	Producción primaria
Radarsat	Radarsat	5.6 cm	12.5-100	24	Hielo, derrame petróleo	
ERS	AMI	5.6 cm	12.5, 30	3	Hielo, derrame petróleo	
ERS	RA			3	Rugosidad, oleaje	Vel. y dir. del viento
QuickScan	SeaWind		25000	2	Rugosidad, oleaje.	Vel. y dir. del viento

Las aplicaciones en pesquerías de los sensores remotos montadas en satélites, están basadas principalmente en la medición de las características de los ambientes físico y biológico de la superficie del océano (Amidei 1983). La primera aplicación de sensores remotos obtenidos por satélite en las pesquerías en los Estados Unidos datan de 1971 (Laurs 1993). Esta operación produjo un tremendo impacto en la eficiencia de la flota atunera americana, reduciendo a menudo los tiempos de búsqueda en un 25% al 40% (Simpson 1992). Esas tecnologías aplicadas a las pesquerías aun continúan en expansión con la puesta en operación de los satélites Coastal Zone Color Scanner (CZCS), y de los

modernos SeaWIFS (Sea-viewing Wide Field of View Sensor) y MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) (Simpson 1994), los cuales ofrecen una visión sinóptica de la distribución de la clorofila-a en los océanos, y también con los satélites de la serie NOAA-AVHRR, utilizados para generar mapas de distribución de la temperatura superficial del mar en un tiempo relativamente corto (Amidei 1983). Estos mapas pueden ser producidos exitosamente en tiempo cuasi-real utilizando, por ejemplo, herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

En la actualidad, hay un creciente interés de investigadores en ciencias pesqueras y personas relacionadas con dicha actividad, sobre la importancia de la componente espacial con información de sus atributos, lo cual da una estructura multidimensional (>3D, dificultando en gran medida la visualización, comparación y análisis de la información. Lo anterior ha sido de cierta manera resuelta por el surgimiento de las computadoras y el incremento en las capacidades de cómputo, almacenamiento y de los sistemas de manejo de bases de datos, así como de la incorporación de nuevas herramientas geo-estadísticas a las capacidades de análisis espacial. Como consecuencia, los SIG son ahora reconocidos como una herramienta alternativa para el análisis de información espacial. No es sorprendente que debido a su aplicación en otras disciplinas, ahora se este incorporando a las ciencias pesqueras (Giles y Nielsen 1992; Simpson 1992; Li y Saxena 1993; Meaden 1996; Nishida 2001; Lanz *et al.* 2004, 2008). A pesar del hecho de que las aplicaciones en pesquerías gradualmente se expandieron hacia aguas oceánicas, cubriendo todos ellos para 1990s, el número de aplicaciones marinas aun es limitado cuando lo comparamos con el de aplicaciones terrestres (Nishida 2001).

Existen varios ejemplos relacionados con el uso de las herramientas de SIG y sensores remotos para correlacionar las condiciones del océano y la distribución del stock de peces pelágicos tales como albacora, atún y pez vela (Amidei 1983; Yáñez *et al.* 1996; Silva *et al.* 2000; Mansor 2001), entre los cuales destacan los trabajos de Silva *et al.* (2000), quienes utilizaron información de TSM combinada con Clorofila-*a* provenientes de sensores remotos para explorar las relaciones de las capturas de la macarela (*Trachurus murphyi*), anchoveta (*Engraulis ringens*) y sardina (*Sardinops sagax*) en el norte de Chile. Este estudio mostró que la anchoveta se localiza en la zona frontal de las regiones de surgencias y esta asociada con los valores más altos de clorofila que otras especies de pelágicos menores. Un estudio similar fue llevado a cabo por Barbieri, *et al.* (1990), en la evaluación de zonas potenciales de captura del pez vela (*Xiphias gladius*) en las costas Centrales de Chile, utilizando datos de satélite de temperatura superficial del mar y Sistemas de Información Geográfica. Basados en las tecnología de satélite, Triñanes *et al.* (2002), utilizaron las técnicas básicas de procesamiento de imágenes digitales provenientes de los satélites NOAA-AVHRR y SeaWIFS en la pesquería de pelágicos en el Golfo de Vizcaya en la zona occidental del Atlántico Norte, en donde fue posible detectar áreas potenciales de pesca asociadas con zonas frontales las cuales tienen un gran interés para los pescadores de especies de pelágicos. Desde una perspectiva operacional, Pérez-Marrero (1995), estudió las condiciones térmicas de la superficie del mar en el Atlántico Norte (Noroeste de la Costa Africana) en relación con las actividades de pesca utilizando la temperatura superficial del mar (TSM) proveniente del sensor AVHRR del satélite NOAA, encontrando una correlación positiva entre el campo de TSM y las actividades de pesca del

atún en esa área. La misma estrategia fue implementada por Caddy y Carocci (1999), quienes desarrollaron una técnica basada en SIG para monitorear las actividades de las embarcaciones en diferentes puertos, y sus impactos sobre los recursos locales. Los sensores ópticos no son solamente los únicos utilizados para estudiar las actividades pesqueras. Los sensores de microondas tales como el radar de Apertura Sintética (SAR), tiene capacidad para obtener datos a través de regiones nubladas, especialmente en áreas de altas latitudes, y a través de las copas de los árboles. El estudio de Clemente *et al.* (2002), describe el uso del SAR en el manejo y monitoreo de la pesquería del arenque en la región de la Bahía de Togjak, Alaska, utilizando imágenes de los satélites RADARSAT-1, SAR y ERS-1 y ERS-2. Mediante el uso de esas imágenes, fue posible detectar áreas de alta productividad biológica, las cuales están asociadas con el florecimiento del fitoplancton, como un indicador de las mejores condiciones de pesca.

Considerando que el SIG esta rápidamente emergiendo como una herramienta analítica opcional para investigar espacialmente la dinámica de las poblaciones de peces y asistir en su manejo, en este trabajo se plantea el uso de esta herramienta para sintetizar y analizar la información ambiental y de la pesquería existente sobre en el Golfo de California, permitiendo una mejor comprensión de estas relaciones, que sirvan de base para la predicción a corto y mediano plazo de zonas potenciales de captura de estos recursos, que son el interés central de los industriales de la región.

1.1.8. La regionalización de la actividad pesquera.

La distribución espacial de las especies de pelágicos menores dentro y entre las regiones del mundo ha sido de interés para los científicos de la pesca y los empresarios pesqueros. Estas especies son el blanco de las regiones pesqueras más productivas en el mundo (Lluch-Belda *et al.* 1992, Bertrand *et al.* 2004). Las especies de pelágicos menores han sufrido variaciones considerables tanto en su distribución como en su abundancia en el tiempo (Kawasaki 1984, Lluch-Belda *et al.* 1989, Nevárez-Martínez *et al.* 2001), influenciadas por la variabilidad climática estacional, interanual y el decadal (Lluch-Belda *et al.* 1989, Bakun y Broad 2003, deYoung *et al.* 2004). Históricamente, estas variaciones se han analizado sobre la base del análisis de series de tiempo (Watson y Pauly 2001, Jennings y Blanchard 2004). Sin embargo, la pesquería de pelágicos menores depende también de las características espaciales (Watson y Pauly 2001), cuya información es escasa en los trabajos existentes o no se incluye en los análisis tradicionales. Samb y Pauly (2000) sostienen que hay un antagonismo entre el análisis temporal y el espacial; ya que históricamente se tiende a dar énfasis a alguno de estas dos aproximaciones al analizar la información pesquera. Es por ello que el manejo de esta pesquería exige nuevos enfoques que permitan mejorar la comprensión del mecanismo de estas variaciones, adicionales a los análisis de series de tiempo.

Los estudios recientes sobre la distribución y abundancia de peces pelágicos incluyen el uso de información espacial (Nevárez-Martínez *et al.* 2001, Páramo y Roa 2003, Lanz *et al.* 2004, 2008) y la herramientas cartográficas tales como los Sistemas de

Información Geográfica (SIG) (Watson y Pauly 2001, Pauly y Zeller 2003, Watson *et al.* 2004). En particular, Watson y Pauly (2001) sugieren el uso de información espacial en forma de mapas como una parte importante para la gestión de las pesquerías con bases ecosistémicas. En consecuencia, lo anterior implica la existencia de áreas estandarizadas delimitadas por fronteras o regiones, las cuales definen un sistema, las divergiendo en particular, de otras áreas en la composición de especies y en sus características físicas y biológicas. Según Pauly y Zeller (2003), la regionalización servirá como base fundamental para estudiar el estado de salud de los ecosistemas, y para evaluar los efectos de la pesca y el manejo de escenarios.

La definición de las principales regiones pesqueras del mundo se basa principalmente en su estructura física (tipo de plataforma continental, corrientes a lo largo de la costa, frentes, etc.) y características biológicas. El primer tipo está bien representado por la amplia clasificación en la que se basan los Grandes Ecosistemas Marinos (LME), definido por Sherman (1993), los cuales son capaces de identificar las entidades con límites internos y homogéneos (Pauly 1998). Un enfoque similar fue realizado por Longhurst (1995), quien proporcionó un marco para la realización de estudios comparativos de los procesos oceánicos en la forma de 57 Provincias biogeoquímicas (BGCP), las cuales poseen límites definidos por estructuras oceanográficas. La segunda clasificación esta basada en la composición y la variabilidad de especies obtenidos a partir de estadísticas de desembarques. Un ejemplo de ello, son las estadísticas pesqueras mundiales recopilados y mantenidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), las cuales constan de 18 grandes y arbitrarias zonas de pesca para

finés estadísticos, y cuya información no es verificada contra las variaciones espaciales locales que ocurren en cada una de sus áreas (Zeller y Pauly 2003). Estas observaciones condujeron a Pauly *et al.* (1998) y Watson *et al.* (2004), a replantear el análisis estadístico de los datos basándose en una malla regular con celdas de medio grado de latitud y longitud para estudiar las tendencias de las pesquerías y los colapsos en algunas especies marinas en una escala global, para todos los taxones y los países para el periodo comprendido de 1950 a 2001. Un nuevo enfoque fue llevado a cabo por Watson y Pauly (2001), quienes utilizaron herramientas SIG para volver a reasignar esta información estadística, considerando una franja a lo largo de la línea de costa, la cual representa a la Zona Económica Exclusiva (ZEE), considerando para ello que la mayoría de las capturas (alrededor del 75% de los desembarques totales), a escala mundial, se encuentran localizados en dicha franja (Anónimo 2002), manteniendo la misma resolución espacial.

Como consecuencia de la amplia extensión de las clasificaciones predefinidas a escala global, tales como los LME, las BGCP, y las áreas estadísticas de pesca de la FAO, estas abarcan ecosistemas y faunas muy diferentes (Watson y Pauly 2001). En particular, la regionalización de la FAO pone a la información pesquera sobre la base de la globalización, existiendo con ello mucho criticismo en torno a la naturaleza y la confiabilidad de esta información (Chua 1986, Mariott 1984, Watson y Pauly 2001). Si bien, las propuestas para mejorar esta base de datos han sido mencionadas por Pauly y Zeller (2003), con el fin de representar a las estadísticas de captura de la FAO en un contexto ecológico y mencionando la necesidad de analizar dicha información pesquera a escala local, la clasificación de los datos de pesquerías tiene todavía problemas relevantes y

no ha sido suficiente para comprender la variabilidad en los datos de las capturas debido a:

A) El patrón de distribución espacial de los datos de capturas no ha sido tomado en cuenta. La malla regular y la incorporación de la franja representando la ZEE para analizar la variabilidad espacial y temporal de la información de las capturas a nivel mundial (Pauly *et al.* 1998, Watson y Pauly 2001, Pauly y Zeller 2003, Watson *et al.* 2004) es todavía grande, lo cual representa solo una primera aproximación al problema de la regionalización de la información pesquera en un contexto local; B) debido a la naturaleza global de la información de captura, las especies de pelágicos menores constituyen solamente una pequeña parte de la larga lista de géneros en la base de datos pesquera, y requiere ser actualizada para incorporar información adicional tales como las características de la flota y la distribución espacial y la abundancia de las especies reportadas, entre otros, y C) Las grandes regiones de la FAO ofrecen una tarea difícil para relacionar la abundancia de las capturas con los factores ambientales de pequeña escala de variabilidad, tales como la temperatura superficial del mar y la productividad primaria.

Debido a la naturaleza espacio-temporal de la información de lances de la pesquería, el uso de herramientas de análisis espacial, tales como los SIG, constituyen un factor esencial en la tarea de la regionalización. Los Sistemas de información geográfica combinados con otras herramientas analíticas como las técnicas de conglomerados y filtrado en el dominio espacial, pueden realizar esta tarea de manera más eficiente. Esto ha sido demostrado en otras disciplinas en donde se abordan problemas relacionados con el ámbito espacial (Curtis, 1999). Muchas aplicaciones en el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica tales como los filtros espaciales, han sido utilizadas para

relacionar las pesquerías con las características del medio ambiente oceánico (por ejemplo, para detectar los frentes como indicador indirecto de zonas potenciales de pesca, destacando los trabajos de Simpson (1994), Fernández y Pingree (1996) y Polovina (1997), entre otros. Un filtro espacial constituye un método de fácil implementación para la identificación de patrones en datos puntuales, a varias escalas geográficas en un ambiente de SIG, o para remover puntos aislados, a manera de “ruido” (ITC 1997).

Muchos estudios sobre la abundancia, composición de tallas y variabilidad temporal de las especies de pelágicos menores se han llevado a cabo en el GC, centrados principalmente en la sardina Monterrey (Lluch-Belda *et al.* 1986, Hammann *et al.* 1988, Cisneros-Mata *et al.* 1996, Lluch -Cota *et al.* 1999, Nevárez-Martínez *et al.* 2001). La mayoría de ellos se han enfocado al problema de la distribución espacial y los cambios en la abundancia de las larvas de peces y huevos (Cisneros-Mata *et al.* 1996, Lluch-Cota *et al.* 2001). La distribución espacial de las capturas para diferentes especies está bien documentada en el anuario estadístico de pesca, emitidos por el organismo de supervisión gubernamental encargado (Instituto Nacional de Pesca-INAPESCA). Esto incluye además la información de estadísticas de desembarque y la composición de las especies en los principales puertos en el Golfo (Cisneros-Mata *et al.* 1995, Nevárez-Martínez *et al.* 2001).

Los principales puertos de desembarque en el Golfo son Guaymas y Yavaros. La composición de las especies varía en cada puerto: Guaymas y Yavaros: sardina Monterrey (*Sardinops sagax caeruleus*), anchoveta norteña (*Engraulis mordax*), sardina crinuda (*Opisthonema libertate*), macarela (*Scomber japonicus*), sardina bocona (*Cetengraulis*

mysticetus) sardina japonesa (*Etremeus teres*) y la sardina Piña (*Oligoplites spp.*) (Cisneros-Mata *et al.* 1995, Nevárez-Martínez *et al.* 2001).

Los primeros intentos regionalización de las actividades de pesca en México comenzaron en el GC, con la incorporación de zonas estadísticas de pesca para los estudios en pelágicos menores tanto dependientes de la pesquería (flota comercial) como la independiente de la pesquería (estudios de prospección pesquera) (Nevárez-Martínez *et al.* 2001). Esta clasificación arbitraria y predefinida se basa en "regiones conocidas" en la cual opera la flota comercial, y es utilizada en la actualidad para la información de desembarque y estudios conducidos por el INAPESCA. La pesquería comercial de pelágicos menores en el golfo es una actividad bien dirigida (por ejemplo, hay determinadas zonas en las cuales opera la flota comercial), sin embargo, durante el viaje a los caladeros tradicionales, algunos lances pueden realizarse con propósitos de prospección.

Un creciente cuerpo de evidencia sugiere que los factores ambientales desempeñan un papel dominante en la estacionalidad y la sucesión de estas especies. En particular, se ha observado que en la presencia de "El Niño" Oscilación Decadal del Pacífico (ENSO), las capturas de la sardina crinuda y la sardina Monterrey varían inversamente en el Golfo de California (Lluch-Belda *et al.* 1986). A pesar de que la sardina Monterrey y otras especies de pelágicos menores en el Golfo de California han sido bien documentados, sin embargo, ninguno de los estudios previos han abordado específicamente el problema de la distribución espacial de los datos de capturas con propósitos de regionalización y manejo basado en los patrones espaciales de los lances. El presente documento plantea y desarrolla un método para la regionalización de la actividad de la pesca comercial en el GC,

utilizando la información de lances de la flota comercial, utilizando herramientas de análisis espacial, con el propósito de obtener una visión integrada sobre la localización de las zonas de pesca de estos recursos, especialmente a pequeña escala, y analizar la variabilidad en la composición de especies de las regiones resultantes, con miras a su sustentabilidad.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general.

Evaluar la variabilidad espacial en la disponibilidad de las especies de pelágicos menores de importancia económica en el Golfo de California y su relación con el ambiente.

1.2.2. Objetivos particulares.

- Caracterizar espacial y temporalmente el Golfo de California en función de las variables de Temperatura Superficial del Mar (TSM) y concentración de pigmentos fotosintéticos a manera de clorofila $-a$ (Chl- a), utilizando información proveniente de sensores remotos.
- Determinar la composición y distribución espacial de las principales especies de pelágicos menores en el Golfo de California utilizando información dependiente de la pesquería.
- Determinar las relaciones entre las principales especies de pelágicos menores del Golfo de California y el medio ambiente (TSM y Chl- a).

II. MATERIALES Y METODOS

De acuerdo a los objetivos específicos propuestos, esta investigación contempla tres fases fundamentales a saber: 1) Recopilación de información del clima oceánico, 2) Información Pesquera y 3) la relación ambiente-recurso.

2.1. El área de estudio.

El área de estudio incluye la totalidad del Golfo de California (Figura. 4). El GC, es considerado como un mar subtropical semi-cerrado con una comunicación ininterrumpida con el océano Pacífico y la única cuenca evaporativa a lo largo de la costa este del océano Pacífico. Localizado entre la costa nor-occidental de México y la Península de Baja California (32° a 22° N y 105° a 107° W) , su línea de costa tiene dimensiones aproximadas de 3200 km y la abertura de su boca oscila entre los 150 km, presentando una compleja batimetría en la región de las grandes islas conformada por un archipiélago conteniendo umbrales, canales, cuencas y las dos islas mas grandes del país; Ángel de la Guarda y Tiburón (Figura 4), la cual divide al golfo en dos; la zona sur, la cual es la más extensa con profundidades que se incrementan hacia la boca, alcanzando en algunos lugares los 3000 m y donde se lleva a cabo el intercambio de propiedades entre el golfo y el océano Pacífico. Otra característica batimétrica con consecuencias dinámicas es que la plataforma continental en la margen continental del golfo es del orden de 30 km, mientras que en la margen peninsular la

plataforma es casi inexistente (Lavín y Badan. 1997). La parte norte se considera como la región somera con profundidades no mayores de 600 m y una profundidad media de ~200 m, con características oceanográficas diferentes al resto del golfo y donde grandes cantidades de sedimentos son mantenidos como material suspendido por fuertes corrientes de marea y considerables variaciones en el nivel del mar (arriba de 6.95 m en San Felipe, BC., Gutiérrez y González 1999). La evaporación, los flujos de calor a través de la superficie, así como la mezcla vertical son también factores importantes en la dinámica oceanográfica de la parte norte del golfo.

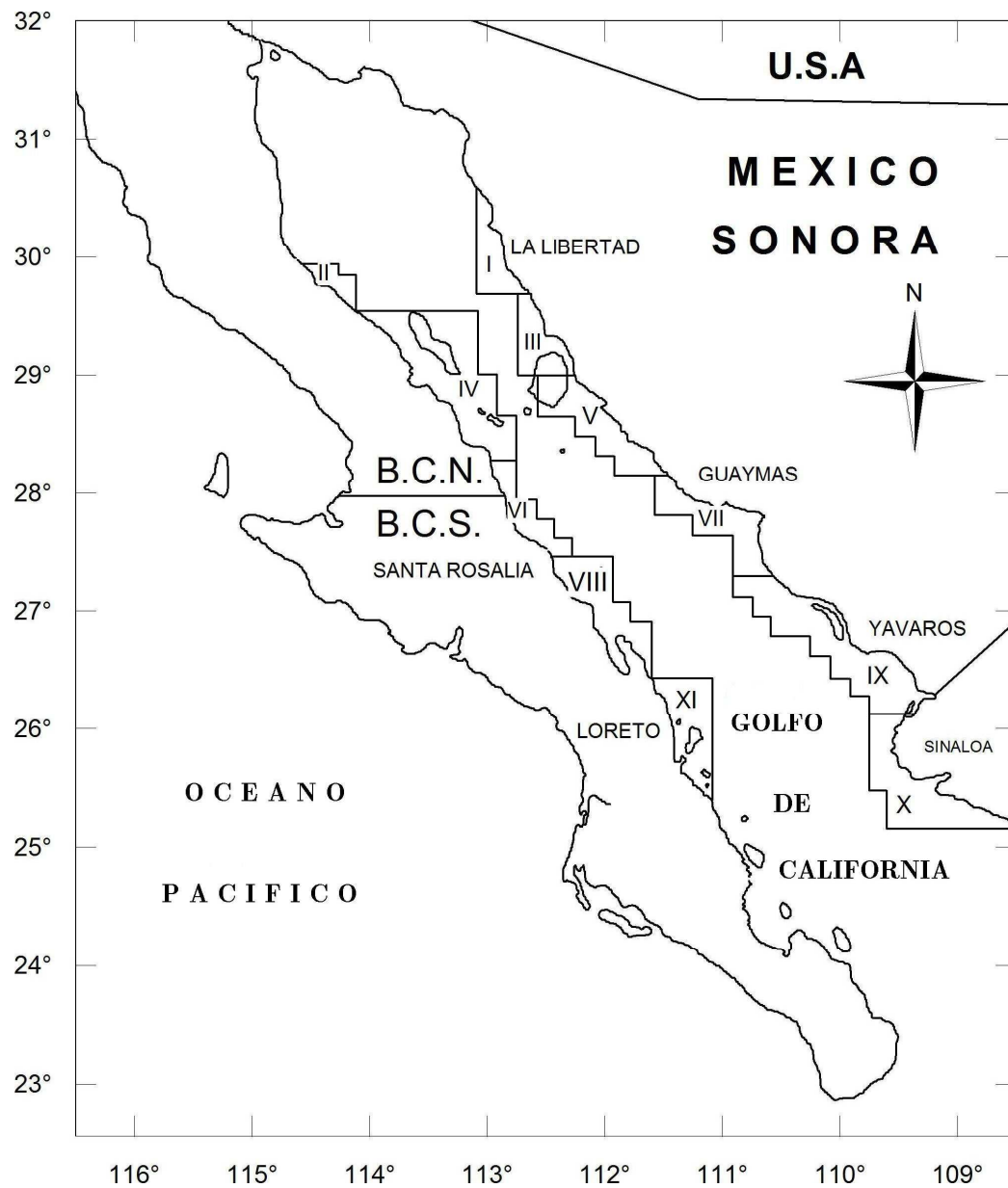


Figura 4. Mapa del GC mostrando las áreas estadísticas de pesca para la pesquería de pelágicos menores (Modificado de Nevárez-Martínez *et al.* 2001).

El viento en el golfo presenta un patrón tipo-monzón con un marcado ciclo estacional (Merrefield y Wainant 1989; Marinone *et al.* 2004); vientos débiles del sureste soplando durante el verano ($\sim 5 \text{ m s}^{-1}$) y fuertes del noroeste soplando durante el resto del año ($8 \text{ a } 12 \text{ m s}^{-1}$), ambos patrones orientados a lo largo del eje longitudinal

del golfo. Durante el invierno la circulación superficial induce un patrón anticiclónico y un transporte superficial neto en la dirección del viento (Badan-Dangon *et al.* 1985; Lluch-Cota 2000). Durante el verano, el viento invierte su dirección e induce una circulación ciclónica, orientando los filamentos y meandros de agua relativamente fría generados en la región de las grandes islas hacia las costas de la península (Lluch-Cota 2000). La Figura 5 muestra el modelo de circulación en el GC propuesto por Lluch-Cota (2000).

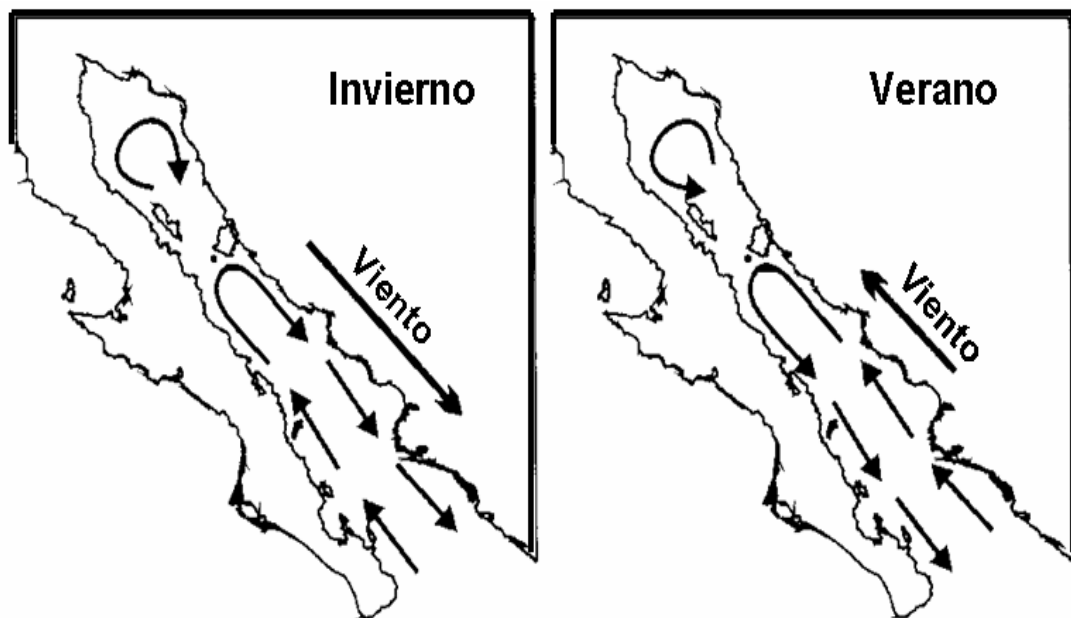


Figura 5. Modelo de circulación superficial del mar en el Golfo de California durante invierno y verano (tomado de Lluch-Cota 2000).

Imágenes infrarrojas de satélite de primavera y verano detectan temperaturas

superficiales relativamente frías a lo largo de las costas de la península, sin que estas últimas necesariamente correspondan a vientos favorables de surgencias (Paden *et al.* 1991). Utilizando imágenes de satélite junto con trayectorias de boyas de deriva y cálculos de circulación geostrófica se ha podido documentar el cambio en la dirección de la circulación superficial a lo largo de un ciclo anual tanto para la zona profunda como para la zona somera (Lavín *et al.* 1997; Figueroa *et al.* 2002 y Martínez y Allen 2004). El mecanismo propuesto por Ripa (1997) como el forzamiento asociado al océano Pacífico (onda costera tipo Kelvin de período anual), llevando agua de la región tropical al interior del golfo, también explica la circulación estacional y el balance de temperatura, y salinidad durante el verano (Palacios-Hernández *et al.* 2002).

El GC es una región bien documentada de alta productividad biológica (Álvarez-Borrego 1983; Santamaría-del-Ángel *et al.* 1994), debido principalmente por una combinación de la topografía del fondo y el alto grado de mezcla producida por el forzamiento del viento causantes de eventos de surgencias de fuertes y predominantes vientos del noroeste, particularmente en la región de las grandes islas (Álvarez-Borrego 1983; Pegau *et al.* 2002), lo cual causa que esta región sea considerada como una importante zona de desove para la sardina Monterrey y la anchoveta (Lluch-Belda *et al.* 1999; Cisneros-Mata *et al.* 1996).

Recientemente, mediciones de la temperatura superficial del mar y del color del océano provenientes de imágenes de satélite, han sido utilizadas para estudiar la circulación en el Golfo de California (Badan-Dangon *et al.* 1985; Paden *et al.* 1991; Lavín *et al.* 1997), intentando obtener un mayor entendimiento de la compleja productividad biológica en el

golfo (Gaxiola-Castro *et al.* 1999). De igual forma, los últimos trabajos en el golfo revelan la existencia de ciertas áreas en donde la actividad biológica es particularmente alta, las cuales han sido utilizadas para regionalizar al golfo basado en varios niveles de productividad primaria (Santamaría-del-Ángel *et al.* 1994; Lluch-Cota y Arias-Aréchiga 2000), conocidas como “Centros de Actividad Biológica” o BAC’s, los cuales parecen estar espacialmente fijos, cerca de las salientes costeras, y tienden a tener poca variación estacional en sus niveles de productividad. Esas áreas son preferidas por las especies de pelágicos menores y están relacionadas con las zonas de pesca comercial mas productivas (Lluch-Cota y Arias-Aréchiga 2000; Lluch-Belda *et al.* 2003). Patrones similares de productividad en el GC han sido observados por Pegau *et al.* (2002), basado en imágenes de TSM y Chl-*a* inferidas mediante salientes, en las cuales fue posible detectar una serie de giros dispuestos en pares, los cuales presentan un sentido de rotación alternante, sugiriendo además que estos grandes giros se encuentran topográficamente atrapados en el golfo. Debido a esta alta productividad anteriormente descrita y a su localización geográfica, el GC soporta una importante pesquería comercial, principalmente de especies de pelágicos menores, los cuales son explotados por flota comercial especializada con redes de cerco, con capacidades de bodega que van desde las 125 a las 180 toneladas. En el presente estudio se utilizó la información de captura de la flota comercial de Guaymas.

2.2. Información del clima oceánico.

2.2.1 Imágenes de satélite.

Imágenes de composiciones semanales de clorofila *a* y temperatura superficial del mar, provenientes del sensor MODIS-Aqua (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) en formato HDF-EOS (Hierarchical Data Format) fueron obtenidos en línea (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/level3.pl>) en formato de cobertura Global (GAC) nivel L-3 (el cual contiene información en bytes-formato valor, posición geográfica en proyección cilíndrica equidistante, también conocida como proyección Platte Carre, y mascarar-valor o filtros para remover la información no útil), a una resolución de 4 km, para el periodo de Julio de 2002 (inicio de los datos disponibles) a Junio del 2007. Las imágenes de TSM corresponden a tomas nocturnas a 11µm.

2.2.2 Procesamiento de la información proveniente de satélites.

Las composiciones semanales provenientes de satélite fueron recortadas a la zona de estudio, las cuales representan una matriz de 228 líneas y 240 columnas. La información de campos de temperatura y clorofila fue extraída aplicando ecuaciones de escala lineal (ecuación 1) y logarítmica (ecuación 2) (NASA 2002), respectivamente de la forma:

$$SST_value = (Slope * l3m_data) + Intercept \quad (1)$$

$$Chl_value = Base^{((Slope * l3m_data) + Intercept)} \quad (2)$$

En donde:

SST_value y *Chl_value* representan los valores de TSM (°C) y clorofila-*a* (mg/m³) provenientes del satélite, respectivamente; *Slope* representa la pendiente y depende del

parámetro a obtener. En el caso de TSM, el valor es 0.00071785, y para la obtención de Chl-*a*, el valor es igual a 5.81378×10^{-5} . El parámetro *l3m_data* es el valor crudo de la imagen en bytes, y el valor de *Intercept* es igual a -2.0 en ambas ecuaciones.

Máscaras para remover información no deseable fuera del área de estudio fueron utilizadas para toda la serie de tiempo. Imágenes de promedios, desviación estándar y anomalías fueron obtenidas relacionando cada píxel correspondiente en la posición *i,j* a lo largo de toda la serie de tiempo de acuerdo con el modelo raster.

2.3. Análisis de la información pesquera.

2.3.1 Recopilación de datos de la pesquería.

Información de lances de pesca conteniendo fecha, posición, captura y especie fue adquirida de la compañía pesquera PROPEGUAY en Guaymas, Sonora y transformada a una base de datos espacial para ser analizada por un Sistema de Información Geográfica (SIG). El periodo a analizar fue de Octubre de 2002 a Junio del 2007.

Para poder comparar espacialmente los datos de la pesquería y la información proveniente de sensores remotos, fue necesario crear una georeferencia con un sistema de coordenadas terrestres (latitud y longitud basado en el elipsoide WGS84 y Datum del mismo nombre), para ser aplicados a los datos de lances individuales de la información pesquera y crear mapas de punto utilizando herramientas de SIG.

2.3.2 El método para regionalizar la actividad pesquera.

Los mapas de puntos generados fueron posteriormente re-muestreados en una malla regular de 4 km de resolución espacial (congruente con la resolución de la información del clima oceánico obtenida del satélite) para producir mapas raster. Posteriormente la frecuencia relativa de lances (“exitosos” y “no exitosos”) y la abundancia relativa de las capturas (CPUE total), permitieron evaluar la eficiencia de cada píxel en particular para la pesquería de pelágicos, durante el periodo estudiado. Los elementos anteriores se definen de la siguiente manera:

- a) frecuencia relativa de lances.** Definida como el número total de lances que caen en un píxel estándar determinado durante el periodo de tiempo estudiado.

- b) Abundancia relativa de las capturas.** Definido como la captura total que cae en un píxel estándar determinado durante el periodo de tiempo estudiado.

- c) Resolución espacial.** Definido como el tamaño de píxel estándar utilizado en el análisis durante el tiempo estudiado

Para un análisis en SIG, la frecuencia relativa de lances y la abundancia relativa de las capturas es una función del tamaño de píxel, la cual aumenta al aumentar la resolución espacial (Figura 6).

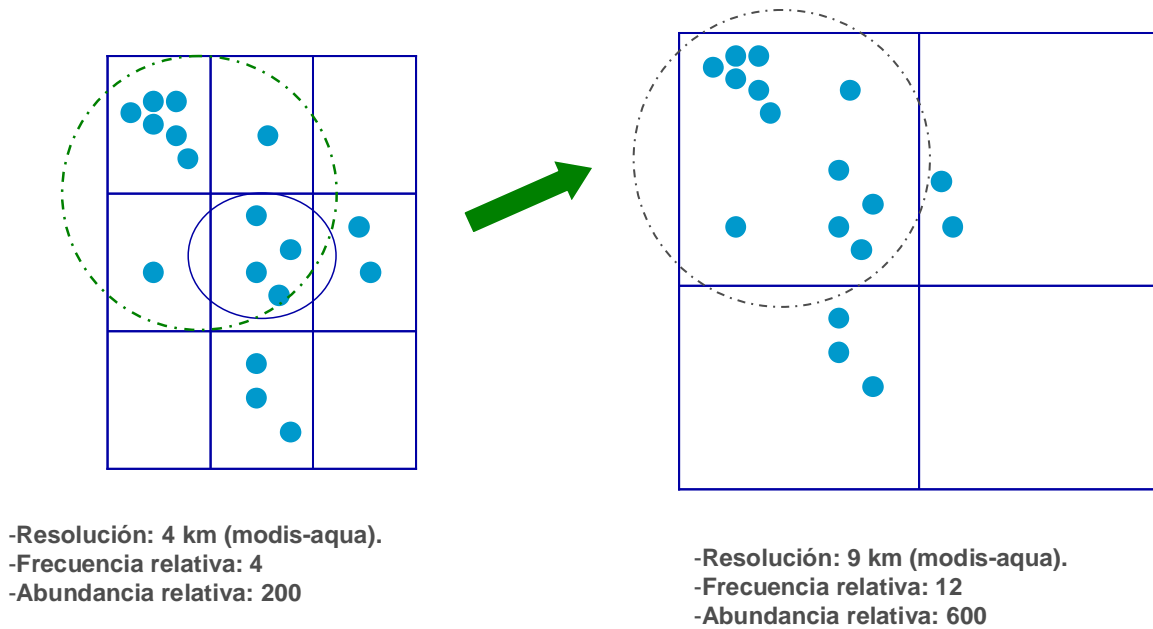


Figura 6. Frecuencias relativas de lances y abundancias relativas para una resolución espacial de 4 km y de 9 km, respectivamente.

Basado en el planteamiento anterior, los mapas de densidad de lances (en la forma de número de lances por celda), y mapas de densidad de captura (en la forma de captura total por celda) fueron generados mediante la sobreposición de mapas de puntos en la grid y el conteo posterior del número total de lances y captura total por celda, respectivamente. Las celdas que no contenían puntos les fue asignado un atributo nulo.

Para comparar ambos mapas de densidad, los valores de cada celda fueron transformados a valores de membresía basado en lógica difusa, los cuales reflejaron la importancia relativa de cada valor de celda individual en la definición de las regiones pesqueras. La pertenencia de un conjunto difuso es expresada en una escala continua de 1 (completa pertenencia) a 0 (completa no-pertenencia) (Bonham-Carter 1996). En consecuencia, los valores individuales de número de lances y capturas en cada mapa pueden ser definidos de acuerdo a su grado de pertenencia o membresía, por lo cual estos pueden ser interpretados bajo una función de favorabilidad (Bonham-Carter 1996). En el presente estudio, tal función es declarada como un indicador de aptitud para identificar una región pesquera. La función de membresía fue expresada analíticamente como:

$$\mu(x) = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad (3)$$

En dónde:

x representa el valor de la densidad de lances o capturas, y $\mu(x)$ es la función de membresía difuso. Cada valor de lance o captura está asociado con un valor de $\mu(x)$, y los pares ordenados $[x, \mu(x)]$ son conocidos colectivamente como un conjunto difuso. Los valores difusos son comparativamente similares a los valores de lances o capturas normalizados. La función de membresía de esos dos conjuntos reflejan la importancia del número de

lances como un indicador de búsqueda para una región pesquera, los otros valores reflejan el grado de éxito de captura en una celda en particular.

Operadores de lógica difusa (Zimmermann 1985) fueron utilizados para combinar los valores de la función de membresía difuso en su conjunto. Para ello fueron seleccionados tres operadores, los cuales fueron considerados como útiles para la combinación del conjunto de datos pesqueros, denominados el Producto Algebraico Difuso (FAP), la Suma Algebraica Difusa (FAS) y el Operador Gama Difuso (FGO). En base a estos operadores, se plantearon las ecuaciones fundamentales que involucran las variables de lances y capturas de la forma:

$$FAP_{ij} = \prod_{p=1}^n \mu_{ij}^p = \left(\frac{\sum_{k=1}^{N(i,j)} lan_{ij}^k}{MAX(lan)} \right) \times \left(\frac{\sum_{k=1}^{N(i,j)} catch_{ij}^k}{MAX(catch)} \right), \quad (4)$$

$$FAS_{ij} = 1 - \prod_{p=1}^n (1 - \mu_{ij}^p) = 1 - \left(1 - \frac{\sum_{k=1}^{N(i,j)} lan_{ij}^k}{MAX(lan)} \right) \times \left(1 - \frac{\sum_{k=1}^{N(i,j)} catch_{ij}^k}{MAX(catch)} \right) \quad (5)$$

$$FGO_{ij} = FAS_{ij}^{\gamma} \times FAP_{ij}^{1-\gamma}, \quad (6)$$

En dónde:

FAP_{ij} , FAS_{ij} y FGO_{ij} , representan los operadores difusos por celda, los cuales denotan la aptitud de cada celda en particular, basada en el numero de puntos (lances) con un cierto valor localizado en el píxel de salida (densidad de puntos) y la suma de los valores de los

puntos con sus atributos (capturas) en cada celda, μ_{ij}^p es la función de membresía difusa para el p -ésimo mapa, $p=1,2,\dots,n$ son los mapas a ser combinados, y ij son los índices de las celdas en la malla, k es el k -ésimo evento (lance o captura) que ocurre en la celda ij , $MAX(lan)$ y $MAX(catch)$ representan los valores máximos de los lances y capturas por celda para la malla completa, respectivamente, y γ es un parámetro escogido en el rango de $[0,1]$ (Zimmermann y Zysno 1980). Cuando el valor de γ es 1, el FGO es idéntico a la Suma Algebraica Difusa; y cuando γ toma el valor de 0, el FGO es idéntico al Producto Algebraico Difuso. El FGO produce valores de salida que muestra un compromiso flexible entre la tendencia de “incremento” de la Suma Algebraica Difusa y el efecto “decreciente” del Producto Algebraico Difuso. Los mapas difusos, basados en el FGO, con valores de γ de 0.2, 0.4, 0.6 y 0.8 fueron utilizados en la búsqueda de la mejor combinación del conjunto difuso.

.

2.3.3 El uso de filtros espaciales.

En sensores remotos, la frecuencia espacial se define como el número de cambios en el valor de un píxel por unidad de distancia para cualquier parte en particular de una imagen. Si existen muy pocos cambios en los valores de brillo sobre un área dada, esta se refiere como un área de “baja frecuencia”. Por el contrario, si los valores cambian dramáticamente en distancias muy cortas, se denomina área de “alta frecuencia”. Lo anterior nos permite extraer información espacial de forma cuantitativa, observando los píxeles locales o vecinos más que un valor de píxel independiente (Jensen 1986).

La separación de varias componentes de frecuencia espacial de una imagen es llamada Análisis de Fourier (resultando en una “Trasformada de Fourier” de la imagen), con lo cual es posible discriminar ciertos grupos (o bandas) de frecuencias relativas a otros y recombinar las frecuencias espaciales para producir un realce de la imagen. Los algoritmos para llevar a cabo tal realce son llamados “filtros” debido a que suprimen ciertas frecuencias y permiten el paso de otras. Un filtro espacial lineal es un filtro para lo cual los valores de brillo ($V_{b,i,j}$) en la posición i,j en la imagen de salida es una combinación de algún “promedio pesado” (combinación lineal) de valores de píxeles localizados en un patrón espacial particular alrededor de la localidad i,j en la imagen de entrada. A este proceso de evaluar los valores de píxeles pesados bajo cierto criterio de vecindad, es llamado convolución bi-dimensional (Rosenfeld y Kak 1976). El tamaño de la “mascara” de convolución o kernel (n) es usualmente 3x3, 5x5, 7x7, 9x9, etc. La Figura 7 muestra un ejemplo de un filtro promedio de 3x3, el cual representa el promedio de esta convolución.

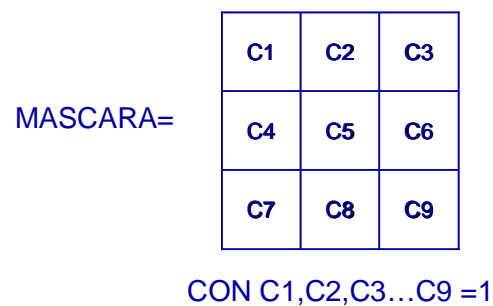


Figura 7. Representación esquemática de un filtro espacial con un kernel de 3x3.

Para poder reducir información aislada a manera de “ruido”, un filtro espacial de la mediana fue utilizada para suavizar los datos de FGO y realzar las fronteras representando regiones pesqueras en un mapa final. El píxel de salida en cada celda fue reemplazado con el valor del dato localizado en el medio de nueve valores vecinos ordenados jerárquicamente en el kernel de 3x3 del filtro de la mediana.

Entre las regiones resultantes, las más importantes fueron seleccionadas de acuerdo a los siguientes criterios: A) las áreas más grandes, definidas por el número de píxeles agrupados en el mapa final y B) los valores promedios de FGO representando a cada región. Un Índice de Región Ponderada (WRI) fue obtenido, el cual compromete ambos, la extensión relativa de cada región y el promedio relativo de FGO por región. Este índice fue obtenido de la forma:

$$WRI_q = \frac{Npix_q}{Npix_{tot}} \times \frac{\overline{FGO}_q}{MAX(FGO)}, \quad (7)$$

En dónde:

WRI_q , representa el Índice de Región Ponderada, el cual denota la aptitud para la pesca de la q -ésima región, basada en la extensión de cierta región normalizada y el promedio relativo de FGO por región, $Npix_q$ y $Npix_{tot}$ representan el número de píxeles de la q -ésima región, y el número total de píxeles de todas las regiones reveladas, respectivamente. \overline{FGO}_q y $MAX(FGO)$ es el valor promedio de FGO de la q -ésima región, y el máximo valor del FGO por región, respectivamente. Las regiones fueron seleccionadas basadas en los

valores más altos de *WRI*, las cuales incluyeron ambas costas del GC, para su posterior comparación basadas en los patrones de circulación y eventos de surgencia estacionales reportados para el GC.

2.3.4 El análisis de regiones basado en la composición de especies.

Para cada región seleccionada, se realizó un análisis de la composición de especies de pelágicos menores en la forma de frecuencia relativa de la abundancia por especie de la siguiente manera:

$$RFS_{k,l} = \frac{n_{kl}}{NT_l} \times 100, \quad (8)$$

En dónde:

$RFS_{k,l}$ representa la frecuencia relativa (en porcentaje) de la abundancia, la cual denota la contribución de la especie *k-esima* a la captura total encontrada en la *l-sima* región; n_{kl} es la captura de la *k-esima* especie en una región en particular; NT_l representa la captura total (la cual incluye a todas las especies) que caen en una *l-sima* región. La frecuencia relativa de la abundancia de una cierta especie dentro y entre regiones, fue posteriormente comparada con el propósito de analizar su variabilidad espacial.

2.4. Análisis de la relación ambiente-recurso.

2.4.1 Mapas de gradiente derivados de TSM y Chl-a.

Imágenes de gradiente de TSM y Chl-*a* fueron derivados de las imágenes de composiciones semanales de TSM y Chl-*a* originales, mediante la aplicación de operadores de Sobel con una ventana de 3x3. El filtro de Sobel consiste de dos kernels los cuales detectan los cambios horizontales y verticales en la vecindad de puntos en una imagen. Si ambos son aplicados a una imagen, los resultados pueden ser utilizados para aproximar la magnitud de las discontinuidades en la imagen de la forma:

$$G_{horizontal} \hat{=} \begin{vmatrix} \hat{H}1 & \hat{H}2 & \hat{H}1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{vmatrix} \quad (9)$$

$$G_{vertical} \hat{=} \begin{vmatrix} \hat{H}1 & 0 & 1 \\ \hat{H}2 & 0 & 2 \\ \hat{H}1 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (10)$$

$$Magnitud_{Sobel} \hat{=} \sqrt{G_{horizontal}^2 + G_{vertical}^2} \quad (11)$$

2.4.2 Análisis en el SIG.

Con el propósito de explorar la naturaleza espacial de cada una de las especies estudiadas, mapas de puntos individuales fueron producidos con el fin de visualizar la distribución de los valores de CPUE a lo largo de toda el área de estudio. Esos mapas de puntos fueron posteriormente re-muestreados en una malla regular de 4 km de resolución espacial para producir mapas raster congruentes con la resolución espacial de la información de satélite.

Los valores semanales de CPUE, en términos de toneladas por lance, fueron utilizados para producir mapas de densidad de puntos (promedio) de registros de datos de

la pesquería (mapas de puntos), mediante el re-muestreo de esos registros individuales que caen en una celda en particular y promediando dichos valores de CPUE para cada celda en particular, para posteriormente combinarlos con la información ambiental (mapas de TSM, Chl-*a* y gradientes), para extraer la información ambiental para cada especie en particular (sardina Monterrey, macarela, anchoveta y crinuda) mediante técnicas de superposición en el SIG. Las celdas que no tenían información alguna les fue asignada un atributo nulo (dominio indefinido). Se puso un especial cuidado para asegurar que la resolución temporal de las celdas ambientales coincidiera con las fechas de la información de los muestreos de pesca.

2.4.3 Análisis estadístico de la información pesquera.

Un análisis de distribución de frecuencias para cada especie en particular fue llevado a cabo, en el cual el número de eventos de ocurrencia de una especie en particular fue comparado contra cada parámetro ambiental con el propósito de estudiar las asociaciones entre los datos de pesquería y la información de satélite. Estas funciones de distribución de frecuencias fueron ajustadas a las funciones de probabilidad Normal (ecuación 12) y logarítmica (ecuación 13) con el fin de determinar aquella función que mejor ajuste a los datos observados basados en una prueba de bondad de ajuste Chi-cuadrada de Pierson (ecuación 14), utilizando un intervalo de confianza del 95%. Para estimar los parámetros de ajuste y generar las curvas correspondientes, se utilizó un proceso iterativo.

Ajuste Normal:

$$y \hat{=} y_0 \hat{G} \frac{A}{w\sqrt{\pi/2}} e^{-\frac{(x-x_c)^2}{w^2}} \quad (12)$$

Ajuste Log-Normal:

$$y \hat{=} y_0 \hat{G} \frac{A}{\sqrt{2\pi}x} e^{-\frac{\left[\ln\frac{x}{x_c}\right]^2}{2w^2}} \quad (13)$$

En dónde:

y representa el valor de salida de la función de probabilidad; y_0 es el offset del parámetro estimado; x_c es el valor central; w es el ancho de la función, y A es el área. Para seleccionar el modelo que mejor ajusta a los datos de estas dos funciones, el parámetro Chi-cuadrado fue calculado de la forma:

$$X^2 \hat{=} \sum_{i=1}^n w_i * (y_i - \hat{y})^2 \quad (14)$$

En dónde:

X^2 , representa el valor del parámetro de Chi-cuadrada; w_i es un coeficiente pesado; y_i son los datos experimentales, y \hat{y} representan a los puntos teóricos. Nuestro objetivo fue obtener los parámetros que “mejor ajusten” a los datos descritos en las distribuciones de frecuencia por medio de la minimización de Chi-cuadrada.

Debe aclararse el hecho de que nuestro interés fue el determinar cual condición del ambiente se asoció al mayor número de eventos de lances encontrados a lo largo de todas las estaciones de pesca, y no en comparar el beneficio económico entre las diferentes estaciones de pesca. Por lo cual los datos de CPUE no fueron corregidos por fluctuaciones anuales en las abundancias de las especies de pelágicos menores.

III. RESULTADOS.

3.1. Imágenes de satélite.

3.1.1. *Patrones espacio-temporales de la TSM y Chl-a.*

Un total de 143 imágenes de composiciones semanales fueron seleccionadas para cada parámetro (TSM y Chl-*a*) con el propósito de estudiar las relaciones de la pesquería con respecto a la magnitud de los campos de TSM y Chl-*a*. Dichas imágenes corresponden a las fechas coincidentes con los datos de la pesquería. Un análisis grueso de los valores promedio mensuales de TSM y Chl-*a* (Figura 8), calculadas utilizando información del satélite, muestra una relación inversa entre las dos variables con los más altos valores de SST ($> 25^{\circ}\text{C}$) durante los meses de verano (Julio-Septiembre) y parte del otoño (Octubre), Mientras que en el resto de valores de SST, se observa un moderado descenso de la temperatura. Las mas altas concentraciones de Chl-*a* o “blooms” ($> 3\text{ mg/m}^3$) en el área de estudio se presentan durante los meses fríos (Noviembre-Abril) y en Mayo, mientras que en el resto del año se observa una tendencia a la baja de estos valores ($< 1\text{ mg/m}^3$) en los meses de verano (con un mínimo a finales de Julio y el inicio de Agosto). Los florecimientos algales o “booms” observados en el área, pueden estar relacionados con procesos oceanográficos como lo es el régimen de vientos (monzones) que causan las surgencias costeras reportadas para el GC (Lavín *et al.* 1997; Lluch-Cota *et al.* 2000; Pegau *et al.* 2002). La Figura 8 muestra las imágenes de muestra para los periodos de verano-otoño e invierno-primavera en el GC obtenidas de MODIS-Aqua. Una galería mas completa de

estas imágenes mostrando sus patrones espaciales y estacionales puede ser observada en el ANEXO I. Del mismo modo, los valores mínimos y promedios mensuales de TSM y Chl-*a* para el GC se muestran en las Tablas II y III, para la serie de tiempo de 2002 al 2005, tomadas como un ejemplo.

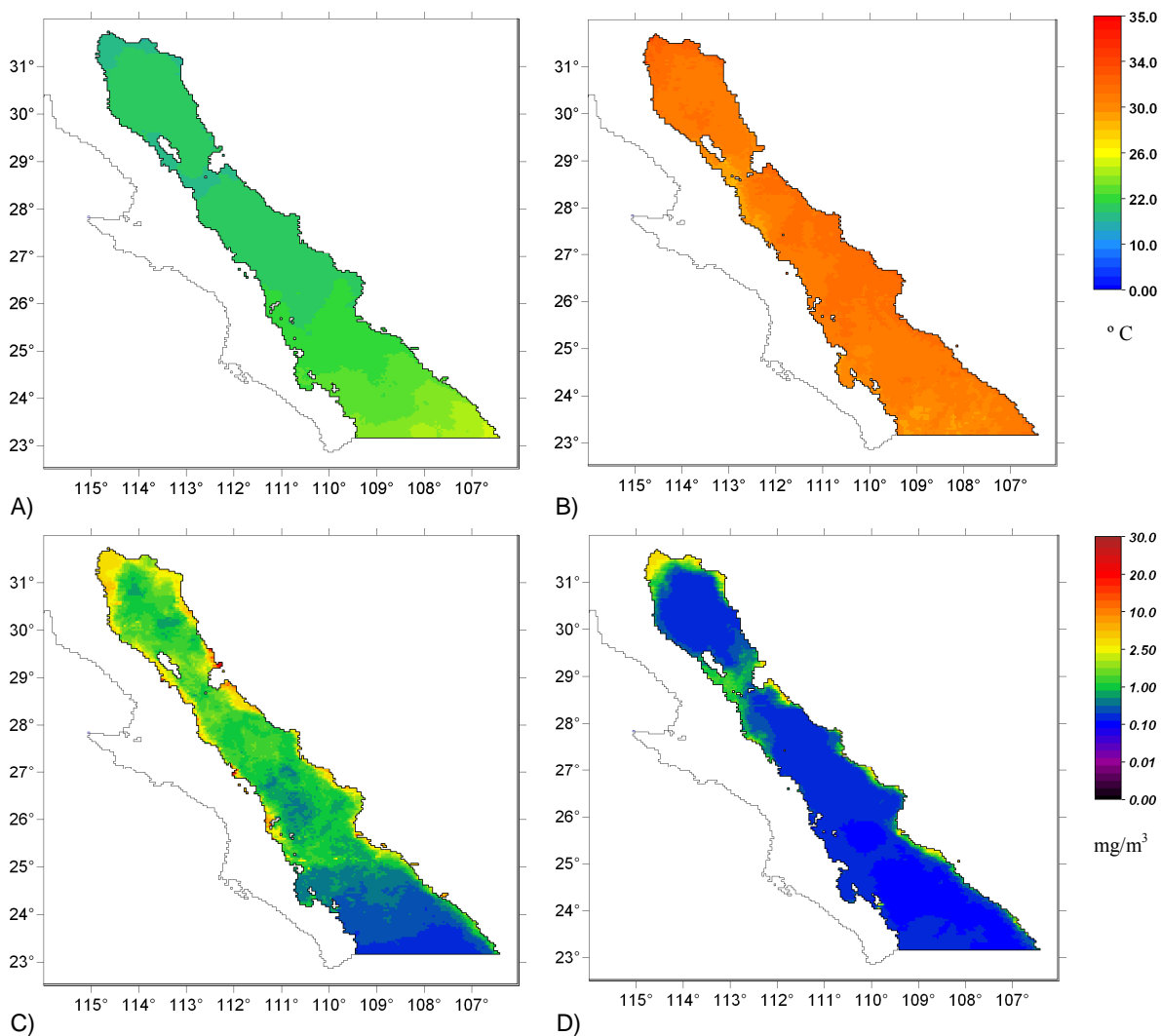


Figura 8. Imágenes de satélite del Golfo de California extraídas de MODIS-Aqua mostrando la Temperatura Superficial del Mar A) y B) y la concentración de clorofila -*a* C) y D), para Diciembre y Enero de 2003, respectivamente, representando condiciones de invierno y verano.

Tabla II. Valores mínimos y máximos de composiciones mensuales de Temperatura Superficial del Mar extraídas de satélite MODIS-Aqua.

	2002		2003		2004		2005	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
ENE			14.9	25.1	12.1	23.3	14.6	24.4
FEB			15.4	25.0	12.8	23.0	14.8	23.9
MAR			16.6	25.1	14.2	26.6	16.0	23.0
ABR			16.3	26.0	16.7	26.5	16.0	26.5
MAY			17.8	28.9	19.6	30.7	17.9	28.3
JUN			20.5	31.0	19.9	32.5	21.4	31.0
JUL	24.5	32.5	25.1	33.4	23.2	33.5	25.4	34.1
AGO	27.5	33.8	27.7	34.3	27.2	34.9	28.1	33.8
SEP	28.1	33.1	27.2	33.4	25.4	33.5		
OCT	22.7	32.5	26.0	31.4	22.7	33.5		
NOV	19.1	28.7	17.9	29.0	15.2	28.1		
DIC	15.1	26.2	14.9	25.0	13.0	25.0		

Tabla III. Valores mínimos y máximos de composiciones mensuales de concentración de clorofila-*a* extraídas de satélite MODIS-Aqua.

	2002		2003		2004		2005	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
ENE			0.27	31.26	0.37	25.41	0.22	44.15
FEB			0.18	22.13	0.36	32.35	0.15	26.30
MAR			0.23	30.20	0.20	15.66	0.13	29.17
ABR			0.11	29.17	0.15	21.38	0.17	32.35
MAY			0.14	29.17	0.10	23.71	0.10	17.98
JUN			0.14	18.62	0.12	25.41	0.13	10.00
JUL	0.17	6.38	0.14	11.09	0.13	5.37	0.13	6.83
AGO	0.14	7.58	0.11	9.01	0.10	6.38		
SEP	0.12	15.13	0.12	13.64	0.09	29.17		
OCT	0.12	15.13	0.13	64.56	0.10	14.62		
NOV	0.12	10.35	0.14	26.30	0.13	60.25		
DIC	0.20	24.54	0.25	60.25	0.12	39.81		

3.2. Análisis de la información pesquera: en busca de Centros de Actividad Pesquera en el GC.

3.2.1. Distribución espacial de los lances de pelágicos menores.

La Figura 9, muestra la distribución espacial de los lances pesqueros del periodo de Octubre del 2002 a Septiembre del 2004. En ella puede apreciarse altas concentraciones de lances históricos concentradas en ciertas regiones, principalmente frente a las costas de Bahía de Kino, Guaymas, Bahía de Lobos y Santa Rosalía. La mayor parte de estos lances se localizan en la costa oriental del Golfo, en donde se desarrolla principalmente esta pesquería. En la misma Figura 9 se aprecian una gran cantidad de lances distribuidos en la parte central a lo largo de las costas oriental y occidental del Golfo. Lo anterior indica que algunos de estos lances pudieron haberse efectuado con propósitos de prospección.

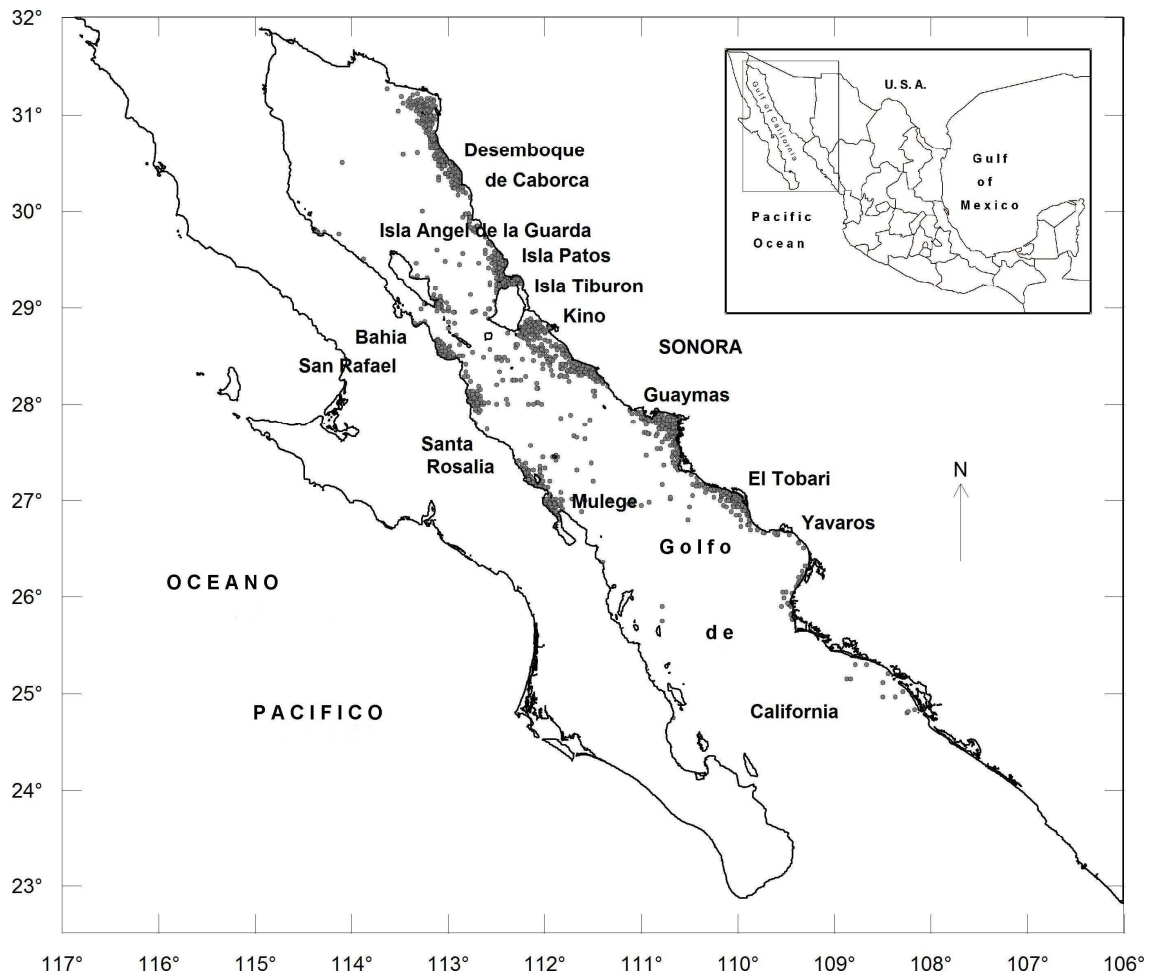


Figura 9. Distribución espacial de los lances (puntos gris obscuro) de la pesquería de pelágicos menores en el GC del 2002 al 2007.

3.2.2. Distribución espacial de la densidad e lances y densidad de capturas.

Para poder analizar espacialmente los datos de la pesquería, estos deben de ser colocados en una malla regular en el SIG. En el caso particular de este trabajo, se siguió la resolución espacial de 4 km de las imágenes MODIS-Aqua por conveniencia, para ser

posteriormente utilizadas en las siguientes fases del estudio. Los valores de densidad de lances (frecuencia relativa de lances) y densidad de capturas (abundancia relativa de las capturas), están en función del tamaño del píxel.

El presente análisis espacial, integrado a lo largo de la serie temporal de datos, nos da una medida práctica de la eficiencia de cada píxel respecto a los dos parámetros señalados. Sin embargo, no existe una frontera clara que nos permita discretizar entre “lances exitosos” de aquellos “lances no exitosos”. En el planteamiento del presente trabajo, ambas situaciones son importantes con el fin de estudiar el comportamiento de la pesquería y su relación con el ambiente.

Un total de 3 756 lances contenidos en la base de datos pesquera fueron seleccionados para el área de estudio. La distribución espacial de los datos (Figura 9), sugiere la existencia de regiones de alta actividad pesquera, cercanas a los principales puertos pesqueros e islas en la parte norte y central del golfo. Más aun, la Figura 9 muestra también un amplio rango en la distribución de los lances de la pesquería de pelágicos menores. La Figura 10, muestra la distribución espacial de los valores de densidad de capturas (A) y densidad de lances (B), respectivamente en el área de estudio para el periodo 2002 - 2007. En esta Figura se pueden apreciar los dos escenarios, en donde altos valores de densidad de lances o de capturas son localizados espacialmente aislados, y valores bajos de estos pueden ser encontrados en vecindad con altos valores, principalmente en la zona costera. El mapa de densidad de lances en la Figura 10, presentó un rango de valores en las celdas que van desde 1 a 81, mientras que el mapa de densidad de captura presentó un rango de entre 5 a 4 225. Adicionalmente, la Figura 11 muestra las gráficas de distribución

de las frecuencias (normalizadas) de la densidad relativa de lances (A) y la densidad relativa de la abundancia (B), respectivamente. Un análisis de regresión lineal de estos valores normalizados de densidad de lances y densidad de capturas mostraron un alto valor de correspondencia ($r^2=0.88$; $nceldas=664$), lo cual apoya la evidencia de que los valores de la captura pueden ser utilizados como indicador de la abundancia de pelágicos menores.

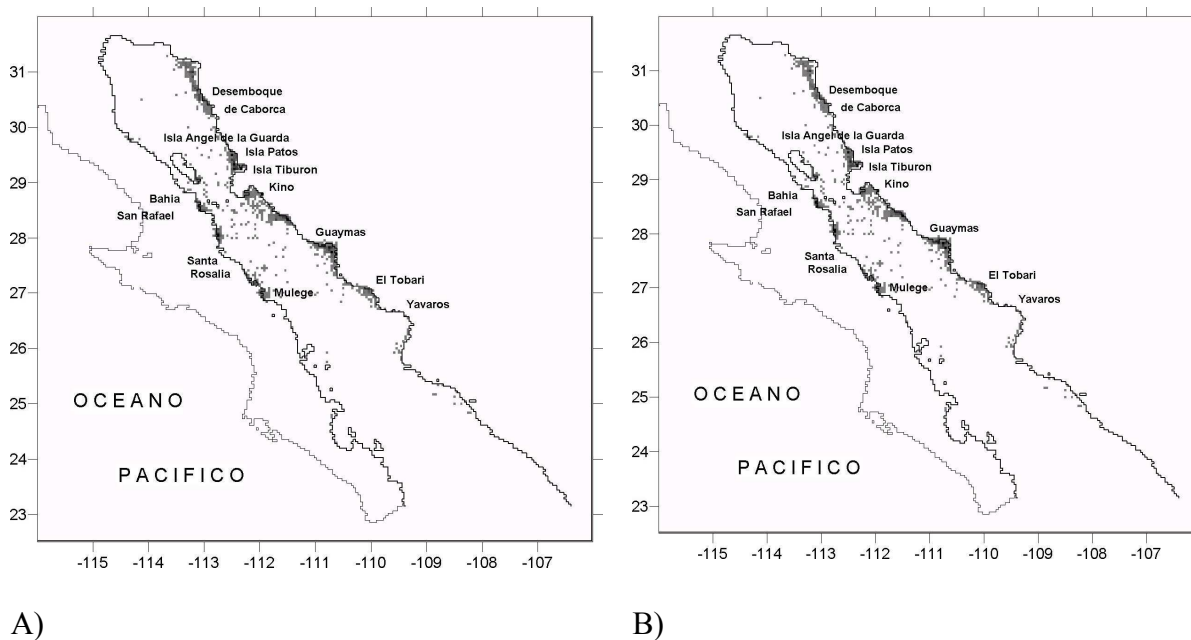
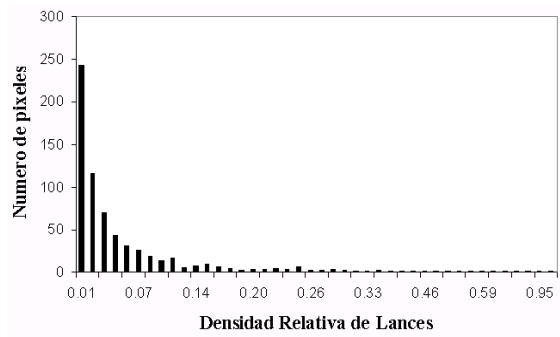
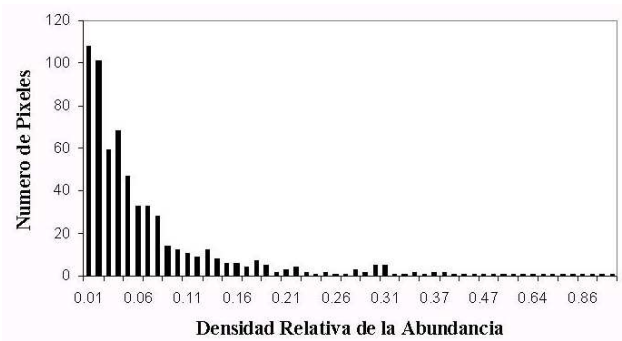


Figura 10. Distribución espacial de A) densidad de lances y B) densidad de capturas (celdas en tonos de gris) de la pesquería de pelágicos menores en el GC del 2002 al 2007. Los colores mas oscuros de la escala de grises indican valores altos para la densidad de lances y capturas, respectivamente.



A)



B)

Figura 11. Distribución de frecuencias para A) la densidad relativa de lances, y B) la densidad relativa de la abundancia, derivada de los mapas de densidad de lances y densidad de capturas (Fig. 10), respectivamente.

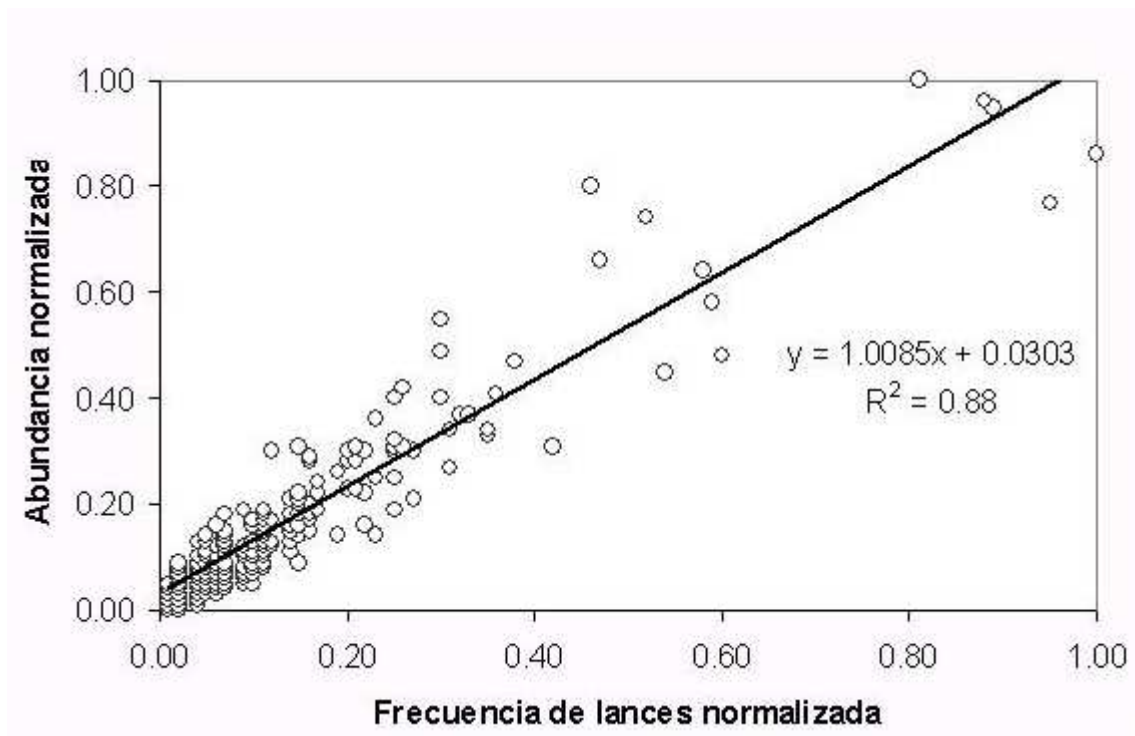


Figura 12. Gráfica de regresión lineal para los valores normalizados de la frecuencia de lances vs. la abundancia ($nceldas=664$). Las discrepancias entre los datos “observados” en torno a la recta de regresión son mayores a medida que la densidad de lances se incrementa.

3.2.3. Regionalización de la actividad pesquera.

Diversos valores de γ fueron probados (Tabla IV). Un valor de 0,8 para la ecuación (6) fue seleccionado para crear un mapa conteniendo pixeles cuyo valores representan el grado de aptitud para la una región pesquera en particular, ya que este valor de gamma mostró ser representativo a manera de un operador ecualizado (FGO), el cual compromete la combinación conjunta tanto de la frecuencia relativa de lances como a la abundancia relativa de la captura en cada celda en la forma de Suma Algebraica Difusa (FAS) y del Producto Algebraico Difuso (FAP).

Tabla IV. Valores de Gamma utilizados en el desarrollo de los algoritmos de Lógica Difusa para encontrar las áreas más representativas de la actividad pesquera en el GC.

DL	DC	FAS	FAP	VALOR DE γ				
				0.2	0.4	0.5	0.6	0.8
0.1	0.1	0.19	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.11
0.1	0.8	0.82	0.08	0.13	0.20	0.26	0.32	0.51
0.4	0.4	0.64	0.16	0.21	0.28	0.32	0.37	0.49
0.5	0.5	0.75	0.25	0.31	0.39	0.43	0.48	0.60
0.8	0.1	0.82	0.08	0.13	0.20	0.26	0.32	0.51
0.8	0.8	0.96	0.64	0.69	0.75	0.78	0.82	0.89
1.0	1.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

DL= Densidad de Lances. DC= Densidad de Capturas. FAS= Suma Algebraica Difusa
FAP= Producto Algebraico Difuso.

Utilizando un filtro linear de mediana con un kernel (matriz) de 3x3, fue posible incorporar la distribución espacial de los FGO y determinar las regiones mas densamente muestreadas en relación con la pesquería de pelágicos menores. El mapa suavizado después

de usar el filtro espacial mostró regiones bien delimitadas, cercanas a la costa (Figura 13). Muchas de las celdas aisladas fueron removidas después de este procedimiento. Debido a la naturaleza del filtro espacial utilizado, nuevos valores de FGO que representan la mediana de nueve pixeles vecinos ordenados en orden jerárquico, fueron reemplazados en las celdas de salida en cada región revelada. Estos nueve valores representan la variabilidad de larga escala por región (> 12 km).

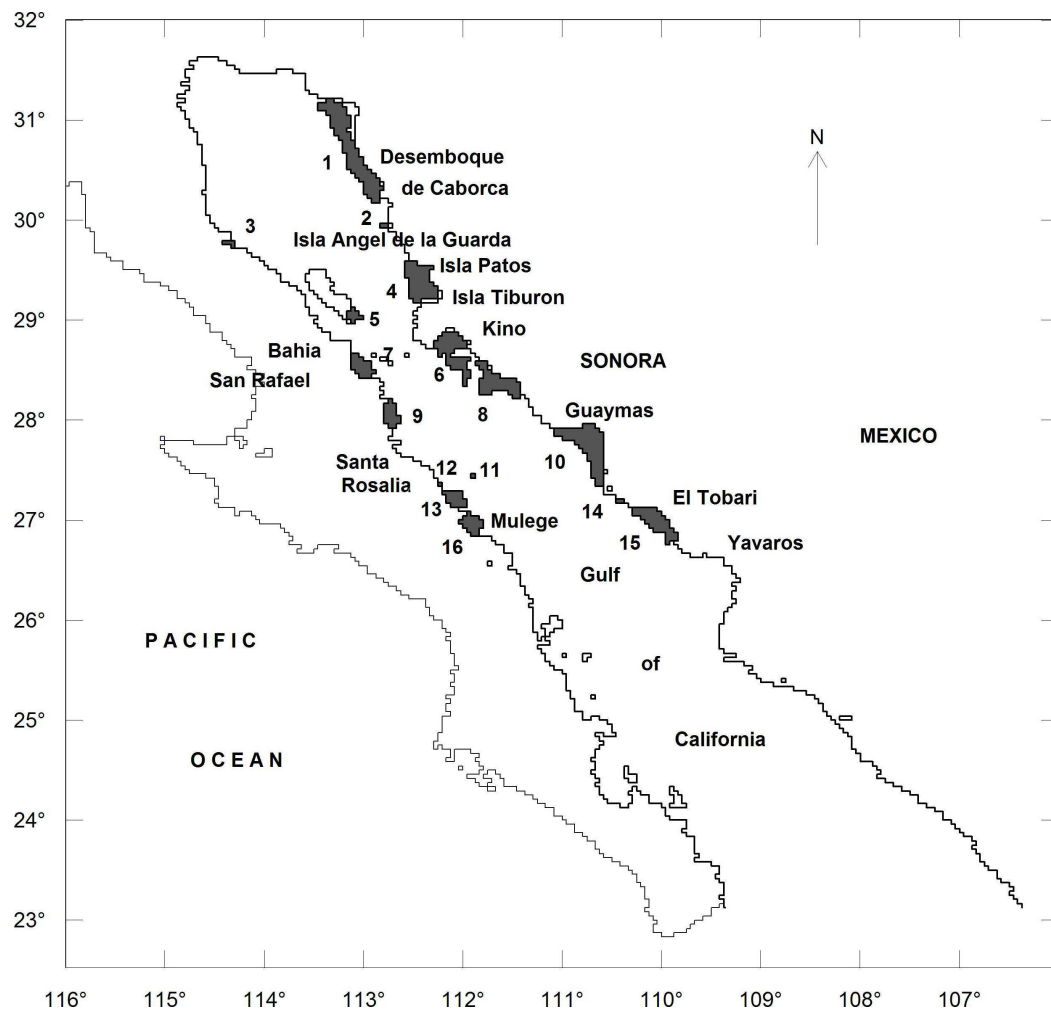


Figura 13. Regiones mas densamente muestreadas en relación con la pesquería de pelágicos menores en el GC en la forma de WRI a una resolución de 4 km.

Los valores del Índice de Región Ponderada (WRI) fueron calculados para cada región (Tabla V). Las regiones con valores de WRI del orden de 10^1 fueron seleccionadas como representativas de la actividad pesquera para su posterior comparación. Esas regiones ordenadas en orden jerárquico fueron la 10,1,4,8,7,6,15 y 9 (Tabla V).

Tabla V. Explorando Centros de Actividad Pesquera en la forma de Índice de Región Ponderada (WRI) y localización de las regiones seleccionadas para el GC.

Región	Npix.	AFGO	WRI x 100	Localización
1	98	0.041	49.22	Desemboque de Caborca
2	1	0.006	0.07	
3	2	0.006	0.14	
4	48	0.083	48.98	Isla Patos
5	9	0.020	2.25	Isla Ángel de la Guarda
6	53	0.019	12.47	Kino
7	19	0.068	15.76	Bahía San Rafael
8	48	0.057	33.28	Tastiota
9	20	0.042	10.19	
10	75	0.070	64.68	Guaymas
11	1	0.007	0.08	
12	1	0.005	0.06	
13	18	0.023	5.09	Santa Rosalía
14	2	0.005	0.12	
15	38	0.023	10.89	El Tóbari
16	20	0.027	6.69	Mulegé

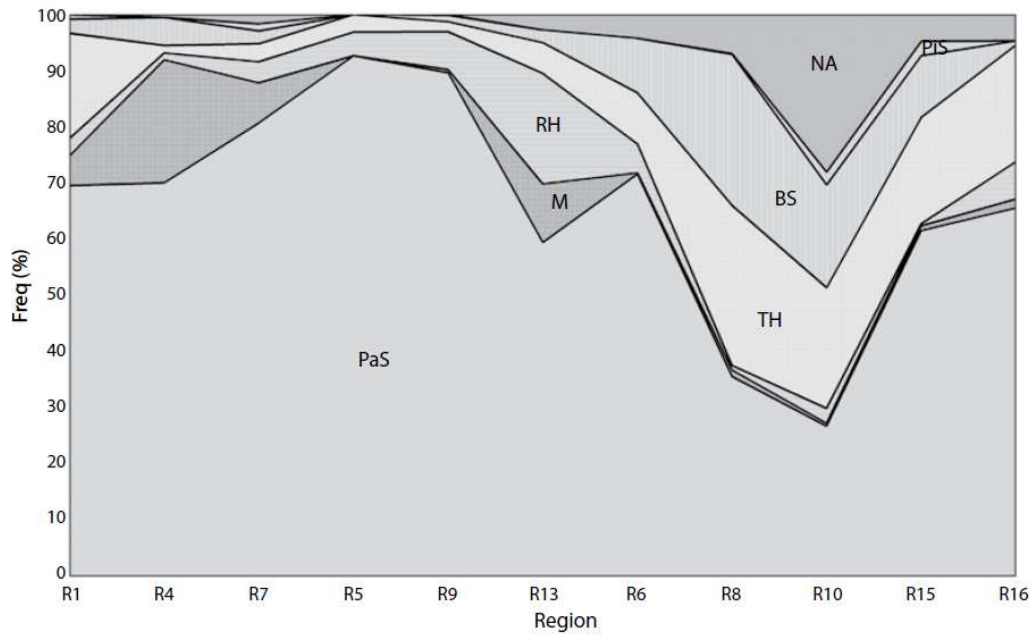
WRI= Índice de Región Ponderada. Npix.= Número de pixeles por región.

AFGO= Operador Gamma Difuso promedio por región.

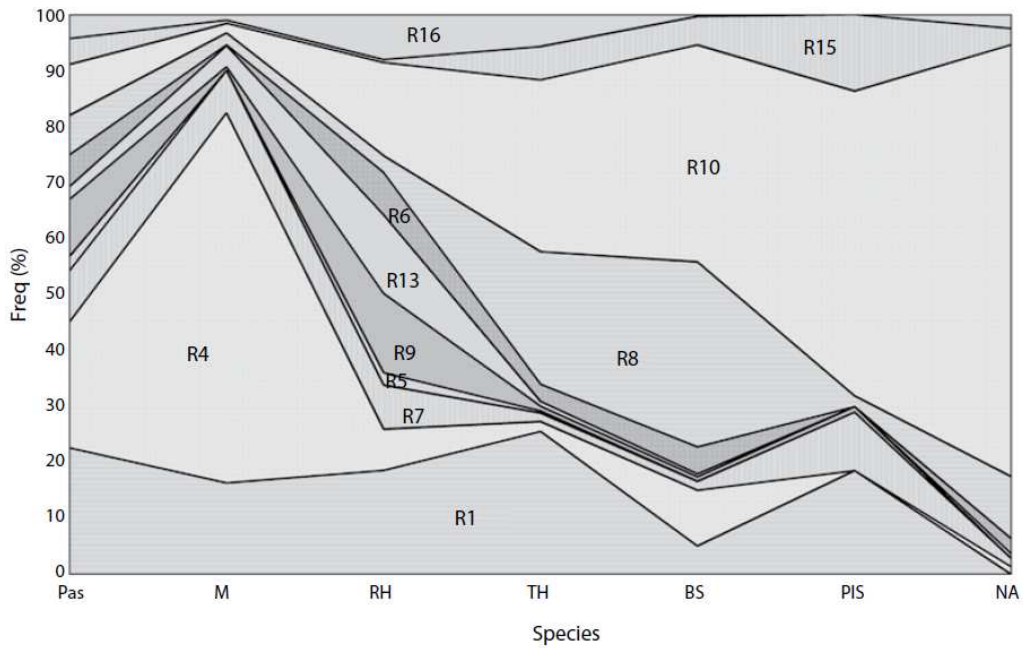
Entre estas, Guaymas (región 10), Desemboque de Caborca (región 1), e Isla de Patos (región 4) tuvieron los mas altos valores de WRI, respectivamente. En contraste, Bahía San Rafael (región 7) fue la más representativa en la costa Oeste del GC.

3.2.4. Distribución espacial de las especies de pelágicos menores en las regiones más densamente muestreadas.

Las regiones reveladas fueron evaluadas en función de la distribución espacial de las principales especies de pelágicos menores. Un total de siete especies fueron encontradas en las áreas seleccionadas. Estas especies fueron: sardina Monterrey, sardina crinada, macarela, sardina japonesa, anchoveta norteña, sardina bocona y sardina Piña. La frecuencia relativa de la abundancia de las especies, expresada por región y por especies entre regiones es mostrada en la Figura 14. La composición de especies mostró ser diferente en las regiones seleccionadas. Entre estas, la sardina Monterrey fue la especie más representativa, particularmente en las regiones localizadas en la parte norte del GC (superior al 60% en la abundancia relativa), disminuyendo su abundancia hacia las regiones localizadas en la parte central del golfo, con la contribución relativa mas baja (menor al 40%) en las regiones 8 y 10 (Figura 14-A). La Figura 14 también muestra que la macarela fue la especie predominante en las regiones localizadas en la parte norte (1 y 4 y 13). La anchoveta norteña, sardina bocona y sardina crinuda covariaron incrementando su composición relativa en la abundancia hacia las regiones localizadas en la parte central (8, 10 y 15). La anchoveta norteña se mostró escasa en el resto de las regiones. Una relación similar fue encontrada en las regiones 7 y 9 y entre las regiones 9 y 13 con la presencia de sardina japonesa. Sin embargo, a pesar de que las regiones 6 y 8 se encuentran espacialmente cercanas, estas mostraron ser diferentes en la composición relativa de especies. La variabilidad espacial de las especies (Figura 14-B) muestra que la macarela fue la especie predominante en la región 4, y la anchoveta norteña en la región 10.



A)



B)

Figura 14. Frecuencia relativa en la composición de especies de pelágicos menores: A) composición de especies por regiones; B) Composición de especies entre regiones. PaS= sardina Monterrey, TH= sardina crinuda, BS= sardina bocona, RH= sardina japonesa, M= macarela PiS= sardina Piña.

La Figura 14-B muestra también una relación inversa en la variabilidad espacial entre las regiones del norte y las del sur. Esta misma relación es encontrada para la composición de las especies de sardina bocona, sardina japonesa y sardina y Piña, las cuales pueden apreciarse también entre las regiones 8, 15, y 16. En particular, parece que la anchoveta norteña se distribuye principalmente en las regiones del sur y es escasa en las regiones del norte (1, 4, 5, y 7), en donde la sardina Monterrey covaría inversamente. La sardina japonesa mostró que, a pesar de estar bien localizada en las regiones 1 y 10, su presencia permanece en la mayoría de las regiones, de forma similar a la variabilidad espacial de la sardina Monterrey.

3.3. Relación ambiente-recurso.

3.3.1. Distribución espacial de los datos de la pesquería.

Se obtuvieron de las bitácoras de pesca, un total de 1 842 de registros de lances individuales para el área de estudio, correspondientes al periodo de Octubre de 2002 a Junio de 2007. La información espacial de los lances fue utilizada para obtener los datos correspondientes de las variables ambientales y mapas derivados. El mapa de dispersión espacial de lances de pesca (Figura 9), muestra un rango amplio en la distribución de las especies de pelágicos menores. El mapa de densidad de lances y densidad de capturas (Figura 10) exhiben una gama de valores de celdas que van de 1 a 81, y de 5 a 4 255, respectivamente.

3.3.2. Patrones temporales de TSM y Chl-*a* provenientes de satélite.

Un total de 143 imágenes con composiciones semanales de TSM y Chl-*a*, fueron seleccionadas, las cuales corresponden con la información temporal de los lances. Los promedios mensuales de TSM y Chl-*a* (Figura 15), calculados utilizando la información del satélite, muestran una relación inversa entre las dos variables con los más altos valores de TSM (> 25 ° C) durante los meses de verano (Julio-Septiembre) y parte del otoño (Octubre), mientras que los meses restantes se observa un moderado descenso de la temperatura. Las más altas concentraciones de Chl-*a* (> 3 mg/m³) se encuentran en el área de estudio durante los meses fríos (Noviembre-Abril) y en Mayo, mostrando una baja (< 1 mg/m³) en los meses de verano (con un mínimo a finales de Julio y principios de Agosto). Los florecimientos algales observados están relacionados con los procesos físicos oceanográficos conocidos tales como el régimen de vientos causantes de las surgencias reportadas en el GC (Lavín *et al.* 1997; Lluch-Cota *et al.* 2000; Pegau *et al.* 2002)

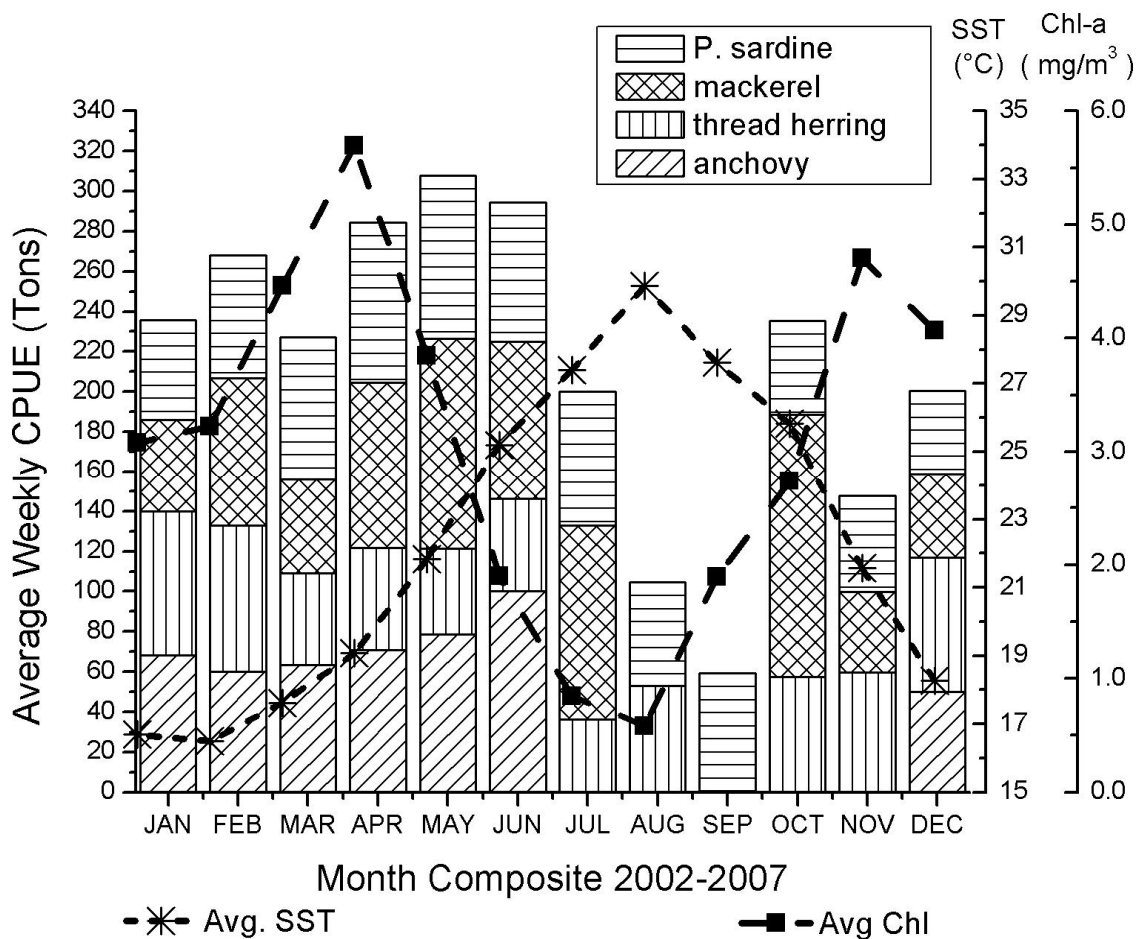


Figura 15. Promedios mensuales de temperatura superficial del mar y concentración de clorofila-*a* obtenidos de sensores remotos, y lances de pelágicos menores en el GC de 2002-2007.

Influencia del ambiente en la abundancia de pelágicos menores.

Para cada uno de los datos de CPUE, fueron extraídos los correspondientes valores semanales de los campos de TSM, Chl-*a* y los gradientes derivados de los parámetros anteriores,. El número de datos extraídos para cada especie se muestra en la Tabla VI. La distribución semanal promedio de los datos ambientales y sus correspondientes mapas de

gradiente se muestran en la Figura 16 utilizando como ejemplo el mapa correspondiente a los días julianos 097-105 (Abril de 2004).

Tabla VI. Número de datos extraídos de TSM, Chl-*a* y mapas de gradiente para cada especie de pelágicos menores.

Especie	TSM	Chl-a	GTSM	GChl-a
Sardina Monterrey	1 222	1 146	1 214	998
Sardina crinuda	348	342	352	318
Macarela	143	134	142	125
Anchoveta	129	111	132	92
Total	1 842	1 733	1 840	1 533

TSM= Temperatura Superficial del Mar, Chl-*a*= Concentración de Clorofila-a, GTSM= Magnitud del gradiente de TSM, y GChl-*a*= Magnitud del gradiente de Chl-*a*.

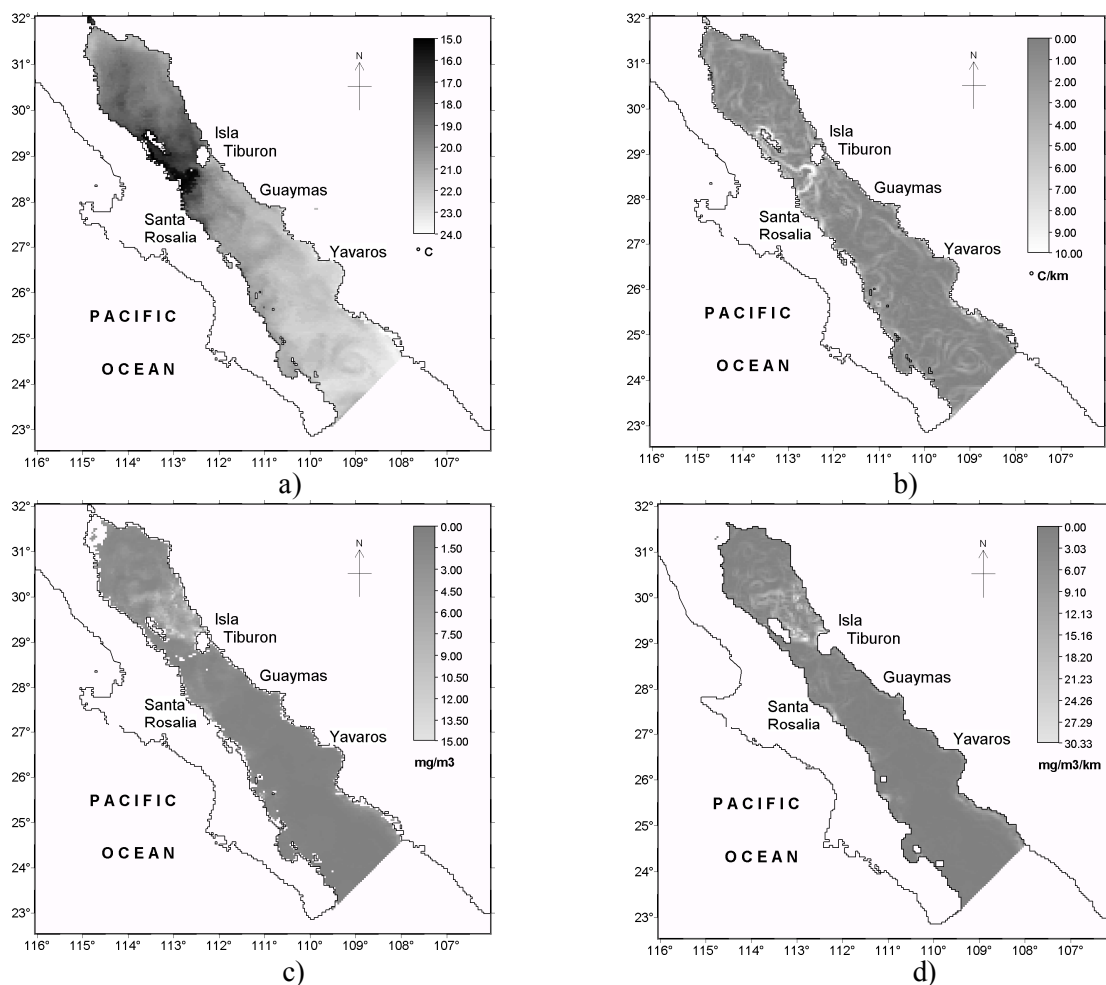


Figura 16. Distribución espacial de las composiciones semanales promedio de A) TSM; B) Chl-*a*; C) Magnitud del Gradiente de TSM, y D) Magnitud del Gradiente de Chl-*a*. Las imágenes para la semana correspondiente a los días Julianos 097-105 (Abril, 2004) son tomados como un ejemplo.

El análisis de frecuencias para los parámetros oceanográficos y las preferencias de los pelágicos en el GC se muestran en las Figuras 17 y 18, derivados de la superposición de cada parámetro y la frecuencia de lances (número de observaciones). Las Figuras 17 y 18 muestran también la mejor función de ajuste (logarítmica o normal) basada en la prueba de Chi-cuadrada con un límite de confianza del 95%. Los valores promedio para las variables

consideradas en el análisis (SST, Chl-a, GTSM y GChl) se indican en las Tablas VI a la Tabla IX, para la función de mejor ajuste.

Tabla VI. Distribuciones de probabilidad de la TSM para las especies de pelágicos menores en el GC, parámetros estadísticos y valores óptimos, estimados para el periodo 2002-2007.

Especie	N	Distribución	Chi-cuad.	R ²	Intervalo (°C)	Rango Optimo (°C)
Sardina Monterrey	1 222	LogNormal	759.91	0.700	14.5-31.6	17.0-22.0
Sardina crinuda	348	Gauss	66.55	0.485	15.7-30.1	17.0-21.0
Macarela	143	Gauss	20.78	0.480	16.5-28.8	25.0-29.0
Anchoveta	129	Gauss	20.00	0.710	15.7-23.1	17.0 – 22.0

Tabla VII. Distribuciones de probabilidad de Chl-a para las especies de pelágicos menores en el GC, parámetros estadísticos y valores óptimos, estimados para el periodo 2002-2007.

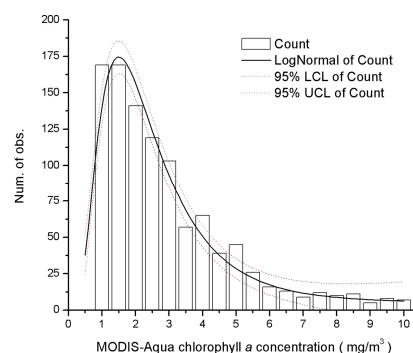
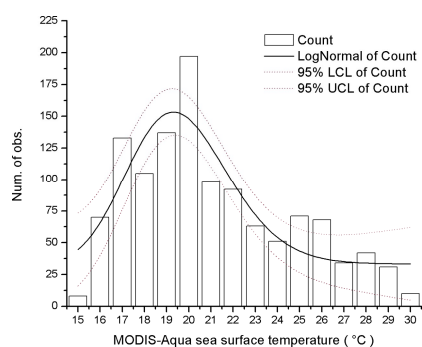
Especie	N	Distribución	Chi-cuad.	R ²	Intervalo (mg/m ³)	Rango Optimo (mg/m ³)
Sardina Monterrey	1 146	LogNormal	205.68	0.937	0.57-10.7	1.0-3.0
Sardina crinuda	342	LogNormal	31.92	0.897	0.42-9.91	1.0-3.5
Macarela	134	LogNormal	5.526	0.959	0.45-5.60	1.0-1.5
Anchoveta	111	Gauss	3.523	0.573	0.79-25.45	2.5-4.5

Tabla VIII. Distribuciones de probabilidad de gradiente de Sobel para la TSM por especie de pelágicos menores en el GC, parámetros estadísticos y valores óptimos, estimados para el periodo 2002-2007.

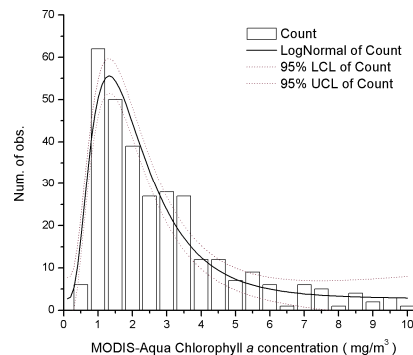
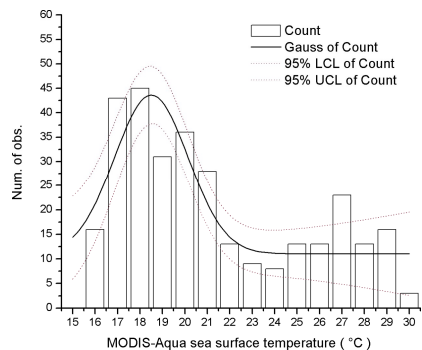
Especie	N	Distribución	Chi-cuad.	R ²	Intervalo (°C/km)	Rango Optimo (°C/km)
Sardina Monterrey	1 214	LogNormal	189.76	0.969	0.32-6.51	1.0-2.5
Sardina crinuda	352	LogNormal	32.75	0.936	0.44-4.80	1.0-3.0
Macarela	142	LogNormal	2.42	0.967	0.22-6.00	1.0-2.5
Anchoveta	132	LogNormal	4.14	0.865	0.50-7.21	1.0-4.0

Tabla IX. Distribuciones de probabilidad de gradiente de Sobel para Chl-*a* por especie de pelágicos menores en el GC, parámetros estadísticos y valores óptimos, estimados para el periodo 2002-2007.

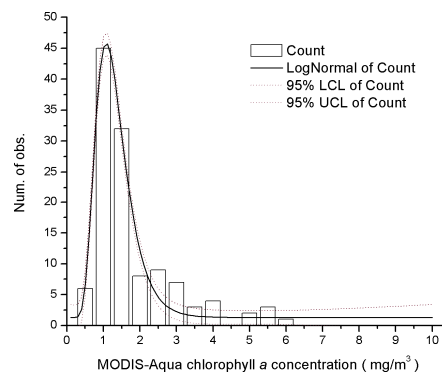
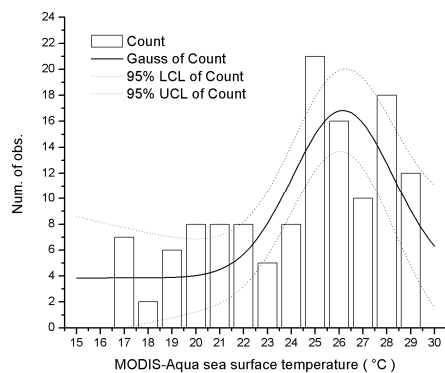
Especie	N	Distribución	Chi-cuad.	R ²	Intervalo (mg/m ³ /km)	Rango Óptimo (mg/m ³ /km)
Sardina Monterrey	998	Gauss	61.34	0.955	0.36-29.32	0.5-5.0
Sardina crinuda	318	LogNormal	5.85	0.961	0.50-34.06	2.0-6.0
Macarela	125	Gauss	2.52	0.966	0.22-14.22	0.5-2.5
Anchoveta	92	LogNormal	3.69	0.434	1.94-67.14	3.0-17.0



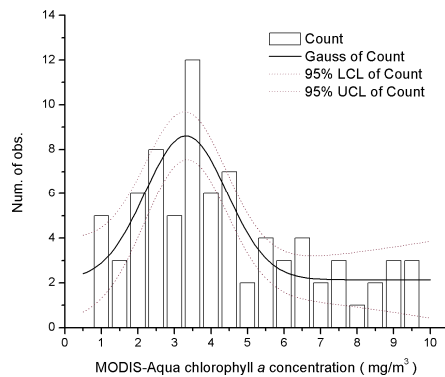
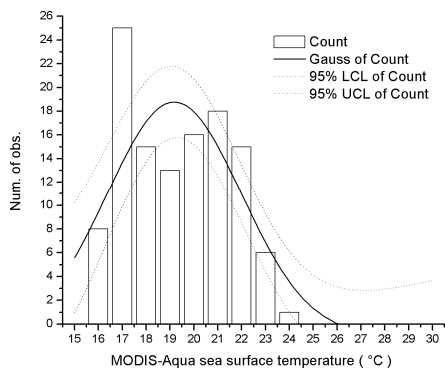
(A)



(B)

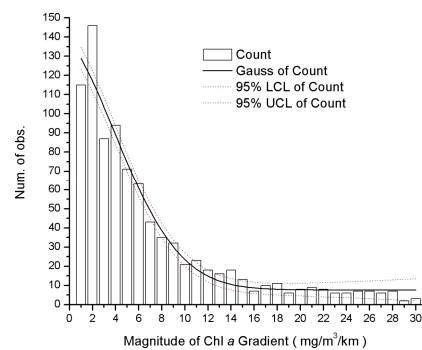
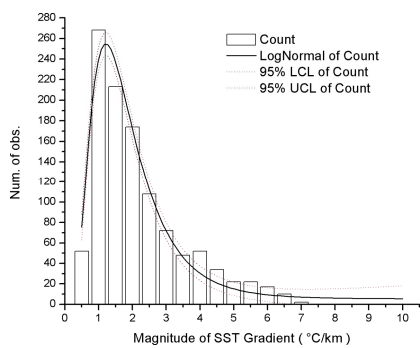


(C)

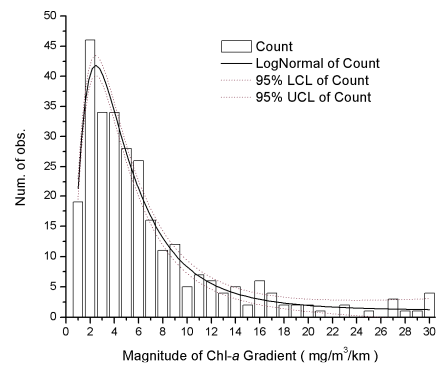
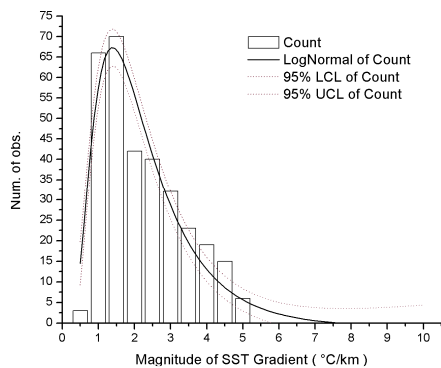


(D)

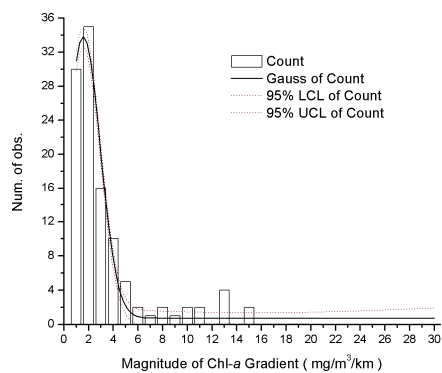
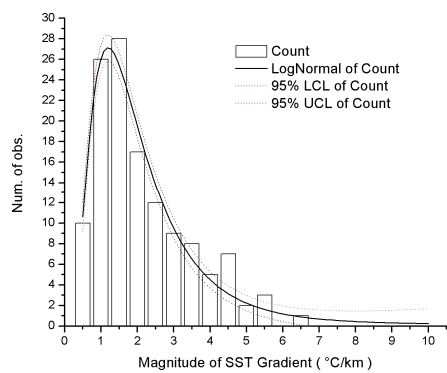
Figura 17. Distribuciones de frecuencia de la TSM y Chl-*a* para A) sardina Monterrey, B) sardina crinuda, C) macarela y D) anchoveta, para el periodo 2002-2007.



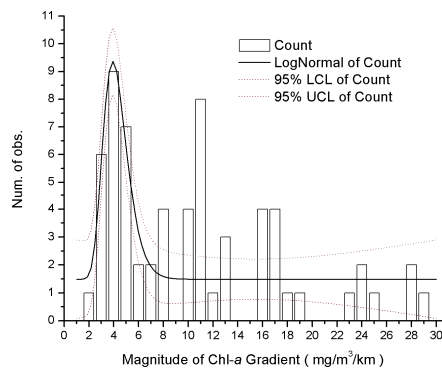
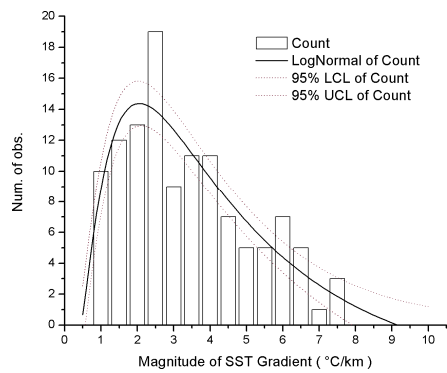
(A)



(B)



(C)



(D)

Figura 18. Distribuciones de frecuencia de los gradientes de TSM y gradientes de Chl-*a* para A) sardina Monterrey, B) sardina crinuda, C) macarela y D) anchoveta, para el periodo 2002-2007.

IV. DISCUSION DE RESULTADOS.

4.1. Imágenes de satélite.

4.1.1. Temperatura Superficial del Mar y Clorofila -a.

Las variaciones estacionales de la temperatura en el Golfo de California han sido abordadas por numerosos autores a escalas estacionales (Castro *et al.* 2000; Ripa y Marinone 1989) e interanuales (Ripa y Marinone 1989). Los valores promedios mensuales de TSM muestran una marcada estacionalidad (Anexo II), con una temperatura mínima en Diciembre-Enero y un calentamiento máximo en Agosto y Septiembre (Figura 8 y Tabla II), coincidiendo con el trabajo de Ripa y Marinone (1989) quienes reportan ciclos estacionales significativos en la temperatura del Golfo, con valores máximos en verano y mínimos en invierno. Utilizando imágenes de satélite, Hammann (1988) reporta que la TSM en Abril 7, 1980, estuvo en el rango de 16° a 19°C.

Las observaciones de los campos de clorofila -a extraídas de MODIS-Aqua durante el periodo analizado muestran bajas concentraciones de pigmentos fotosintéticos en los periodos de verano y otoño y altas en invierno y primavera (Figura 8). Los valores mínimos y de promedios mensuales se muestran en la Tabla III para la serie de tiempo de 2002 al 2005, como un ejemplo. Álvarez-Borrego y Lara-Lara (1991), reportan condiciones estacionales semejantes para el Golfo. A escala mensual, la distribución espacial de la concentración de clorofila -a muestra patrones en forma de giros (Figura 8), de manera similar a los reportados por Pegau (2002), quien utilizó imágenes de satélite de color del

océano SeaWIFS colectadas durante 1997 al 2001, detectando un patrón de giros anticiclónicos con altas concentraciones de clorofila-*a* y giros ciclónicos con bajas concentraciones de clorofila -*a* entre los giros anticiclónicos, los cuales no son bien apreciados utilizando imágenes de temperatura superficial del mar. La misma Figura 8, muestra además altas concentraciones en la costa oriental del Golfo con valores máximos en la región central de la costa (Isla Patos). Sin embargo, grandes anomalías en los valores de clorofila -*a* cerca de la costa, obtenidos mediante sensores remotos son reportadas por varios autores. Los mecanismos que generan esos remolinos son desconocidos; sin embargo algunos autores como Pegau (2002), postulan que dichos mecanismos pueden deberse a inestabilidades baroclínicas a lo largo de la costa, producidas por interacciones entre ondas atrapadas en la costa y corrientes locales producidas por el viento. Hammann *et al.* (1988), reporta para el Golfo, una concentración de pigmentos fotosintéticos, obtenidos mediante imágenes de satélite, que van del rango de aproximadamente 0.5 a 3.0 mg Cl/m³ y valores por encima de 6.0 mg Cl/m³ en regiones cercanas a la costa.

En el presente estudio, las imágenes analizadas provienen del satélite MODIS-Aqua, y comprenden el periodo de Julio de 2002 (inicio de los datos disponibles) a Agosto del 2005. Diversos trabajos posteriores incorporaran información proveniente de otros sensores, tales como el SeaWIFS, con el fin de extender la serie de tiempo de las imágenes. Si bien, se han desarrollado algoritmos empíricos y semi-analíticos para estimar la productividad primaria a partir de datos de satélite, de concentración de pigmentos fotosintéticos (Balch *et al.* 1989; Platt *et al.* 1995; Sathyendranath *et al.* 1995; NOAA 2002), estos valores difieren cuando se trata de comparar regiones cercanas a la costa de

diferentes plataformas; tal es el caso, por ejemplo, de SeaWiFS y MODIS-Aqua, cuyos valores varían alrededor del 15% en regiones oceánicas cercanas a la costa, por lo que no son directamente comparables. SeaWiFS utiliza el algoritmo OC4, el cual consiste en un polinomio de cuarto grado que relaciona las bandas de los 510nm, 555nm y 865nm, mientras que MODIS utiliza un polinomio similar de tercer grado (OC3) que relaciona las bandas 532nm, 551nm y 869nm (NOAA, 2002).

La temperatura y la concentración de pigmentos fotosintéticos son dos variables importantes para representar la climatología general de la superficie del océano (Hammann, 1988). Esta información climatológica puede ser relacionada con la distribución, abundancia y comportamiento biológico de las especies de pelágicos menores.

4.2. Análisis de la información pesquera.

4.2.1. *El método de regionalización de la actividad pesquera.*

Los mapas de densidad de lances y densidad de capturas pueden ser relacionados en la forma de un “Índice de Eficiencia de Lance” (IEL), el cual depende de la frecuencia (f), la captura total (CPUE) y la resolución espacial (A) de la siguiente manera:

$$IEL = f(f, CPUE, A) \quad (15)$$

Para este análisis fue utilizada una resolución espacial estándar de 4 km, correspondiente a la resolución de las imágenes MODIS-AQUA -GAC L-3, para su posterior análisis en el SIG basado en el modelo raster. Sin embargo, la información

pesquera puede incluir lances con poca captura (“no exitosa”) y alta frecuencia espacial y/o temporal. Por el contrario, también es posible encontrar lances con baja frecuencia espacio-temporal y alto valor en la captura (“exitosos”). Esto ultimo puede representar lances esporádicos, de prospección, etc. Luego entonces, ese IEL puede ser obtenido ponderando la captura relativa entre su frecuencia relativa de la forma:

$$\text{IEL} = \text{abundancia relativa} / \text{frecuencia relativa} \quad (16)$$

La anterior relación, la cual representa el promedio temporal, disminuye a medida que el número de lances “no exitosos” aumenta y viceversa. La Figura 19 muestra un ejemplo hipotético de la determinación del IEL para cada píxel de una matriz de 2x2 con una resolución de 4 km (MODIS-Aqua). Este ejemplo muestra que aunque el valor de IEL es el mismo en dos de los píxeles marcados con ambos círculos, el píxel (1,1) tiene una mayor cantidad de lances “no exitosos” que el píxel (2,2).

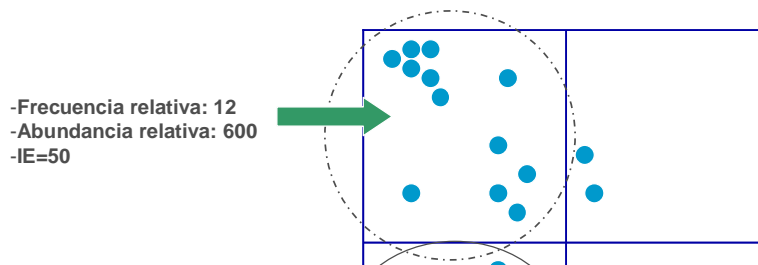


Figura 19. Índice de Eficiencia por Lance para una resolución espacial de 4 km.

4.2.2. Determinación de las regiones más densamente muestreadas en relación a la pesquería de pelágicos menores.

4.2.2.1. Distribución espacial de los IEL

Como se describió anteriormente, la determinación de un IEL evalúa la eficiencia temporal de un píxel determinado en relación con su frecuencia relativa de lances y a la abundancia relativa que caen en dicho píxel. Sin embargo, en el dominio espacial, altos IEL pueden localizarse espacialmente aislados y no representar grupos significativos. De igual manera, valores altos de IEL pueden encontrarse espacialmente cerca con valores bajos de IEL, afectando el peso de los valores vecinos. La vecindad de lances, es decir, su

distribución espacial también juega un papel importante. La Figura 20 muestra un ejemplo hipotético de valores de IEL, en el cual el caso extremo es un solo lance de alta abundancia, con un valor alto de IEL.

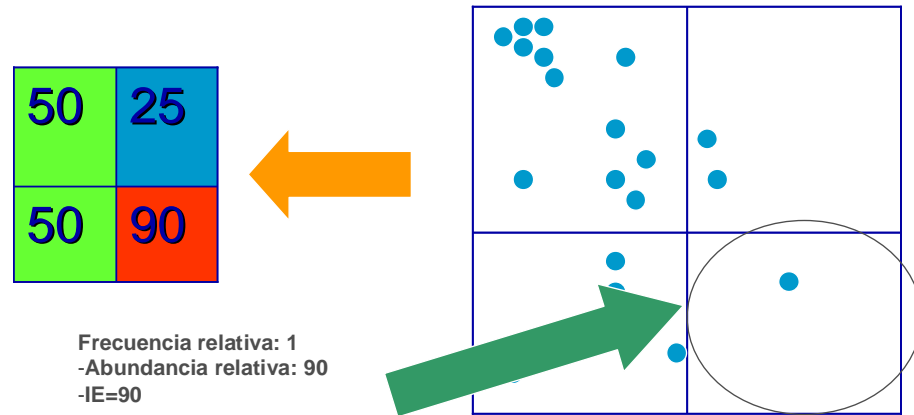


Figura 20. Representación hipotética de la distribución espacial de IEL. El ejemplo muestra un lance con un valor alto de abundancia relativa para un píxel en particular, dando un valor alto de IEL.

Es necesario mencionar que si bien, los valores de IEL incorporan la componente espacial y temporal de los lances y de las capturas, su valor depende de la escala espacial y temporal. La incorporación de un factor que represente las condiciones climatológicas (tales como anomalías de temperatura, clorofila, etc.) de la misma escala espacial y temporal, puede generar valores más representativos y ser empleados como una primera aproximación de las condiciones pesqueras de un área en particular en un tiempo determinado.

4.2.2.2. El uso de filtros espaciales.

En sensores remotos, la frecuencia espacial se define como el número de cambios en el valor de un píxel por unidad de distancia para cualquier celda en particular de una imagen. Si existen muy pocos cambios en los valores de brillo sobre un área dada, esta se refiere como un área de “baja frecuencia”. Por el contrario, si los valores cambian dramáticamente en distancias muy cortas, se denomina área de “alta frecuencia”. Lo anterior nos permite extraer información espacial de forma cuantitativa, observando los píxeles locales o vecinos más que un valor de píxel independiente (Jensen 1986).

La separación de varias componentes de frecuencia espacial de una imagen es llamada Análisis de Fourier (resultando en una “Trasformada de Fourier” de la imagen), con lo cual es posible discriminar ciertos grupos (o bandas) de frecuencias relativas a otros y recombinar las frecuencias espaciales para producir un realce de la imagen. Los algoritmos para llevar a cabo tal realce son llamados “filtros” debido a que suprimen ciertas frecuencias y permiten el paso de otras. Un filtro espacial lineal es un filtro para lo cual los valores de brillo ($V_{bi,j}$) en la posición i,j en la imagen de salida es una combinación de algún promedio pesado (combinación lineal) de valores de píxeles localizados en un patrón espacial particular alrededor de la localidad i,j en la imagen de entrada. A este proceso de evaluar los valores de píxeles pesados bajo cierto criterio de vecindad, es llamado convolución bi-dimensional (Rosenfeld y Kak 1976). El tamaño de la “mascara” de convolución o kernel (n) es usualmente 3×3 , 5×5 , 7×7 , 9×9 , etc. La Figura 21 muestra un ejemplo de un filtro promedio de 3×3 , el cual representa el promedio de esta convolución. Basado en lo anterior, en este trabajo se planteó un filtro espacial lineal de la mediana, el

cual puede ser utilizado para reducir el “ruido” en la matriz de distribución espacial de los IEL mediante la selección del valor central de 9 vecinos ordenados de manera ascendente. Este filtro es más eficiente cuanto mas grande es el kernel.

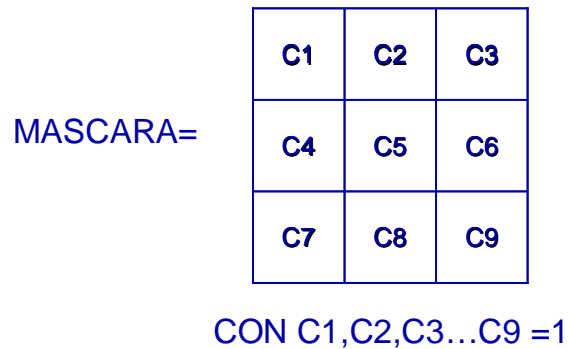


Figura 21. Representación esquemática de un filtro espacial con un kernel de 3x3.

4.2.2.3. Localización de los Centros de Actividad Pesquera para el GC.

La combinación de operadores difusos tales como la FAS y FAP, mostraron ser útiles para revelar centros de actividad pesquera. A pesar del hecho de que los datos de densidad de lances y densidad de capturas no son estadísticamente independientes, estos fueron utilizados en esta etapa y mostraron ser eficientes en la tarea de la regionalización de la actividad pesquera.

Los mapas de valores de FAP fueron bastante conservativos, mientras que el operador FAS produjo valores con un efecto “de incremento”. En particular, el FGO con un valor subjetivo de γ de 0.8 mostró servir como un compromiso entre la suma “aumentativa”

y el producto “diminutivo” en ambos, los valores combinados de la frecuencia relativa de lances y la abundancia relativa de capturas en cada celda en la forma de FAS y FAP.

En la actualidad, puede ser deseable el uso de una variedad de operadores difusos diferentes para un mismo problema, tal y como se muestra en el presente trabajo para la regionalización pesquera. En particular, el FGO fue utilizado para integrar ambas variables, como evidencia primaria en un conjunto de combinaciones, en el cual la incertidumbre de la evidencia es importante (Bonham-Carter 1996). El filtro espacial de la mediana aplicado a los datos de lances mostró funcionar bien para el objetivo de la regionalización. El proceso anterior presupone que esos lances fueron escasos en ciertas regiones y no agrupados, con pocos o ningún vecino, y quizás debido a un error posicional en la información del lance en la bitácora de pesca o a lances de pesca exploratoria. El WRI, basado en la extensión del área, y los valores promedios de FGO por región mostraron ser también de utilidad para seleccionar los centros de actividad pesquera mas representativos en el GC.

4.3. Análisis espacial de las especies de pelágicos menores en las regiones más densamente muestreadas.

La distribución espacial de la información pesquera nos ofrece una visión sinóptica acerca de los Centros de Actividad Pesquera en el GC, y su variabilidad en la distribución y abundancia de los recursos pesqueros, convirtiéndose en una herramienta útil que complementa los análisis tradicionales de series de tiempo de la pesquería de pelágicos

menores llevados a cabo en el GC. En el GC, la distribución espacial de las especies de pelágicos menores responde a una combinación de factores bióticos y abióticos. En el caso de la sardina Monterrey, Lluch-Belda *et al.* (1995), propuso la existencia de dos centros de distribución A) En el Golfo de California en torno a los Grandes Islas, y B) al oeste de Punta Eugenia de Baja California. De estos centros, las poblaciones de sardina se expanden geográficamente y se contraen para su alimentación o desove, siguiendo factores ambientales desconocidos. El mapa de dispersión de lances mostrado en la Figura 9 refuerzan la evidencia de que estas especies de pelágicos menores se distribuyen principalmente en torno a la Isla Tiburón, y la costa oeste del Golfo de California. En general, la sardina Monterrey se concentra en la parte central-norte del GC (Isla de Patos y el sur de la Isla Ángel de la Guarda), y la sardina japonesa en la costa del central-sur de Sonora y norte de Sinaloa (Nevárez-Martínez *et al.* 2003). El mismo mapa en la Figura 9 muestra un amplio rango de distribución espacial de estas especies en el Golfo de California, concentrándose también en los Grandes Islas, de conformidad con Lluch-Belda *et al.* (1995). Adicionalmente, grandes regiones se observan en Desemboque de Caborca, Isla Patos, Guaymas, El Tóbari, Mulegé y Santa Rosalía-. Las diferencias espaciales entre las estaciones en la parte superior del GC, y la parte central, podría estar en concordancia con el patrón de circulación termodinámica de la capa superior de las aguas del GC, lo que demuestra que estos remolinos o grandes giros se encuentran separados por esta barrera de las Grandes Islas (Beier 1997).

Entre los pequeños peces pelágicos, la abundancia relativa de una sola especie significa su posición dominante en el ecosistema y su capacidad para utilizar los recursos.

En algunos casos, diferentes especies pueden estar en competencia por el mismo nicho biológico, por lo que un aumento en la población de uno puede estar asociado con una disminución de la población de otro, como en el caso de la anchoveta y la sardina de América del Sur (Christy 1997). Para el caso de la sardina Monterrey, estos cambios en la población aparentemente están relacionados con la variabilidad ambiental (Nevárez-Martínez *et al.* 2003), mientras que el patrón espacial de la abundancia de otro competidor (por ejemplo, la anchoveta norteña) parece estar inversamente relacionada con la abundancia de la población de sardina Monterrey (Rodríguez-Sánchez *et al.* 2001). De acuerdo a la literatura existente para el GC, la sardina crinuda se localiza en la parte sur del GC, particularmente en los puertos de Guaymas y Yavaros, cuando la población de sardina Monterrey es escasa, tal y como ocurrió en el periodo 1990 a 1993 y en la temporada de pesca 1997-1998, ambos periodos caracterizados por la presencia de “El Niño” (Anónimo 2001).

Un análisis de correlación cruzada (Tabla X) entre las especies de las regiones seleccionadas, realizado en el presente trabajo, mostró una correlación positiva entre la sardina Monterrey y la macarela ($r=0.77$), de acuerdo con lo reportado por la literatura (ver: Christy 1997, Cury *et al.* 2000, Nevárez-Martínez 2003). Sin embargo, a pesar de que fue encontrada una correlación inversa entre la sardina Monterrey y la anchoveta norteña como ha sido reportado en estudios previos (ver Christy 1997, Cury *et al.* 2000), este no fue estadísticamente significativa, debido quizás a la corta longitud de la serie de tiempo de los datos de pesquería disponible. Adicionalmente fueron obtenidas correlaciones entre otras especies, las cuales mostraron una correlación positiva: anchoveta norteña y sardina Piña

($r=0.96$), sardina crinuda y sardina bocona ($r=0.88$), anchoveta norteña y sardina bocona ($r=0.81$), sardina crinuda y sardina Piña ($r=0.79$), y anchoveta norteña y sardina bocona ($r=0.76$). A pesar del hecho de que la serie de tiempo es corta, esta puede ser útil para propósitos de comparación. En las regiones seleccionadas, este comportamiento parece mostrarse de manera similar; la presencia de la sardina Monterrey parece estar relacionada con la presencia de la macarela, y a la ausencia o la baja presencia de anchoveta norteña, en concordancia con los resultados previamente reportados (Christy 1997, Cury *et al.* 2000, Nevárez-Martínez 2003).

Tabla X. Análisis de correlación cruzada para las especies de pelágicos menores encontradas en las regiones seleccionadas para el GC.

	E s p e c i e						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
I	1.00	0.21	0.18	0.33	0.74	0.13	0.03
II	0.21	1.00	0.88	0.55	-0.14	0.79	0.81
III	0.18	0.88	1.00	0.41	0.04	0.67	0.76
IV	0.33	0.55	0.41	1.00	0.02	0.61	0.62
V	0.74	-0.14	0.04	0.02	1.00	-0.11	-0.12
VI	0.13	0.79	0.67	0.61	-0.11	1.00	0.96
VII	0.03	0.81	0.76	0.62	-0.12	0.96	1.00

I= sardina Monterrey; II= sardina crinuda; III= sardina bocona; IV=sardina japonesa; V=macarela; VI= sardina Piña; VII= Anchoveta norteña.

Una comparación de las siete principales especies entre las regiones seleccionadas, mostró que la sardina Monterrey tuvo la mayor abundancia, seguida por la sardina crinuda (Figura 14). Dichas especies fueron localizadas en áreas con éxito tradicional en la pesca.

Más aun, la composición de las especies en las regiones mostró ser similar a la reportada en las estadísticas pesqueras de lances en el GC (Cisneros-Mata *et al.* 1995). En contraste, la variabilidad espacial de las especies en las regiones seleccionadas fueron diferentes a las reportadas en los análisis tradicionales de series de tiempo de capturas por puerto (por ejemplo, Cisneros-Mata *et al.* 1995, Nevárez-Martínez *et al.* 2001).

A pesar de el hecho de que la presente regionalización está insertada en la malla utilizada por Nevárez-Martínez *et al.* (2001) (Figura 22), sus regiones revelan patrones de pequeña escala. La Figura 22, también mostró una diferencia en la composición de especies entre las regiones dentro de una única zona estadística de pesca en las grandes regiones utilizadas por Nevárez-Martínez *et al.* (2001), (por ejemplo, las regiones 6 y 8 dentro del área estadística V y regiones localizadas en las áreas estadísticas III y IV). Por lo tanto, el presente método reconoce las diferencias espaciales de las especies por regiones, adicionales a los tradicionales análisis de series de tiempo.

Dado que la actividad pesquera en las regiones encontradas parece tener un patrón permanente en el tiempo, las condiciones ambientales que desencadenan esta también tienen que ser de naturaleza semi-permanente. En consecuencia, haciendo una comparación visual mediante la superposición de los centros de actividad pesquera revelados en forma de WRI con los patrones de circulación de larga escala en el Golfo documentados por Pegau *et al.* (2002) (Figura 23), y las regiones de alta productividad primaria propuestas por Lluch-Belda y Arias-Aréchiga (2000) (Figura 23), sugieren la hipótesis de que la distribución espacial de los centros de actividad pesquera revelados, la composición espacial de especies, y la variabilidad espacial de estas podría estar controlada por esos

patrones cuasi-estacionarios y topográficamente atrapados en el GC. También proponemos la hipótesis de que las espirales de estos remolinos o grandes giros crean filamentos de alta concentración de clorofila que quedan atrapados en grandes regiones a lo largo de la costa en el GC, contribuyendo de manera adicional a los bien conocidos eventos de surgencia, los cuales se ha reportado como eventos de corto periodo.

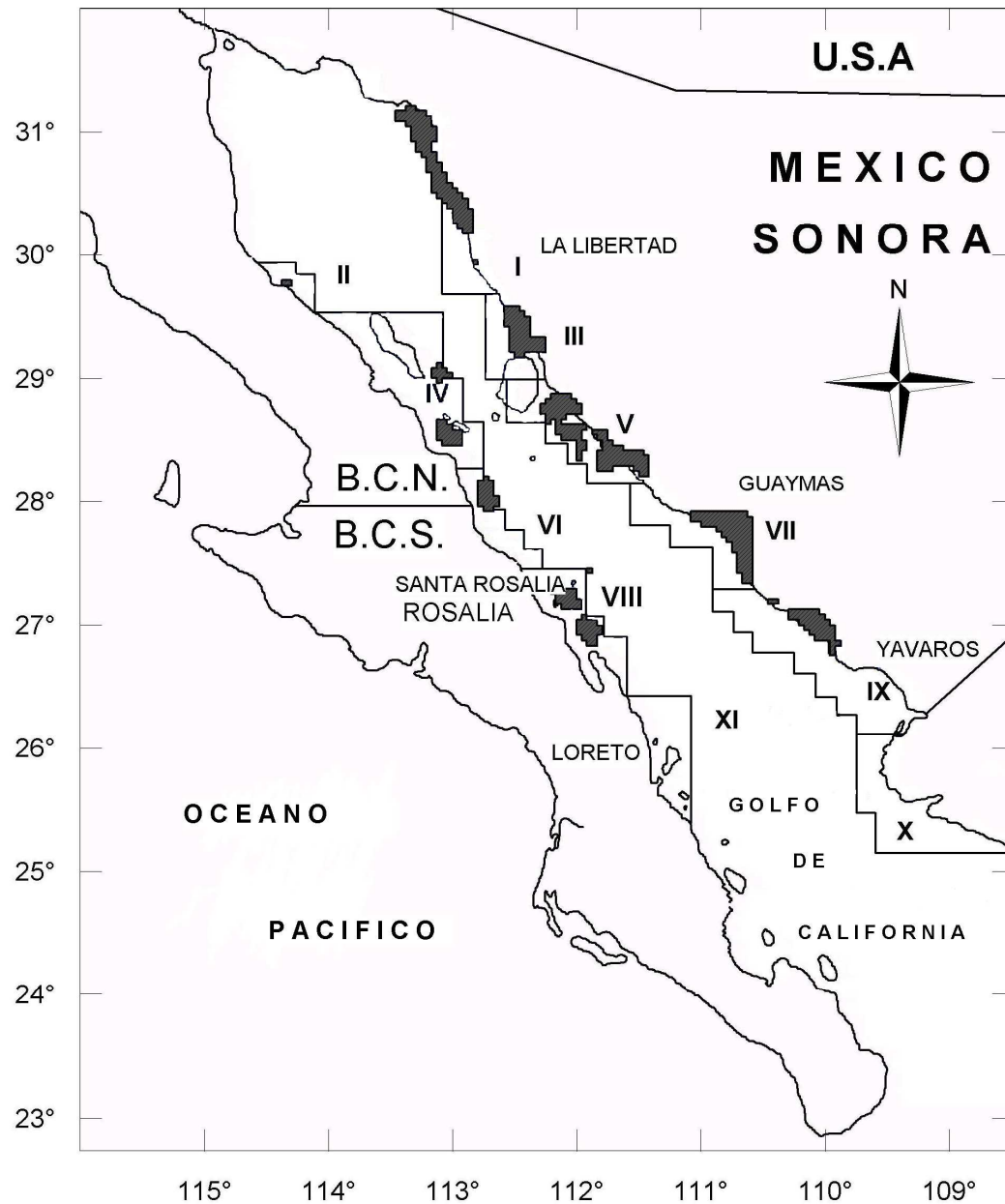


Figura 22. Sobreposición de las regiones pesqueras reveladas sobre la malla de zonas estadísticas de pesca del INP. Las regiones parecen diferenciarse muy bien con respecto a cada área de pesca, principalmente por las regiones III y IV.

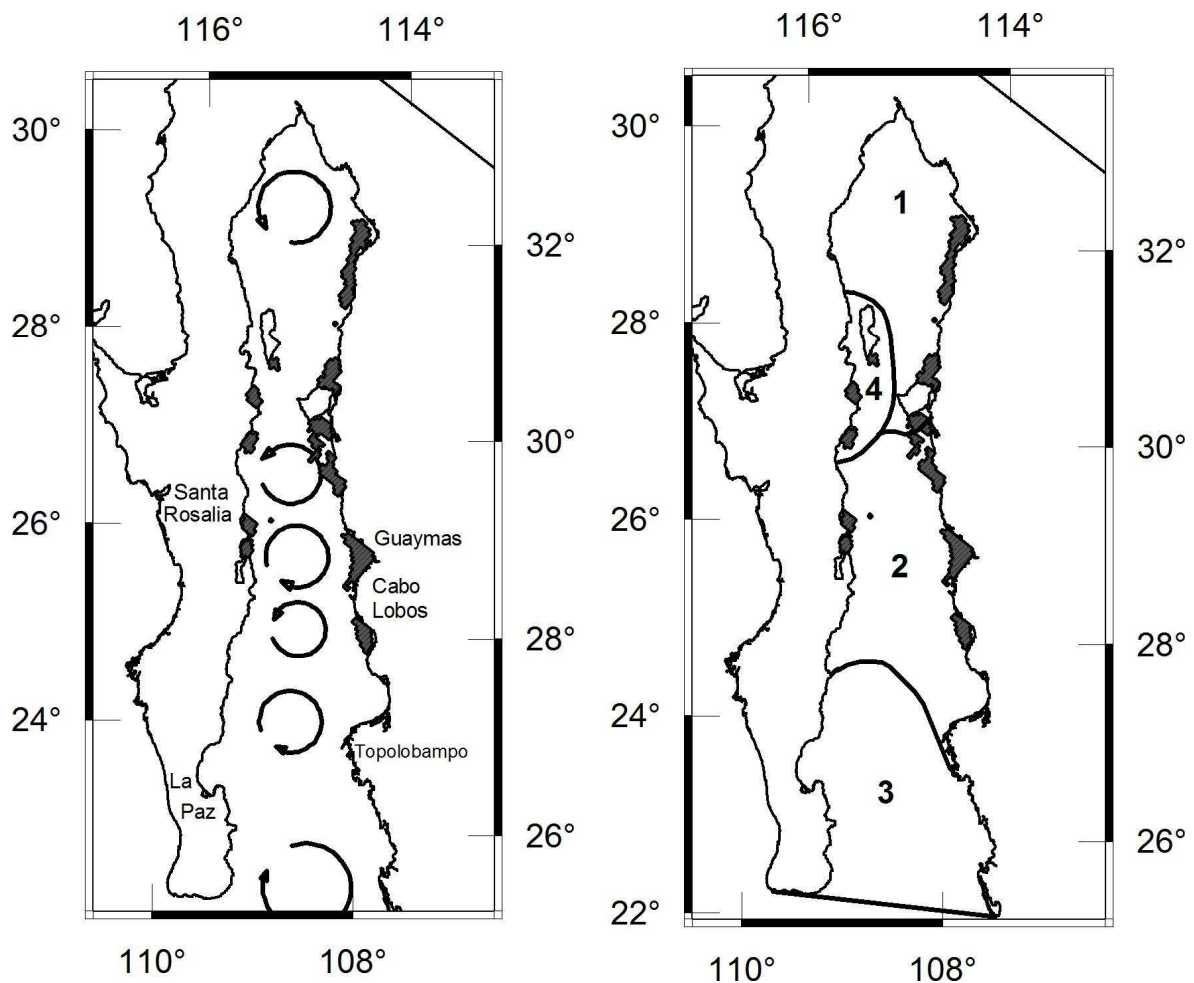


Figura 23. La sobreposición de las regiones de actividad pesquera con: A) patrones de circulación en la forma de giros (Modificado de Pegau *et al.* 2002), y B) Regionalización basada en la productividad primaria en el GC (Modificado de Lluch-Belda y Arias-Aréchiga 2000).

En este estudio, se muestra un método para el análisis de datos espaciales en el SIG para revelar regiones pesqueras de acuerdo con los patrones espaciales de la información de lances y capturas. En el proceso de regionalización, el uso combinado de los operadores de lógica difusa en la forma de FAP, FAS y FGO, los cuales utilizaron información de densidad de lances y densidad de capturas, mostró ser eficaz en la reducción de la

dimensionalidad del problema a una sola dimensión, representada por los valores del WRI. Estos valores de WRI mostraron regiones significativas que corresponden con las tradicionales zonas de pesca. Nosotros sugerimos que en las próximas décadas el manejo de las pesquerías tendrá que hacer hincapié en los estudios sobre las características espaciales de estas regiones pesqueras con el fin de preservar las actividades de la pesca comercial sobre la base de su sustentabilidad. Esas regiones reveladas pueden ser utilizadas como indicador del “estado de salud” de la pesquería en el golfo, y ser utilizadas para relacionarlas con las variables ambientales (por ejemplo, TSM y Chl-*a*), las cuales pueden ser útiles para explicar esta variabilidad espacial en la abundancia de las especies de pelágicos menores en el GC. Tal y como ha sido señalado por Pauly (1998), Pauly *et al.* (1998, 2003) y Samb y Pauly (2000).

También se encontró que el método actual es capaz de detectar la variabilidad espacial en la composición relativa de las especies de pelágicos menores entre las regiones, lo cual no ha sido reportado anteriormente para el GC. Las regiones seleccionadas situadas en la parte superior de la GC parece estar agrupadas, basadas en esta composición de especies, y se agrupan análogamente en las regiones situadas en la parte central del GC.

Aunque el número de registros de lances de pesca en el área de estudio provienen sólo de una empresa pesquera, este trabajo intenta proporcionar nuevos conocimientos acerca del patrón de distribución espacial de las especies de pelágicos menores en el GC y puede ser mejorado mediante la adición de nuevos registros en la base de datos espacial de la pesquería.

Los resultados aquí mostrados requieren de un análisis mas profundo en relación con la distribución espacio-temporal de las especies de pelágicos menores y las variables oceanográficas. Dicha correlación será abordada en la los siguientes apartados de esta tesis, intentando encontrar las preferencias de cada una de las especies de pelágicos en relación con la TSM y la concentración de clorofila $-a$, y su causalidad, en la biología y ecología misma de cada una de las especies, esto es, aspectos como requerimientos fisiológicos, reproductivos, alimenticios, ecológicos, entre otros, deberán ser abordados en conjunto con especialistas del tema, para tratar de explicar dicha variabilidad.

4.4. Relación ambiente-recurso.

4.4.1. La relación del medioambiente con la pesquería de pelágicos menores.

El análisis de distribución de frecuencias de datos de la pesquería nos proporciona una visión sinóptica acerca de la pesquería y su relación con las variables ambientales tales como TSM y Chl- a , con propósitos de manejo y para las estrategias de pesca. Es por ello que este análisis constituye una herramienta adicional que complementa los análisis de series de tiempo tradicionales. En el GC, la distribución de las especies de pelágicos menores responde a una combinación de factores bióticos y abióticos. Para el caso particular de la sardina Monterrey, Lluch-Belda *et al.* (1995), propuso la existencia de dos centros de distribución: A) En el Golfo de California alrededor de las Grandes Islas, y B) En Punta Eugenia localizada al oeste de Baja California. Desde esos centros, las poblaciones de sardina se expanden y contraen geográficamente para su alimentación y

desove, siguiendo factores ambientales desconocidos. Generalmente la sardina Monterrey se concentra en la parte central-norte del GC (Isla Patos y sur de la Isla Ángel de La Guarda), mientras que la sardina crinuda se localiza principalmente en la parte centro-sur de Sonora y norte de Sinaloa (Nevárez-Martínez *et al.* 2003). El mapa de la Figura 9 muestra una amplia distribución espacial de las especies de pelágicos menores en el GC, mostrando también altas concentraciones alrededor de las Grandes Islas, como ha sido señalado por Lluch-Belda *et al.* (1995).

Analizando la serie de tiempo de los datos de la pesquería para el periodo 2002 al 2007 (Figura 15), la información sugiere que la naturaleza altamente estacional de la pesquería, está asociada con los cambios estacionales de la temperatura y clorofila. Una estructura de datos normalizada de la Figura 15 en la forma de anomalías de CPUE contra las composiciones mensuales promedio de TSM y Chl-*a* (Figura 24) refuerza la evidencia de esa sincronía y patrones alternantes de la pesquería y los parámetros ambientales, y se ve que afecta la presencia de algunas especies tales como la anchoveta, la cual se incrementa cuando la anomalía de TSM es negativa y la anomalía de Chl-*a* es positiva. A pesar del hecho de que la mayoría de las capturas son realizadas al final de la primavera (Mayo) los peces son más abundantes durante los meses fríos del año, especialmente en invierno (Enero-Marzo). Las especies de pelágicos menores se encuentran presentes durante parte del verano, disminuyendo en abundancia hacia finales de Agosto y Septiembre. A pesar del hecho de que la CPUE estacional presenta una tendencia común a lo largo de la serie de tiempo, existen fluctuaciones en la temporada de pesca de año a año. Esas fluctuaciones no fueron analizadas en el presente estudio.

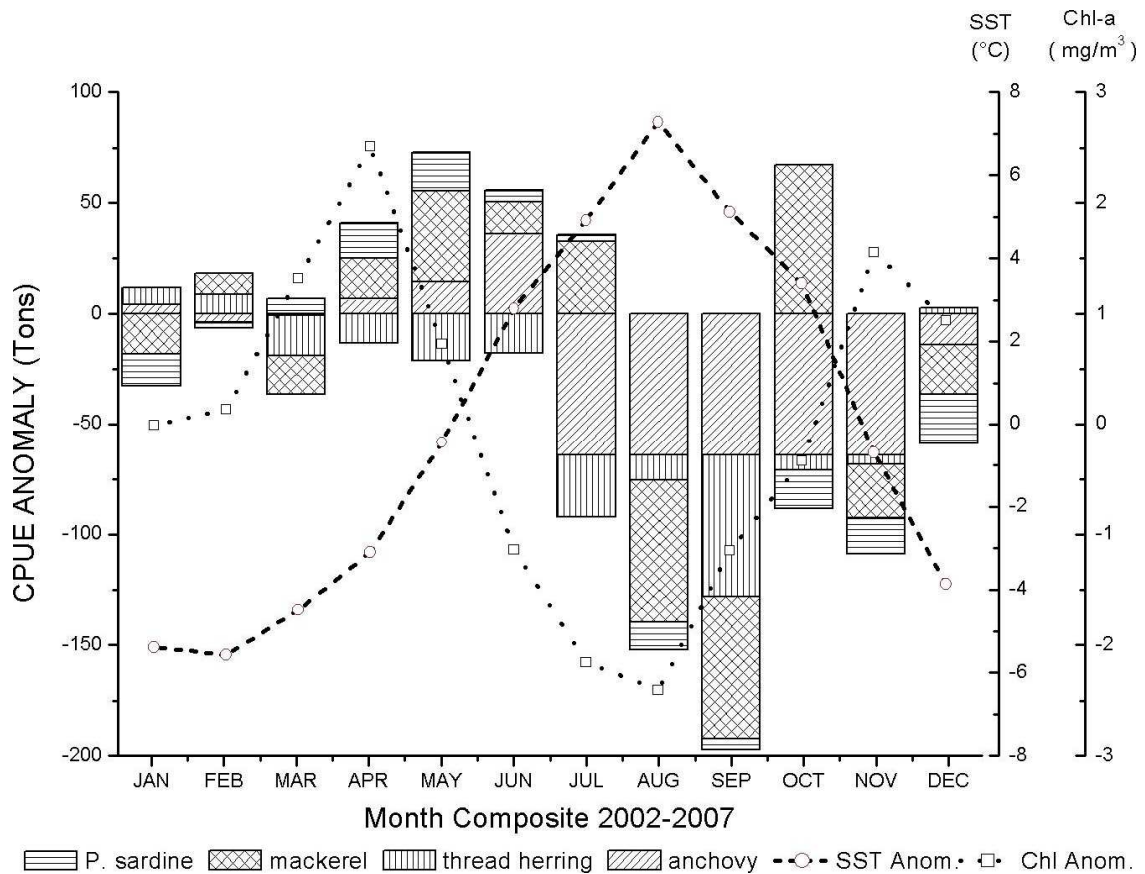


Figura 24. Valores normalizados de composiciones promedio mensuales de captura y TSM proveniente de sensores remotos durante 2002-2007.

Utilizando conocimiento *a-priori* en la Figura 15, en términos del éxito de pesca en relación con la presencia de una cierta especie de pelágico menor, en particular para los diferentes meses de la temporada de pesca. En Marzo y Abril, la probabilidad de obtener buenos rendimientos para la especie objetivo (sardina Monterrey) es relativamente mayor. En los meses templados (Julio a Septiembre) la probabilidad es baja. La incorporación de esta información de naturaleza temporal puede proporcionarnos una visión acerca de la presencia/ausencia de cierta especie en relación a las características del ambiente.

En la Figura 16, la cual es utilizada como un ejemplo, la distribución espacial de las condiciones oceanográficas semanales muestra una apreciable variación. La diferencia más notable se localizó en la zona central norte del GC, con los valores más bajos de TSM y los más altos de Chl-*a*. La TSM fue mucho más fría en las Grandes Islas y el canal de “Ballenas-Salsipuedes” (Isla Ángel de la Guarda en la Figura 9). Lo anterior sugiere que las temperaturas más frías en el área presentan condiciones desfavorables para las especies de sardina Monterrey y macarela. La distribución de la Chl-*a* en la Figura 16 también sugiere que los valores mas altos de enriquecimiento de nutrientes en aguas someras se encuentran cercanos a la costa. Estudios previos han documentado la productividad de esas áreas, en donde los procesos oceanográficos tales como el estrés del viento causan el enriquecimiento de nutrientes de las aguas superficiales (Santamaría-del-Ángel *et al.* 1994; Lluch-Belda *et al.* 1995; Cury *et al.* 2000; Bacum y Broad 2003). El enriquecimiento de nutrientes estimula la producción de fitoplancton, el que a su vez causa un crecimiento en el zooplancton, proporcionando zonas adecuadas para la alimentación de los peces. Es probable que las especies de pelágicos menores seleccionen esas áreas debido a las altas concentraciones de alimento asociados con esas aguas productivas, de acuerdo con Brown *et al.* (2006), y Fréon *et al.* (2005). Por otro lado, las temperaturas más frías pueden ser un indicativo de procesos de enriquecimiento de nutrientes causadas por los vientos, surgencias y escorrentías, los cuales están asociadas con condiciones favorables para los peces pelágicos menores. Basados en estas observaciones, la misma área en el 2004 mostró un alto potencial para la presencia de sardina Monterrey y la anchoveta norteña.

Los mapas gradientes (Figura 18), derivados de las componentes espaciales (diferencias horizontales y verticales de píxeles vecinos) mostraron ventaja con respecto a la información primaria de los parámetros TSM y Chl-*a* (Figura 17). En todas las funciones de distribución de frecuencias, los valores de gradiente fueron altamente significativos y la variable más importante. Las relaciones entre la magnitud del gradiente y la presencia de cierta especie de pelágicos fueron generalmente significativas, con un fuerte efecto negativo hacia los gradientes más altos, especialmente para la macarela, en relación a los gradientes de Chl-*a* (Figura 18). La misma Figura 18 muestra una preferencia inconsistente en el gradiente de Chl-*a* y un largo rango en el gradiente de TSM. La Chl-*a* fue generalmente la segunda variable más importante. Las relaciones entre Chl-*a* y la presencia de la mayoría de las especies fueron generalmente altas, con una considerable incertidumbre a valores altos de Chl-*a* debido al bajo número de datos (Figura 17). La TSM fue en general la variable menos importante. Las relaciones entre TSM y presencia de la mayoría de estas especies mostraron una considerable variación, especialmente para la macarela, la cual mostró el rango más amplio y la mayor incertidumbre en las preferencias (Figura 17). Sin embargo, la Figura 17 y Tabla VI muestran que la macarela tuvo una preferencia por aguas cálidas, más que el resto de las especies (25.0 – 29.0 °C).

4.4.2. *Las preferencias ambientales de las especies de pelágicos menores.*

Las relaciones entre las especies de pelágicos menores (por ejemplo, sardina Monterrey) y la presencia de TSM e índice de surgencia en el GC han sido investigadas por varios autores (Lluch-Cota 2000; Nevárez-Martínez *et al.* 2003). Las relaciones entre estas

especies y TSM fueron generalmente débiles y poco significativas en comparación con el parámetro Chl-*a*. Lo anterior sugiere que la Chl-*a* es un indicador de las condiciones favorables para estas especies. La Chl-*a* es una medida de la productividad instantánea de fitoplancton en aguas superficiales, de allí que altas concentraciones son más probables de estar asociadas con zonas altamente productivas para la alimentación para los peces planctívoros tales como los peces pelágicos menores. La TSM parece estar asociada en menor grado con estas especies que la clorofila. Sin embargo, en el GC un retardo de tiempo de 1 – 2 semanas puede producir fuertes relaciones con la abundancia de peces (Bacum y Broad 2003). Los eventos de enriquecimiento indicados por altas concentraciones de Chl-*a* y bajas de TSM pueden estar más asociados con la presencia de ciertas especies de pelágicos menores después de que cierto tiempo suficiente ha transcurrido para ambos, la elevación de la abundancia de zooplancton y la presencia de peces pelágicos en la zona.

La identificación de las preferencias a los parámetros de los peces pelágicos presenta diferentes retos a ser considerados: A) La naturaleza espacial de los datos de la pesquería y de los datos de sensores remotos los cuales no fueron tomados en cuenta en el presente estudio, en relación con la resolución espacial de la malla utilizada y la incertidumbre en los datos de sensores remotos. Estos últimos no fueron validados en el presente trabajo. El análisis de preferencias presentado en este estudio no predicen con exactitud las áreas en donde los peces podrían estar presentes. En su lugar, estos actúan como herramientas para identificar áreas en donde las condiciones ambientales son adecuadas o no adecuadas para la presencia de los peces. B) Las condiciones ambientales

las cuales han sido mostradas que influyen su distribución son espacial y temporalmente variables y la longitud de la serie de tiempo de los datos de la pesquería deberían de ser considerados, de allí que los rangos de preferencia correspondientes mostraran similar variabilidad en su distribución. Entre esta variabilidad ambiental, las grandes variaciones interanuales tales como la Oscilación Decadal del Pacífico (ENSO) reflejan cambios temporales sustanciales en la distribución y abundancia de las especies de pelágicos menores en el GC (Lluch Belda *et al.* 1995). Lo anterior tiene considerables implicaciones pesqueras lo cual altera la capturabilidad de las especies y su migración o reemplazo por otras especies oportunistas y bien adaptadas tales como la macarela (Fréon *et al.* 2005). Entre las especies de pelágicos menores, la abundancia relativa de una especie en particular significa su dominancia en el ecosistema y su habilidad para utilizar los recursos. En algunos casos, diferentes especies pueden estar en competencia por el mismo nicho ecológico, de manera que un incremento en la población de una puede estar asociada con la disminución de la población de otra, como en el caso de la anchoveta y la sardina de América del Sur (Christy 1997). Se ha observado que los cambios en las poblaciones de sardina parecen estar relacionadas con la variabilidad ambiental (Nevárez-Martínez *et al.* 2003), mientras que los patrones espaciales de la abundancia para otro competidor (como ejemplo, la anchoveta norteña) parece estar inversamente relacionado a la abundancia en la población de sardina Monterrey (Rodríguez-Sánchez *et al.* 2002). De acuerdo con la literatura, la sardina crinuda es relativamente más frecuente en la zona sur del GC, particularmente en los puertos de Guaymas y Yavaros, principalmente cuando la sardina Monterrey escasea, tal y como ocurrió en el periodo 1990 a 1993 y en la temporada de

pesca 1997-1998, ambos periodos caracterizados por la presencia de “El Niño” (Anónimo 2001). La aproximación estadística presentada en este estudio no refleja tales cambios en la distribución de estas especies, y C) La capturabilidad del pez es particularmente importante en el GC debido a que la industria pesquera esta regulada por el esfuerzo y restricciones en las artes de pesca, sin un sistema de cuotas. La pesquería no necesita veda una vez que cierta longitud del pez es alcanzada. Por lo tanto un incremento en la capturabilidad de un stock causará una variación en la relación ambiente-recurso. El incremento en el número de lances comerciales puede darnos una falsa impresión de que los peces son más abundantes (basado en el número de observaciones o lances), cuando estos solamente se encuentran mas disponibles a la pesca. En una escala de corto tiempo, la variabilidad ambiental puede cambiar la distribución de los peces con las consecuentes implicaciones pesqueras (Fréon *et al.* 2005). Las rápidas migraciones horizontales y verticales pueden ser inducidas, alterando la distribución de los peces y por lo tanto su disponibilidad a la pesca. Mientras muchos de esos cambios en la distribución pueden ser relativamente locales y temporales, se ha observado que persisten por varios meses y en grandes áreas, influyendo enormemente en la explotación de las poblaciones (Bertrand *et al.* 2004).

En el presente estudio, el análisis de frecuencia mostró las preferencias de las especies de pelágicos menores ante la presencia de cierto parámetro oceanográfico. Las predicciones pueden ser hechas de acuerdo con las condiciones ambientales en un momento determinado, basado en la modelación de estas relaciones entre las condiciones ambientales y la presencia de peces en forma de mapas en un entorno SIG. En este estudio, estas relaciones no han sido definidas en la forma de hábitat adecuado para cierta especie

en particular, basada en la probabilidad de la presencia de una especie en particular por encima de un determinado valor umbral. Las relaciones entre los factores ambientales y los pequeños peces pelágicos es probable que sean un resultado de las diferencias en la composición de las especies de la comunidad de pelágicos. Por lo tanto, estas relaciones varían en función de las especies, independiente de su abundancia y su análisis debe realizarse basándose en un análisis individual. Por lo tanto, el agrupar a todos los peces juntos es probable que algunas relaciones sean encubiertas, en particular la de aquellas especies menos abundantes.

V. CONCLUSIONES.

El modelo de Lógica Difusa, basado en el “grado-de-membresía” o pertenencia a un conjunto difuso, mostró adaptarse bien para el análisis de datos de la pesquería de pelágicos menores considerados en el presente trabajo. El modelo trabaja con celdas individuales de igual área en las cuales cada celda es considerada como condicionalmente independientes dada la membresía estimada, lo que simplifica el análisis de los datos. En este caso, las dos variables de entrada, densidad de lances y densidad de capturas, estimadas a partir de los datos, mostraron ser valiosos instrumentos de interpretación de la actividad pesquera. Ambas variables manejadas simultáneamente en el modelo construido, proveen una aproximación robusta hacia la caracterización de la pesquería en el GC.

Las regiones pesqueras reveladas mediante esta técnica, con su respectivo orden jerárquico, muestra resultados razonables que corresponden con las zonas tradicionales de pesca. La comparación con otros trabajos sobre zonas de productividad primaria y Centros de Actividad Biológica, es también alentadora, dada la correspondencia significativa entre ambos resultados con diferentes hipótesis y modelos.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo, no deben de ser considerados como el resultado final del proceso de análisis de datos de la pesquería. La caracterización de la estructura oceanográfica en el GC y otros modelos desarrollados para el área de estudio, podrían proporcionar un medio para modelar o predecir el comportamiento de dicha pesquería en un lugar determinado mediante el acoplamiento de modelos climatológicos y de circulación, entre otros. La ventaja del presente enfoque es la de reducir la

dimensionalidad del problema a un simple indicador en la forma de un Índice de Región Pesada, en el cual las variables de entrada, las cuales poseen un espacio discreto, categórico y arbitrario, pueden ser transformadas en una escala mas manejable de espacio de valores ordenados continuos en el rango $[0, 1]$. Este trabajo ilustra las aplicaciones del modelo de Lógica Difusa y de grado de pertenencia y demuestra un enfoque viable para el análisis de datos de la pesquería de pelágicos menores en el GC. El método para regionalizar la actividad pesquera empleado aquí, contribuye a los análisis tradicionales de series de tiempo y sobre biología pesquera realizados tradicionalmente en el GC, proporcionando una alternativa de representación y análisis de datos de la pesquería, basado en sus atributos espaciales.

Aunque una técnica de agrupación y/o filtrado puede ser más adecuada que otra para un determinado conjunto de datos en el análisis exploratorio, una amplitud de estas técnicas disponibles aumenta la posibilidad de descubrir relaciones útiles en los datos. En este sentido, los algoritmos de Lógica Difusa y de filtro de la Mediana, pueden trabajar en conjunción con otras técnicas de agrupación y filtrado de datos espaciales. Las diferencias en la aproximación metodológica que el presente trabajo hace en relación con las técnicas existentes del análisis de datos pesqueros, hacen de este modelo una herramienta única en la gama de métodos utilizados actualmente por los investigadores y la industria pesquera, a la vez que ofrece un gran potencial en el análisis de la pesquería de pelágicos y su variabilidad temporal en un marco ecosistémico.

Finalmente, en la última fase del presente trabajo, se exploraron las asociaciones entre las especies de pelágicos menores y los campos de temperatura superficial del mar y

clorofila-a provenientes de sensores remotos para el área de estudio. Para la mayoría de las especies estudiadas aquí, la clorofila mostró ser un mejor indicador para describir dichas relaciones ambiente-recurso, sobre el indicador TSM. Más aun, los resultantes de los gradientes describieron más eficientemente esas preferencias que los datos primarios (TSM y Chl-*a*). A la luz de los datos analizados, se observa que las especies de pelágicos menores prefieren aguas más oceánicas, con valores relativamente bajos de gradientes más que aguas con alta productividad (florecimientos algales o eventos instantáneos de surgencias los cuales producen valores de alta productividad primaria). De entre los pelágicos menores estudiados, la sardina Monterrey mostró ser la especie ideal para describir tales asociaciones, la cual fue capturada en un amplio rango de TSM (14.5-31.6 °C), y su rango de preferencia fluctuó de los 17.0 a los 22.0 °C. El rango de clorofila para esta especie fue de 0.57-10.7 mg/m³, pero su rango de preferencia varió de los 1.0 a los 3.0 mg/m³. La anchoveta mostró tener un comportamiento anómalo respecto a las preferencias en TSM y Chl-*a*, y de los mapas de gradiente.

A pesar del hecho de que el número de registros de lances de pesca en el área provienen de una sola compañía pesquera, y de que la serie de tiempo de datos es corta, el presente estudio intenta proporcionar nuevas luces en el entendimiento de los patrones de distribución espacial y variabilidad respecto al clima oceánico de las especies de pelágicos menores en el GC, y puede ser mejorado mediante la adición de mayor información a la base de datos pesquera.

VIII. REFERENCIAS.

- Álvarez-Borrego, S. 1983. Gulf of California. *In* Estuaries and enclosed seas, B. H. Ketchurn, ed. Amsterdam: Elsevier Press, pp. 427-449.
- Álvarez-Borrego, S. and Lara-Lara, J.R. 1991. The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. *In*: J.P. Dauphin and B.R. Simoneit (eds.), *The Gulf of California and Peninsular Province of the Californias*. Mem. Am. Assoc. Petroleum Geologists, 47: 555-567.
- Amidei, R., Ed. 1983. Applications of remote sensing to fisheries and coastal resources. Report of a California Sea Grant workshop. Report No. T-CSGCP-012
- Andrade, H.A. and García, C.A.E. 1999. Skipjack tuna fishery in relation to sea surface temperature off the southern Brazilian coast. *Fisheries Oceanography*, 8(4):245-254.
- Anónimo. 1993. International Workshop on Application of Satellite Remote Sensing for Identifying and Forecasting Potential Fishing Zones in Developing Countries. Department of Space, National Remote Sensing Agency (NRSA), Hyderabad and Costed/ICSU (Costed/ICSU), Madras, Hyderabad, India. 7-11 Dec. 1993.
- Anónimo. 2000. Diagnóstico de la pesquería de pelágicos menores del Golfo de California de 1996/97 y 1997/98. Informe Técnico del INP.
- Anónimo. 2001. Pelágicos menores. Sustentabilidad y Pesca responsable en México. Evaluación y Manejo, 1997-1998 INP, SEMARNAP, México DF, México.
- Anónimo. 2002. Report of the First Session of the Advisory Committee on Fishery Research. *FAO Fish. Rep.* 571: 2-34.
- Anónimo. 2003. Anuario Estadístico de Pesca 2001. CONAPESCA, SAGARPA
- Arcos, D. F., L. A. Cubillos & S. Núñez. 2001. The jack mackerel fishery and El Niño effects off Chile. *En*: McKinnell, S. M., R. D. Brodeur, K. Hanawa, A. B. Hollowed, J. J. Polovina & C. I. Zhang (eds.). *Pacific climate variability and marine ecosystem impacts from the tropics to the Arctic*. *Progress in Oceanography*, 49: 597-617.
- Badan-Dangon, A., C.J. Koblinsky & T. Baumgartner. 1985. Spring and summer in the Gulf of California, observations of surface thermal patterns. *Oceanol. Acta* 8: 13-22.

- Bakun, A. & K. Broad. 2003. Environmental 'loopholes' and fish population dynamics: comparative pattern recognition with focus on El Nino effects in the Pacific. *Fish. Oceanogr.* 12: 458-473.
- Balch, W. M., Abbott, M.R. and Eppley, R.W. 1989. Remote sensing of primary production. I. A comparison of empirical and semi-analytical algorithms. *Deep-Sea Res., Part A*, 36:281-295.
- Barbieri, M.A., E. Yáñez, L. Aríz y A. González. 1990. La pesquería del pez espada: tendencias y perspectivas. *In: Perspectivas de la Actividad Pesquera en Chile*. M.A. Barbieri (Ed.), Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso, Chile: 195-214.
- Beier, E. 1997. A numerical investigation of the annual variability in the Gulf of California. *J. Phys. Ocean* 27: 615-632.
- Bertrand, A., M. Segura, M. Gutiérrez & L. Vásquez. 2004. From small-scale habitat loopholes to decadal cycles: a habitat-based hypothesis explaining fluctuation in pelagic fish populations off Peru. *Fish Fisheries* 5: 296-316.
- Bonham-Carter, G.F. 1996. Geographic Information Systems for geoscientists. Modelling with GIS. Pergamon, Elsevier Science Ltd., Computer Methods in the Geosciences, Tarrytown, New York, USA.
- Brown, A.M., J.M. Bellido, V.D. Valavanis, and A. Giráldez. Investigating the distribution of small pelagic fish in Spanish Mediterranean waters using environmental modelling and essential fish habitat mapping. ICES CM 2006/O:13.
- Caddy, J.F. and F. Carocci. 1999. The spatial allocation of fishing intensity by port-based inshore fleets: a GIS application. *ICES Journal of Marine Science*, 56: 388-403.
- Castillo, J., Barbieri, M.A. and Gonzalez, A. 1996. Relationships between sea surface temperature, salinity, and pelagic fish distribution off northern Chile. *ICES Journal of Marine Science*, 53:139-146.
- Christy, F.T. 1997. The Development and Management of Marine Fisheries in Latin America and the Caribbean. Inter-American Development Bank, Social Programs and Sustainable Development Department, Environment Division, Policy Research Paper, Washington D.C., USA.
- Chua, T.E. 1986. Aquaculture production in Asia: a reassessment. *NAGA the ICLARM Quarterly* 9: 13-15.

- Cisneros-Mata, M.A. 1987. Biología reproductiva de sardina Monterrey en la costa occidental de Baja California Sur y costa de Sonora, En: Ramírez, M. (ed.). Simposium sobre Investigación en Biología y Oceanografía Pesquera en México. La Paz, B. C. S. Abril 1987: 47-53.
- Cisneros-Mata, M. A., M. O. Nevárez-Martínez, G. Montemayor-López, J.P. Santos-Molina y R. Morales-Azpeitia. 1991. Pesquería de sardina en el Golfo de California 1988/89 -1989/90. SEPESCA, Inst. Nal. de la Pesca. CRIP Guaymas, Sonora. 80 p.
- Cisneros-Mata, M.A., M.O. Nevárez-Martínez & M.G. Hammann. 1995. The rise and fall of the Pacific sardine, *Sardinops sagax caeruleus* Girard, in the Gulf of California, Mexico. CalCOFI Rep 36. 136-143
- Cisneros-Mata, M.A., G. Montemayor López & M.O. Nevárez-Martínez. 1996^a. Modeling deterministic effects of age structure, density dependence, environmental forcing and fishing on the population dynamics of *Sardinops sagax caeruleus* in the Gulf of California. CalCOFI Rep. 37:201-208
- Cisneros-Mata, M.A., T. Brey, T. Jarre-Teichmann, W. García-Franco y G. Montemayor-López. 1996b. Redes de neuronas artificiales para el pronóstico de biomasa de la sardina del Pacífico y su medio ambiente. Ciencias Marinas 22; 427-442
- Cisneros-Mata, M.A., J.P. Santos-Molina, A. Godínez-Cota, M.O. Nevárez-Martínez, M. Anguiano-Carrasco y M.A. Martínez-Zavala. 1997. Pesquería de pelágicos menores en el Golfo de California: Pasado, presente y perspectivas para 1996/97. CRIP Guaymas. Informe Técnico del Instituto Nacional de la Pesca (inédito)
- Cisneros-Mata, M.A., M.A. Martínez-Zavala, E. Coterro-Altamirano, W. García-Franco & F. Páez-Barrera. 1998. Recomendaciones para el manejo de las pesquerías de pelágicos menores del noroeste de México. Dictamen Técnico del Instituto Nacional de la Pesca (inédito).
- Castro, R., A. S. Mascarenhas, R. Durazo and C. A. Collins. 2000. Variación estacional de la temperatura y salinidad en la entrada del Golfo de California, México. Ciencias Marinas, 26(4): 561-583.
- Cubillos, L. and R. Montes. 2000. Pelagic fisheries in Central-Southern Chile: recruitment, abundance and availability patterns related to environmental variability. In: Workshop on Interannual Climate Variability and Pelagic Fisheries. IOC, NASA, GLOBEC, NOAA/OGP, SPC. p. 14.
- Curtis, A. 1999. Using a Spatial Filter and a Geographic Information System to Improve Rabies Surveillance Data. Emerg. Infect. Dis. 5: 603-606.

- Cury, P. and C. Roy. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46: 670-680
- Cury, P., A. Bakun, R.J.M. Crawford, A. Jarre, R.A. Quinones, Shannon & H.M. Verheye. 2000. Small pelagics in upwelling systems: patterns of interaction and structural changes in “wasp-waist” ecosystems. *ICES Journal of Marine Science* 57: 603–618.
- Daan, N. 1980. A review of replacement of depleted stocks by others species and the mechanism underlying such replacement. *Rapp. P.-v Reun. Cons. Int. Explor. Mer*, 177, 405-421.
- de Young, B., R. Harris, J. Alheit, G. Beaugrand, N. Mantua & L. Shannon. 2004. Detecting regime shifts in the ocean: data considerations. *Prog. Oceanogr.*
- Faji, W, H. Shixing, J. Manyi. 1990. Utilization of satellite remote sensing for exploitation of anchovy, sardine and other commercially utilized fishes. In: GIS development. ACRS 1990.
- Félix Uruga R., C. Quiñónez Velásquez y F. N. Melo Barrera. 2002. La pesquería de sardina en Bahía Magdalena, B.C.S. durante 2001. En: Resúmenes del X Taller de pelágicos menores, 1-3 de junio de 2002. INP-CICIMAR-IPN, La Paz, B.C.S.
- Félix Uruga R., C. Quiñónez Velásquez y F. N. Melo Barrera. 2003. La pesquería de sardina en Bahía Magdalena, B.C.S. durante 2002. En: Resúmenes del XI Taller de pelágicos menores, 11-13 de junio de 2003. CRIP-Mazatlán, Mazatlán, Sin.
- Fernández, E. & R.D. Pingree. 1996. Coupling between physical and biological fields in the North Atlantic subtropical front southeast of the Azores. *Deep-Sea Res.* 43: 1369-1393.
- Figueroa, M., S. G. Marinone and M. Lavín. (2002). Geostrophic gyres of the Gulf of California. Submitted to *Ciencias Marinas*. Jan, 21, 2002.
- Fox, C.J., Planque, B.P. and Darby, C.D. 2000. Synchrony in recruitment time-series of plaice (*Pleuronectes platessa* L) around the United Kingdom and the influence of sea temperature. *Journal of Sea Research*, 44:159-168.
- Fréon, P., Cury, P., Shannon, L., and C. Roy. 2005. Sustainable exploitation of small pelagic fish stocks challenged by environmental and ecosystem changes: a review. *Bulletin of Marine Science* 76: 385-462.

- García Franco W., A. Cota V. M.L. Granados G. y F. J. Sánchez R. 1995a. Análisis de las pesquerías de sardina y macarela durante la temporada de pesca 1992 en la costa occidental de Baja California, México. *Ciencia Pesquera* (11): 1-8.
- García Franco W., A. Cota V. M.L. Granados G. y F. J. Sánchez R. 1995b. Análisis de las pesquerías de pelágicos menores durante la temporada de pesca 1993 en la costa occidental de Baja California, México. *Ciencia Pesquera* (11): 9-14.
- García Franco W., A. Cota V. M.L. Granados G. y F. J. Sánchez R. 1995c. Análisis de las pesquerías de pelágicos menores durante la temporada de pesca 1994 en la costa occidental de Baja California, México. *Ciencia Pesquera* (11): 15-20.
- García, W. y R.F.J. Sánchez. 1996. Proyecto Pelágicos Menores: Boletín Anual de la Temporada 1995. CRIP Ensenada. Informe Técnico del Instituto Nacional de la (inédito).
- García, W. y R. F. J. Sánchez. 1997. Proyecto Pelágicos Menores: Boletín Anual de la Temporada 1996. CRIP Ensenada. Informe Técnico del Instituto Nacional de la (inédito).
- Gaxiola-Castro, G., S. Álvarez-Borrego, M. F. Lavín, A. Zirino, & S. Nájera-Martínez. 1999. Spatial variability of the photosynthetic parameters and biomass of the Gulf of California phytoplankton, *J. Plankt. Res.* 2: 231– 245.
- Giles, R.H., and L.A. Nielsen, 1992. The uses of geographical information systems in fisheries. Pp 81-94 in: *Fisheries Management and Watershed Development* (R.H. Stroud, ed). American Fisheries Society Symposium 13, Bethesda, M.D.
- Glantz, M.H. and Lucy E. Geingold. 1990. *Climate Variability, Climate Change and Fisheries. Environmental and Societal Impacts Group. National Center for Atmospheric Research. Boulder, Colorado. Pp. 103-107*
- Gluyas-Millán M. G., R. Reyes Tisnado, R. Félix Uraga, F. Guerrero Escobedo, C. Quiñónez Velázquez y F. Melo Barrera. 2003. Pesquería de pelágicos menores en Baja California Sur, 2000-2003. Informe de Investigación, CRIP-La Paz, INP-SAGARPA. 42p.
- González A. 1993. Distribución espacio-temporal de la pesquería artesanal de pez espada (*Xiphias gladius*) desarrollada por la flota artesanal de Valparaíso y variaciones ambientales entre 1987 y 1991. Tesis para optar al título de Ingeniero Pesquero, Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso, 94 pp.

- Gordoa, A., Maso, M. and Voges, L. 2000. Monthly variability in the catchability of Namibian hake and its relationship with environmental seasonality. *Fisheries Research*, 48:185-195.
- Hammann G., T.R. Baumgartner and A. Badan-Dangon. 1988: Coupling of the Pacific Sardine (*Sardinops sagax caeruleus*) life cycle with the Gulf of California pelagic environment. *CalCOFI Rep.*, Vol. XXIX,
- Hammann, M.G. y M.A. Cisneros-Mata. 1989. Range extension and commercial capture of the Northern anchovy *Engraulis mordax* Girard, in the Gulf of California, Mexico. *Calif. Fish and Game* 75: 49-53.
- Hansen, J.E., Martos, P. and Madirolas, A. 2001. Relationship between spatial distribution of the Patagonian stock of Argentine anchovy, *Engraulis anchoita*, and sea surface temperatures during late spring to early summer. *Fisheries Oceanography*, 10(2):193-206.
- Hjort, J. 1914. Fluctuations in the great fisheries of Northern Europe viewed in the light of biological research. *Cons. Perm. Int. Explor. Mer. Rapp. And Proc. Verb.*, 20, 228 pp.
- ITC. 1997. The Integrated Land and Water Information System ILWIS. User's guide. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands.
- Jennings, S. & J.L. Blanchard. 2004. Fish abundance with no fishing: predictions based on macroecological theory. *J. Anim. Ecol.* 73: 632-642.
- Jensen, J.R. 1986. Introductory digital image processing, A remote sensing perspective. Prentice-Hall. ISBN 0-13-500828-X 025. p. 138-151.
- Jones, R. 1984. Assessing the effects of exploitation pattern using length composition data (with notes on VPA and cohort analysis). *FAO Fish Tech. Pap.* 256:1-118
- Kanthi, K.Y. 2000. Seasonal variability of sea surface chlorophyll-a of waters around Sri Lanka. *Proc. Indian Acad. Sci. (Earth Planet. Sci.)*, 109, No. 4. pp. 427-432.
- Ku, K.Y.; Mohd, L.H.; H.Kawamura. 2003. The relations between Sea Surface Temperature and fisheries in the South China Sea. *KUSTEM Second Annual Seminar*, 6-7 May 2003.
- Kawasaki, T. 1984. Why do some pelagic fishes have wide fluctuations in their numbers? A biological basis of fluctuation from the viewpoint of evolutionary ecology, p. 1065-1080. *In* G.D. Sharp & J. Csirke (eds.). *Reports of the Expert Consultation*

- to Examine Changes in Abundance and Species Composition of Neritic Fish Resources. FAO Fish. Rep. 291 (3)
- Lanz, S.E.; G. Oddsson; H. Valdimarsson. 2004. Remote Sensing and Geographic Information System for Pelagic fishing ground forecasting in north Icelandic waters. UNU/FTP. Marine Research Institute. Iceland. Technical report.
- Lanz, E. E., M. O. Nevárez-Martínez, J. López-Martínez, and J. A. Dworak. 2008. Spatial distribution and species composition of small pelagic fishes in the Gulf of California. *Rev. Biol. Trop. Int. J. Trop. Biol.* 56 (2): 575-590.
- Lasker, R. and A. MacCall 1983. New ideas on the fluctuations of the clupeoid stocks off California. In: CNC/SCOR Proc. Of the Joint Oceanographic Assembly 1982 – General Symposia, pp. 110-120. Ottawa.
- Laur, R. Micheal. 1993. Integration of various satellite derived oceanography information for the identification of potential fishing zones. In Lecture notes of International workshop on application of satellite remote sensing for identifying and forecasting potential fishing zones in developing countries, Hyderabad, India, 7-11 December 1993.
- Lavín, M.F., E. Beier & A. Badan. 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escalas estacional e interanual, p. 141-171. In Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Monografía No. 3, M.F. ed. M.F. Lavín. Unión Geofísica Mexicana, México DF.
- Li, R. and N.K. Saxena. 1993. Development of an integrated Marine Geographic Information System. *Marine Geodesy*, Vol. 16, No. 4.
- Lin, C., B. Xu, and S. Huang. 1995. Long-term variations in the oceanic environment of the East China Sea and their influence on fisheries resources, p. 307-315. In Beamish (ed) *Climate change in northern fish populations*. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 121.
- Lluch-Belda, D., B.F.J. Magallón y R.A. Schwartzlose. 1986. Large fluctuations in the sardine fishery in the Gulf of California: possible causes. *CalCOFI Rep.* 27: 136-140.
- Lluch Belda, D., R.J.M. Crawford, T. Kawasaki, A.D. MacCall, R.H. Parrish, R.A. Schwartzlose & P.E. Smith. 1989. World wide fluctuations of sardine and anchovy stocks: the regime problem. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 8:195-205
- Lluch-Belda, D., R.A. Schwartzlose, R. Serra, R. Parrish, T. Kawasaki, D. Hedgecock & J.M. Crawford. 1992. Sardine and anchovy regime fluctuations of abundance in

four regions of the world oceans: a work-shop report. Fish. Oceanogr. 1: 339-347.

- Lluch-Belda, D., M.J. Arvizu, S. Hernández-Vázquez, D. Lluch-Cota, A.C.Z. Salinas, T. Baugartner, G. Hammann, V.A. Cota, C.E. Coto, F.W. García, O. Pedrín, S.M. Lizárraga, M.A. Martínez, R. Morales, M.O. Nevárez M., J.P. Santos M., R. Ochoa B., S.R. Rodríguez, J.R. Torres V., and F. Páez B. 1995. Atlas Pesquero de México. Pesquerías Relevantes. Secretaría de Pesca/ Instituto Nacional de la Pesca/Universidad de Colima (Cenedic). México.
- Lluch-Belda, D., M.J. Arvizu, S. Hernández-Vázquez, D. Lluch-Cota, A.C.Z. Salinas, T. Baugartener, G. Hammann, V.A. Cota, C.E. Coto, F.W. Garcia, O. Pedrin, S.M. Lizarraga, M.A. López-Martínez J., M.O. Nevárez-Martínez, R.E. Molina-Ocampo y F.A. Manrique-Colchado. 1999. Traslado en el tipo y tamaño de las presas que forman la dieta de la sardina Monterrey *Sardinops caeruleus* (Girard, 1856), la sardina Crinuda *Opisthonema libertate* (Günther, 1867) y la anchoveta norteña *Engraulis mordax* (Girard, 1856) en el Golfo de California. Ciencias Marinas, 25(4): 541-556.
- Lluch-Belda, S.E. & J.P. Arias-Aréchiga. 2000. Sobre la importancia de considerar Centros de Actividad Biológica para la regionalización del océano: El caso del Golfo de California, p. 255-263. In D. Lluch-Belda, S.E. Lluch-Cota, J. Elourduy-Garay & G. Ponce-Díaz (ed.). BAC's: Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del IPN y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, La Paz, B.C.S. México.
- Lluch-Belda, D., D.B. Lluch-Cota & S.E. Lluch-Cota. 2003. Baja California's biological transition zones: Refuges for the California Sardine. J. Oceanogr. 59: 503-513.
- Lluch-Cota, S.E., D.B. Lluch-Cota, D. Lluch-Belda, M.O. Nevárez-Martínez, A. Parés-Sierra & S. Hernández-Vázquez. 1999. Variability of sardine catch as related to enrichment, concentration, and retention processes in the central Gulf of California. CalCOFI 40: 184-190
- Lluch-Cota, S.E. & J.P. Arias-Aréchiga. 2000. Sobre la importancia de considerar Centros de Actividad Biológica para la regionalización del océano: El caso del Golfo de California, p. 255-263. In D. Lluch-Belda, S.E. Lluch-Cota, J. Elourduy-Garay & G. Ponce-Díaz (ed.). BAC's: Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del IPN y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, La Paz, B.C.S., Bolivia.

- Lluch-Cota, S.E., D. Kiefer, A. Parés-Sierra, D.B. Lluch-Cota, J. Berwald & D. Lluch-Belda. 2001. Toward an Environmental Analysis System to Forecast Spawning Probability in the Gulf of California Sardine, p. 147-159. In *Spatial Processes and Management of Marine Populations*. Alaska Sea Grant College Program, AK-SG-01-02, Alaska, USA.
- Lluch-Cota, S.E. 2001. Coastal upwelling in the eastern Gulf of California. *Oceanologica Acta* 23: 731-740.
- Lluch-Cota, S.E., D. Kiefer, A. Parés-Sierra, D.B. Lluch-Cota, J. Berwald & D. Lluch-Belda. 2001. Toward an Environmental Analysis System to Forecast Spawning Probability in the Gulf of California Sardine, p. 147-159. In *Spatial Processes and Management of Marine Populations*. Alaska Sea Grant College Program, AK-SG-01-02, Alaska, USA.
- Longhurst, A. 1995. Seasonal cycles of pelagic production and consumption. *Prog. Oceanogr.* 36: 77-167.
- MacCall, A.D. 1986. Changes in the biomass of the California current ecosystem. In: *Variability and management of large marine ecosystems* (K. Sherman and L. M. Alexander), Pp 33-54. AAAS Select. Symp. Ser., No. 99.
- Mansor, S.; C. K. Tan, H.M. Ibrahim and Abdul Rashid Mohd Shariff. 2001. Satellite Fish Forecasting in South China Sea. 22nd Asian Conference on Remote Sensing. 5-9 November 2001. Asian Association on Remote Sensing (AARS). Singapore.
- Marinone, S. G., O. Q Gutiérrez,., and A. Parés-Sierra. 2004. Numerical simulation of larval shrimp dispersion in the northern region of the Gulf of California. *Estuarine, Coastal, and Shelf Sciences*, 60(4): 611-617.
- Marriott, S.P. 1984. Notes on the completion of FAO form NS1 (National Summary). *Fishbyte* 2: 7-8.
- Martínez, J. A. and J. S. Allen. 2003. A model study of coastal trapped wave propagation in the Gulf of California. Part 1: Response to remote forcing. *Journal of Physical Oceanography*. 34: 1311-1331.
- Martínez-Zavala, M. A., M. A. Cisneros-Mata, M. L. Anguiano-Carrasco, J. P. Santos-Molina, M. O. Nevárez-Martínez, A. R. Godínez-Cota y G. Montemayor-López. 2000. Diagnóstico de la pesquería de pelágicos menores del Golfo de California de 1996/97 y 1997/98. Informe de Investigación del Instituto Nacional de la Pesca (inédito).
- Merrifield, M. A., and C. D. Winant. (1989). Shelf circulation in the Gulf of California. A

description of the variability. J. Geophys. Res. 94(C12): 18133-18160.

- Molina-Valdéz, D., F. Páez-Barrera., F. J., Magallón-Barajas., F. A. Castro F. and C. Castro-Aguirre. 1984. Análisis biológico pesquero de la pesquería de sardina en el puerto de Guaymas, Sonora. SePesca, Inst. Nal. de Pesca. Agosto 1984. 276 p.
- Molina-Valdéz, D., B.F. Magallón, A.C. Castro & F. Páez B. 1987. Interrelación recurso-ambiente y la evaluación de la pesquería de sardina Monterrey del Golfo de California por medio de los modelos de producción. CRIP Guaymas. Informe Técnico del Instituto Nacional de la Pesca (inédito).
- Nevárez-Martínez, M.O., M.A. Cisneros-Mata, M.A. Martínez-Zavala y J.P. Santos-Molina. 1997. Evaluación de modelos analíticos para determinar el rendimiento de la sardina monterrey (*Sardinops caeruleus*) del Golfo de California: el uso de información auxiliar. Oceanides.
- Nevárez-Martínez, M. O., E. A. Chávez, M. A. Cisneros-Mata y D. Lluch-Belda. 1999. Modeling of the Pacific sardine *Sardinops caeruleus* fishery of the Gulf of California, México. Fisheries Research 41(1999): 273-283.
- Nevárez-Martínez, M.O., D. Lluch-Belda, M.A. Cisneros- Mata, J.P. Santos-Molina, M.A. Martínez-Zavala & S.E. Lluch-Cota. 2001. Distribution and abundance of the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) in the Gulf of California and their relation with the environment. *Prog. Oceanogr.* 49: 565-580.
- Nevárez-Martínez, M.O., E. Coteró, M.A. Martínez-Zavala & R. Félix-Uraga. 2003. Recruitment of the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) in Baja California, México. Program and Abstracts, CaLCOFI Annual Conference 2004, 15-18 Nov. 2004. p. 20, Mexico.
- Nevárez Martínez, M. O., C. E. Coteró Altamirano, Ma. de los A. Martínez Zavala, R. Félix-Uraga y Alfredo Cota Villavicencio. 2004. Recruitment of the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) in Baja California, Mexico. Program and Abstracts, Annual Conference 2004 CALCOFI, 15-18 noviembre del 2004. p. 20
- Nieto, K. 1999. Determinación de zonas probables de pesca de pez espada (*Xiphias gladius*) en Chile central, a través de imágenes de temperatura superficial del mar de satélites NOAA. Tesis para optar al título de Ingeniero Pesquero, Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso, 92 pp.
- Nishida, T.; A.J. Booth. 2001. Recent Approaches using GIS in the Spatial Analysis of Fish Populations. In: Spatial processes and Management of marine populations. Alaska Sea Grant College Program. AK-SG-01-02-2001. p. 19-36

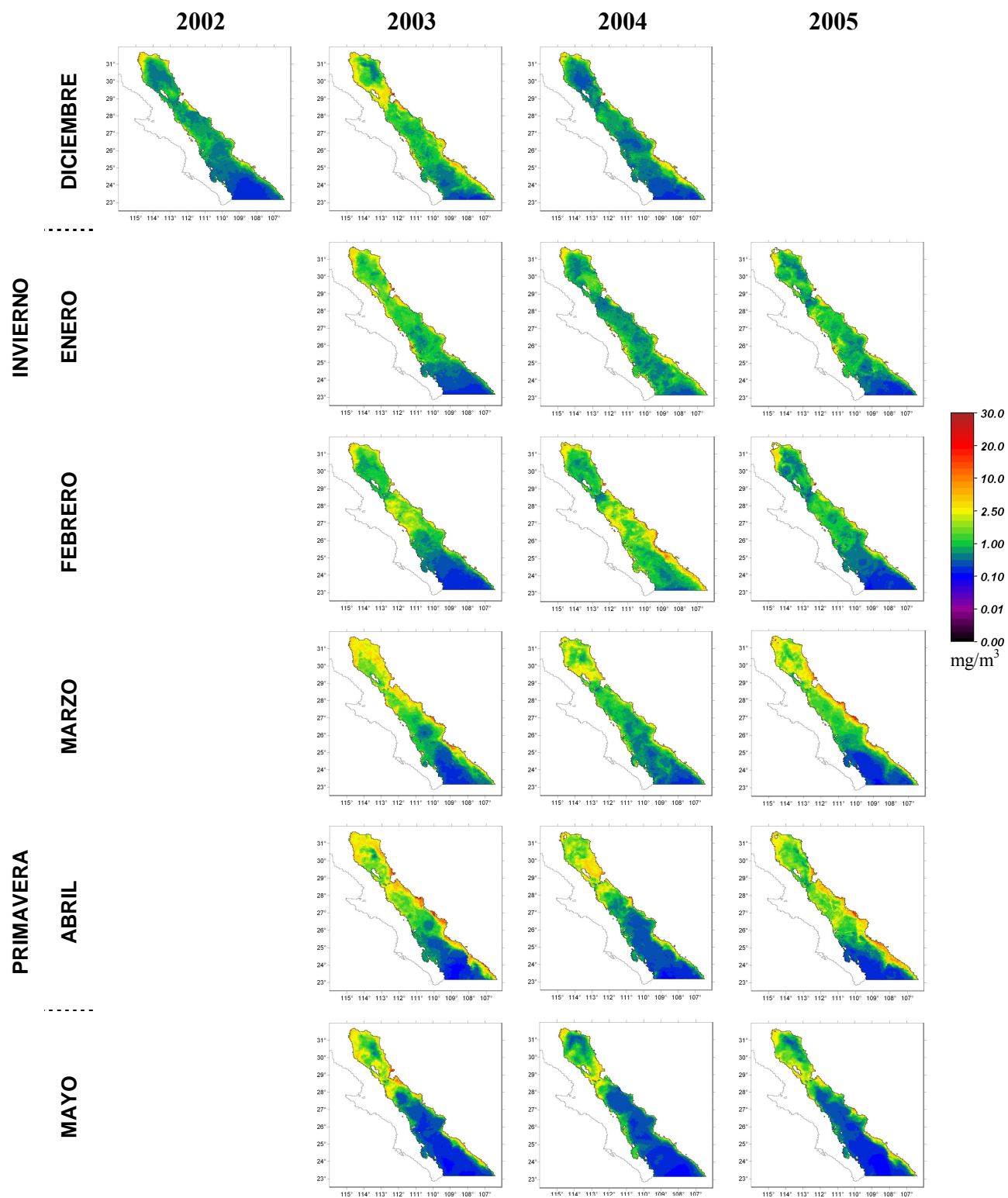
- Olson, D.B., G.L. Hitchcock, A.J. Mariano, C.J. Ashjian, G. Peng, R.W. Nero y G.P. Podesta. 1994. Life on the edge: Marine Life and fronts. *Oceanogr.* 7(2): 52-60
- Paden, C.A., M.R. Abbott & C.D. Winant. 1991. Tidal and atmospheric forcing of the upper ocean in the Gulf of California 1. Sea surface temperature variability, *J. Geophys. Res.* 96, 18: 337– 359.
- Palacios-Hernández, E. Beier, M. F. Lavín and P. Ripa. (2002) The Effect of the Seasonal variation of Stratification on the Circulation of the Northern Gulf of California. *Journal of Physical Oceanography.* 32: 705-728.
- Páramo, J. & R. Roa. 2003. Acoustic-geostatistical assessment and habitat-abundance relations of small pelagic fish from the Colombian Caribbean. *Fish. Res.* 60: 309-319.
- Pauly, D. 1998. Large Marine Ecosystems: Analysis and Management. *In* S.C. Pillar, C.L. Moloney, A.I.L. Payne & F.A. Shillington (eds). Benguela Dynamics. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 19: 487-499.
- Pauly, D., V. Christensen, J. Dalsgaard, R. Froese & F.C. Torres Jr. 1998. Fishing down marine food webs. *Science* 279: 860-863.
- Pauly, D. & D. Zeller. 2003. The Global Fisheries Crisis as a Rationale for Improving the FAO's Database of Fisheries Statistics. Part 1. Fisheries Centre Research Reports, vol. 11.
- Pegau, W.S., E. Boss & A. Martínez. 2002. Ocean color observations of eddies during the summer in the Gulf of California, *Geophys. Res. Lett.* 29, 9: 1295-1298
- Pérez-Marrero, J.,O. Llinas, and P. Clemente-Colon. 1995. Sea surface observations in the area between Canary Islands and the northwest African coast, using AVHRR and sensor equipped drifters. Proceedings of RSS 95. Remote Sensing in Action. Sept. 11-14. U. of Southampton, U.K.
- Perrotta, R.G., M.D. Viñas, D.R. Hernandez, and L. Tringali. 2001. Temperature conditions in the Argentine chub mackerel (*Scomber japonicus*) fishing ground: implications for fishery management. *Fish. Oceanogr.* 10: 3 275-283.
- Platt, T., Sathyendranath, S. And Longhurst, A. 1995. Remote sensing of primary production in the ocean: Promise and fulfillment. *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A.* 348: 191-202.

- Podesta, G. P., J. A. Browder y J. J. Hoey. 1993. Exploring the association between swordfish catch and thermal fronts on the US long-line grounds in the western North Atlantic. *Cont. Shelf. Res.* 13: 253-277.
- Polovina, J.J. 1997. Local-scale swordfish fisheries oceanography. Second international Pacific Swordfish symposium, Hawaii, USA.
- Radovich, J. 1982. The collapse of the California sardine fishery: what have we learned?. *CalCOFI Rep.*, 3.56-78.
- Richman, M. B., 1986: Rotation of principal components. *J. Climatol.*,6, 293-335.
- Ripa, P. 1997. Toward a physical explanation of the seasonal dynamics and thermodynamics of the Gulf of California. *Journal of Physical Oceanography*. 27: 597– 614.
- Ripa, P. and S.G. Marinote. 1989. Seasonal variability of temperature, salinity, velocity, vorticity and sea level in the central Gulf of California, as inferred from historical data. *Q.J.R. Meteorol. Soc.* 115, pp. 887-913.
- Rodríguez-Sánchez, R., D. Lluch-Belda, H. villalobos & S. Ortega-García. 2002. Dynamic geography of small pelagic fish populations in the California Current System on the regime time scale. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 59: 1980-1988.
- Rosenfeld A., and A. C. Kak. 1976. *Digital Picture Processing*. New York: Academic Press, Inc., Section 8.2.
- Samb, B. & D. Pauly. 2000. On ‘variability’ as a sampling artefact: the case of *Sardinella* in North-western Africa. *Fish and Fisheries* 1: 206-210.
- Santamaría-del-Ángel, E., S. Álvarez-Borrego & F.E. Müller-Karger. 1994. Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *J. Geophys. Res.* 99: 7411-7421.
- Sathyendranath, S. Longhurst, A., Caverhill, C.M. and Platt, T. 1995. Regionally and seasonally differentiated primary production in the North Atlantic. *Deep-Sea Res.*, 42: 1773-1802.
- Shannon, L.V., M.R.J. Crawford, G.B. Brundit & L.G. Underhill. 1988. Response of fish populations in the Benguela ecosystem to environmental change. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mar* 45:5-12
- Sharp, G.D. 2000. Future climate change and regional fisheries: a collaborative analysis. *FAO Fisheries Technical Paper*. No. 452. Rome, FAO. 2003. 75p.

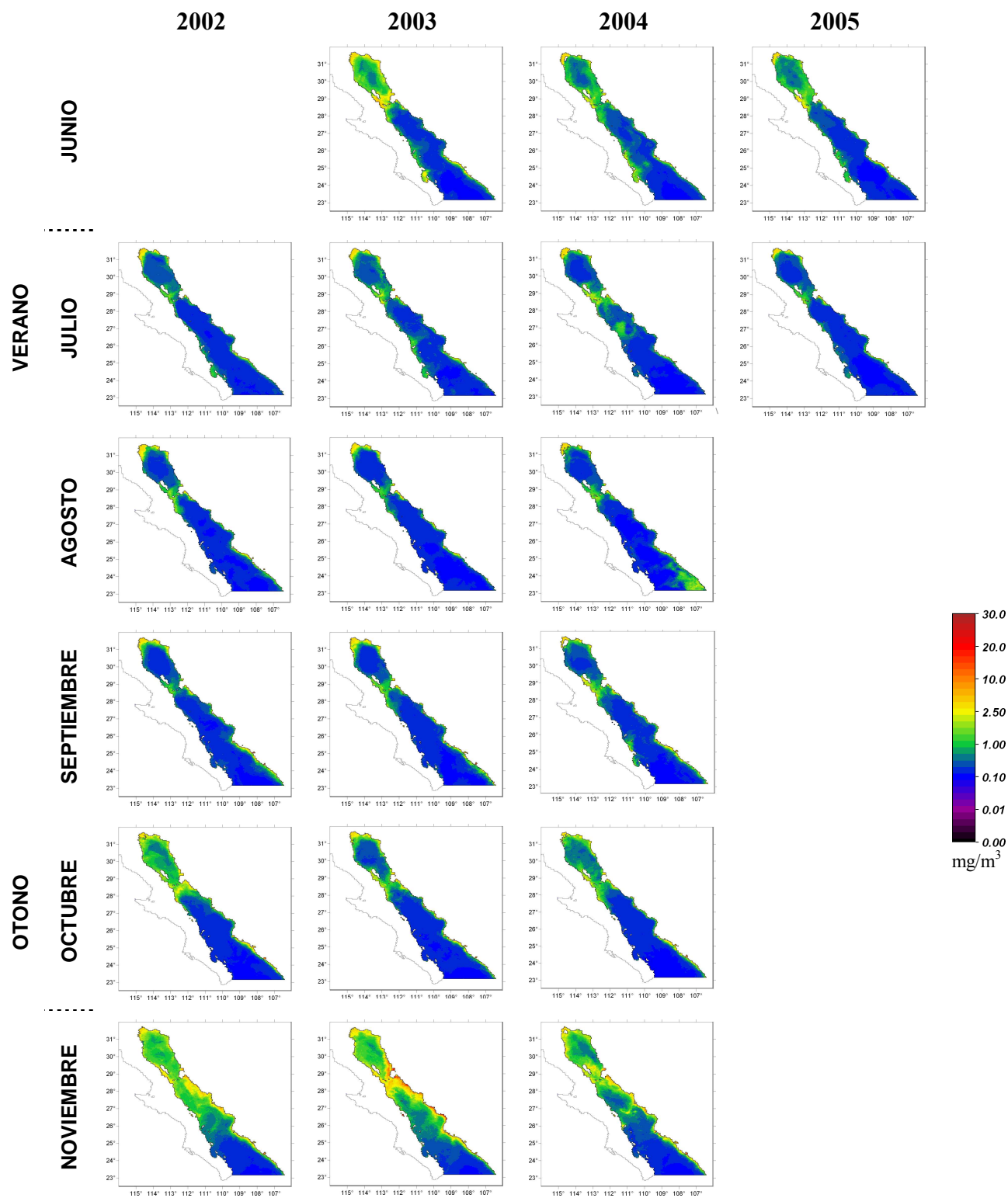
- Sherman, K. 1993. Large Marine Ecosystems as Global Units for Marine Resources Management. An Ecological Perspective, p 3-14. *In* K.A. Sherman, L.M. Alexander & B.D. Gold (eds.). Large Marine Ecosystems: Stress, Mitigation, and Sustainability. AAAS Selected Symposium, Westview, Boulder, Colorado, USA
- Silva, C. and E. Yáñez. 2000. Climate variability and small pelagic fisheries in Northern Chile. In: Workshop on Interannual Climate Variability and Pelagic Fisheries. IOC, NASA, GLOBEC, NOAA/OGP, SPC. p. 16
- Silva, C.; E.; Yáñez, M.A. Barbieri, K. Nieto, V. Mimica, F. Espíndola and J. Acevedo. 2000. Exploring the association between small pelagic fisheries and SeaWiFS chlorophyll and AVHRR Sea Surface Temperature in the north of Chile. Sixth International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, Charleston, South Carolina, 1-3 May, 2000.
- Simpson, J.J. 1992. Remote sensing and geographic information systems: implications for global marine fisheries. A publication of the California Sea Grant College, Report No. T-CSGCP-025.
- Simpson, J.J. 1994. Remote Sensing in Fisheries: A tool for better management in the utilization of a renewable resource. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51: 743-771.
- Smith, P.E. and H.G. Moser. 1988. CalCOFI time series: an overview of fishes. CalCOFI Rep., 29, 66-77.
- Valdez-Holguín, J.E., S. Álvarez-Borrego & C.C. Trees. 1999. Seasonal and spatial characterization of the Gulf of California phytoplankton photosynthetic parameters. *Ciencias Marinas* 25: 445-467.
- Watson, R. & D. Pauly. 2001. Systematic distortions in world fisheries catch trends. *Nature* 414: 534-536
- Watson, R., E. Hoshino, J. Beblow, C. Revenga, Y. Kura & A. Kitchingman. 2004. Fishing gear associated with global marine catches. Fisheries Centre Research Reports vol. 12 (6).
- Yáñez E., M.A. Barbieri, C. Silva, K. Nieto, 1997. Oceanography and the swordfish fishery in Chile. *In*: Second international Pacific Swordfish Symposium. Hawaii, March 3-6.

- Yang, J., Gu, C., Li, L., Li, J., Gao, C. and Li, W. 1995. Satellite remote sensing prediction of Japanese pilchard fishing ground in the Huanghai Sea and the East China Sea. *Science in China. Series B, Chemistry, Life Science and Earth Science*, 38(3):336-344.
- Yáñez E., C. Silva, M. A. Barbieri y K. Nieto. 1996. Pesquería artesanal de pez espada y temperatura superficial del mar registrada con satélites NOAA en Chile central. *Invest. Mar., Valparaíso*, 24: 131-144.
- Zimmermann, H.J. & P. Zysno. 1980. Latent connectives in human decision making: Fuzzy sets and Systems, v. 4 (n.d.).
- Zimmermann, H.J. 1985. Fuzzy set theory and its Applications. Kluwer-Nijhoff, Boston, Massachusetts, USA.

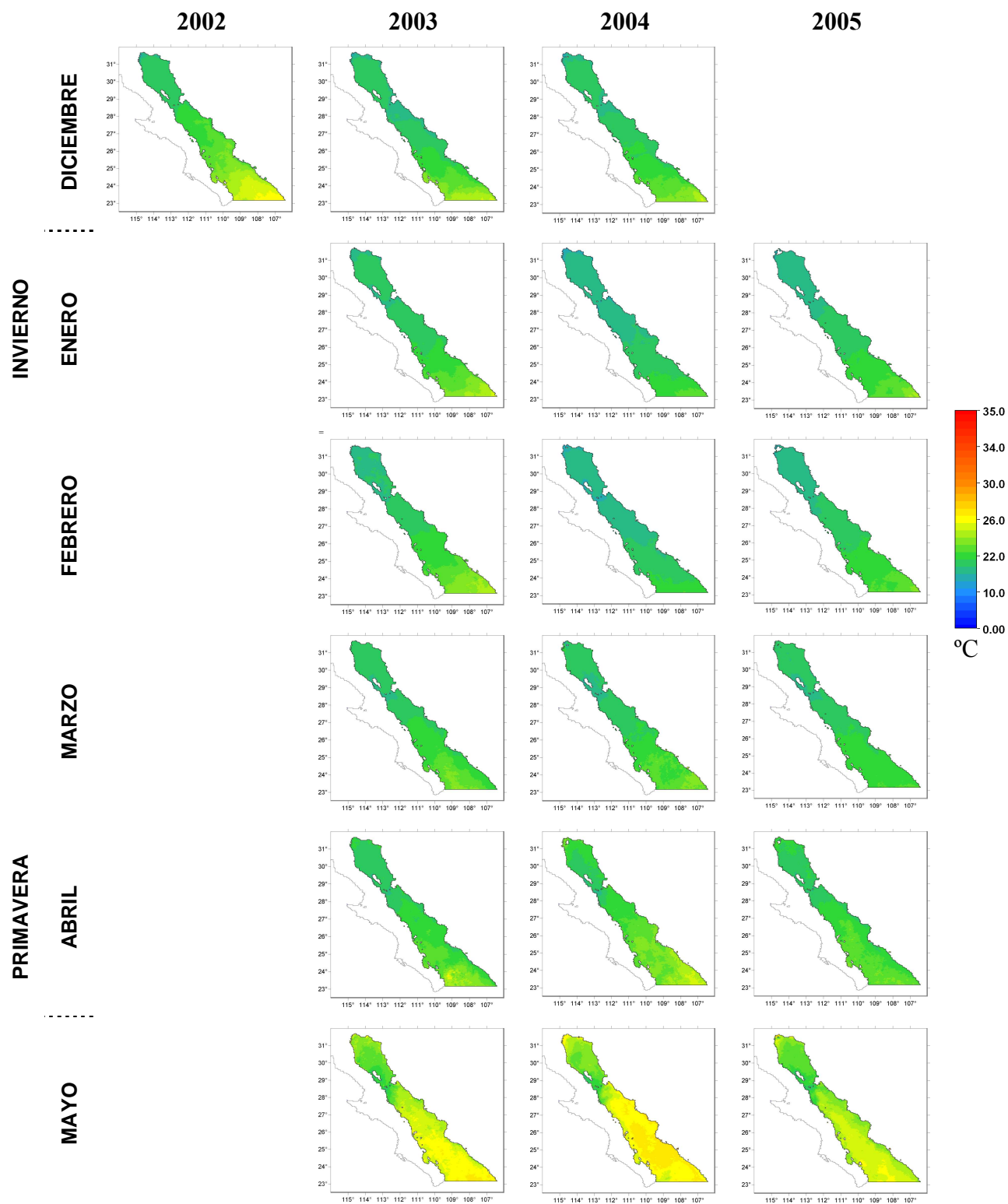
ANEXO I. Composiciones mensuales de Clorofila-*a* obtenida de MODIS-Aqua.



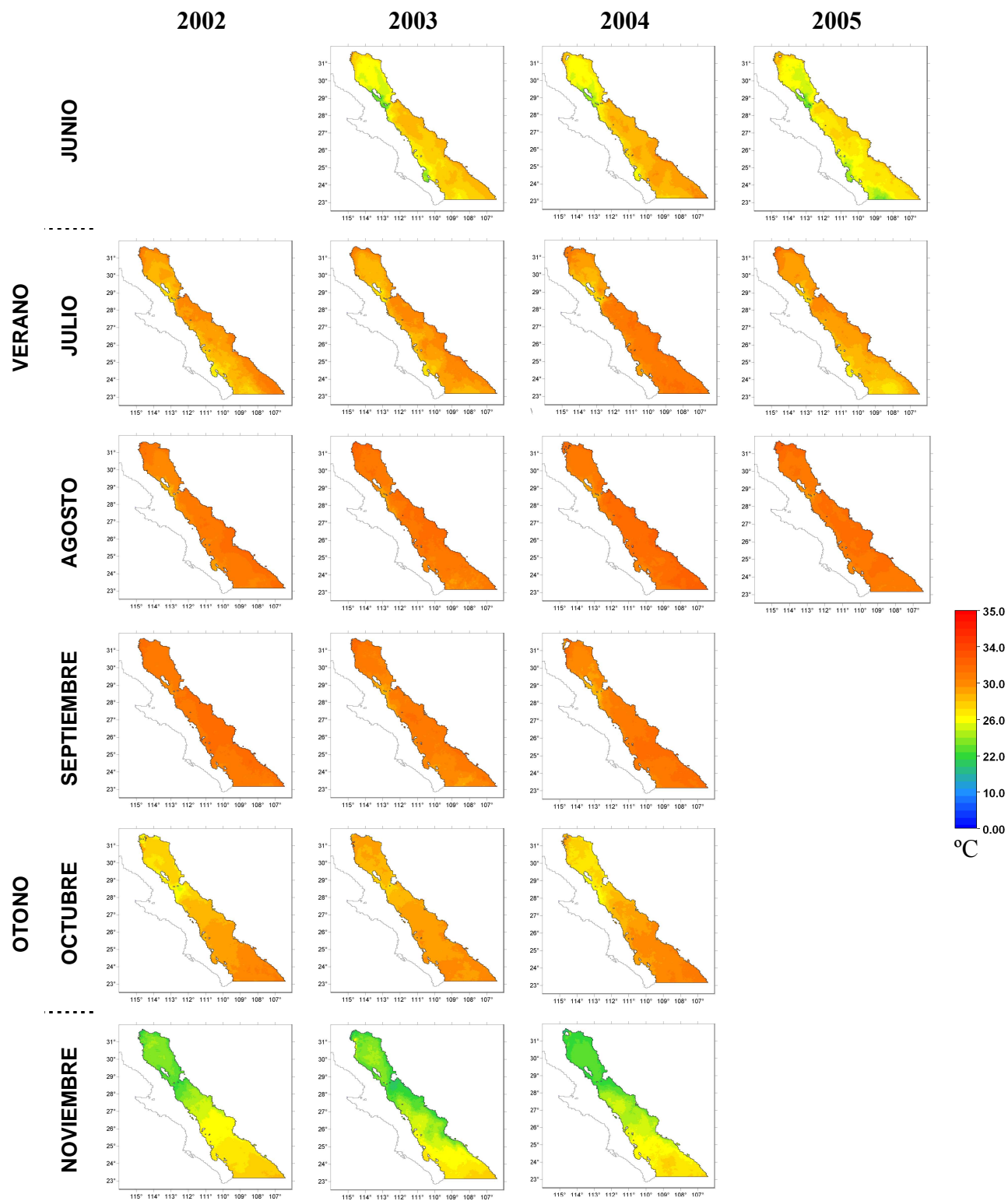
ANEXO I. Composiciones mensuales de Clorofila-*a* obtenida de MODIS-Aqua.



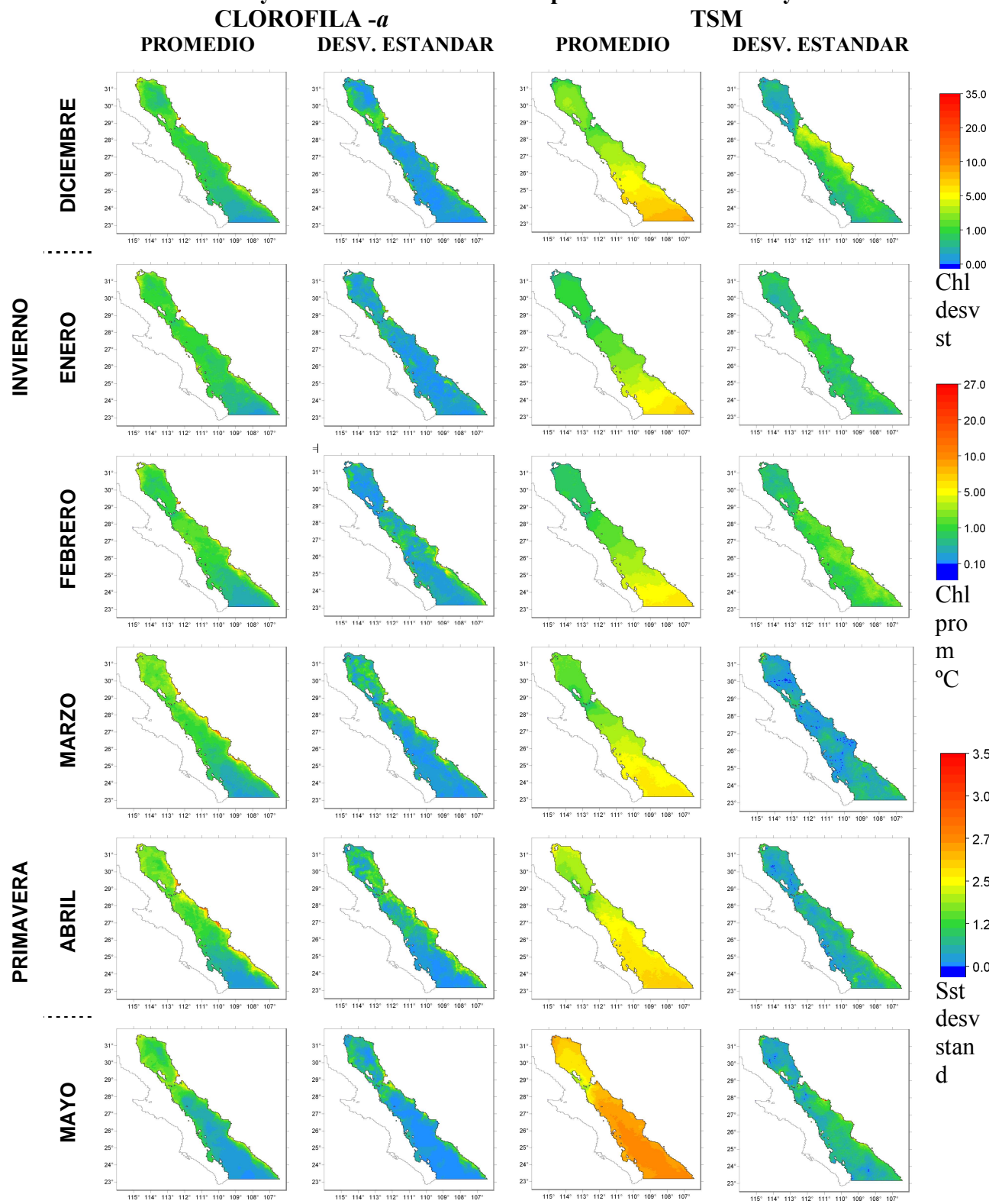
ANEXO II. Composiciones mensuales de TSM obtenida de MODIS-Aqua.



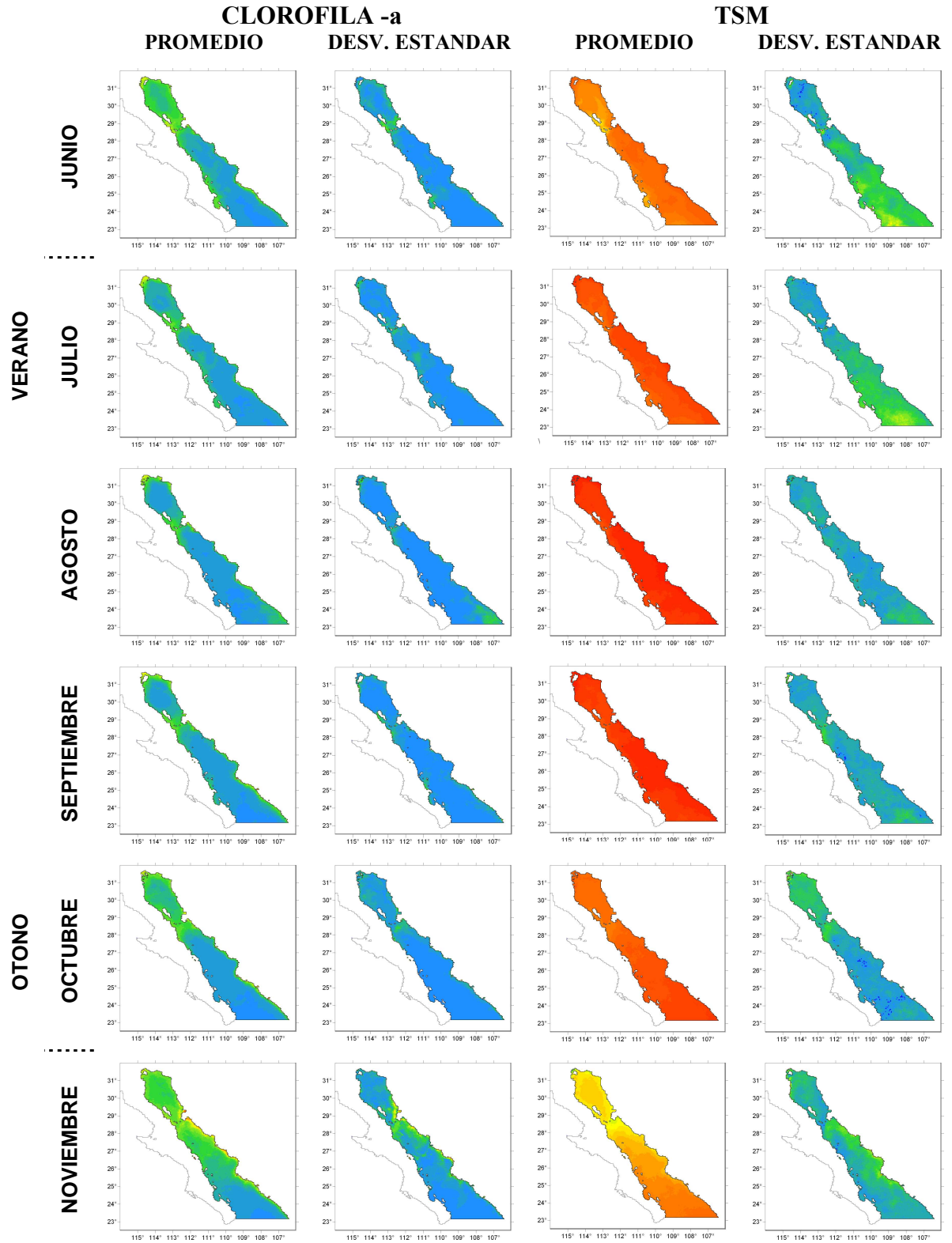
ANEXO II. Composiciones mensuales de TSM obtenida de MODIS-Aqua.



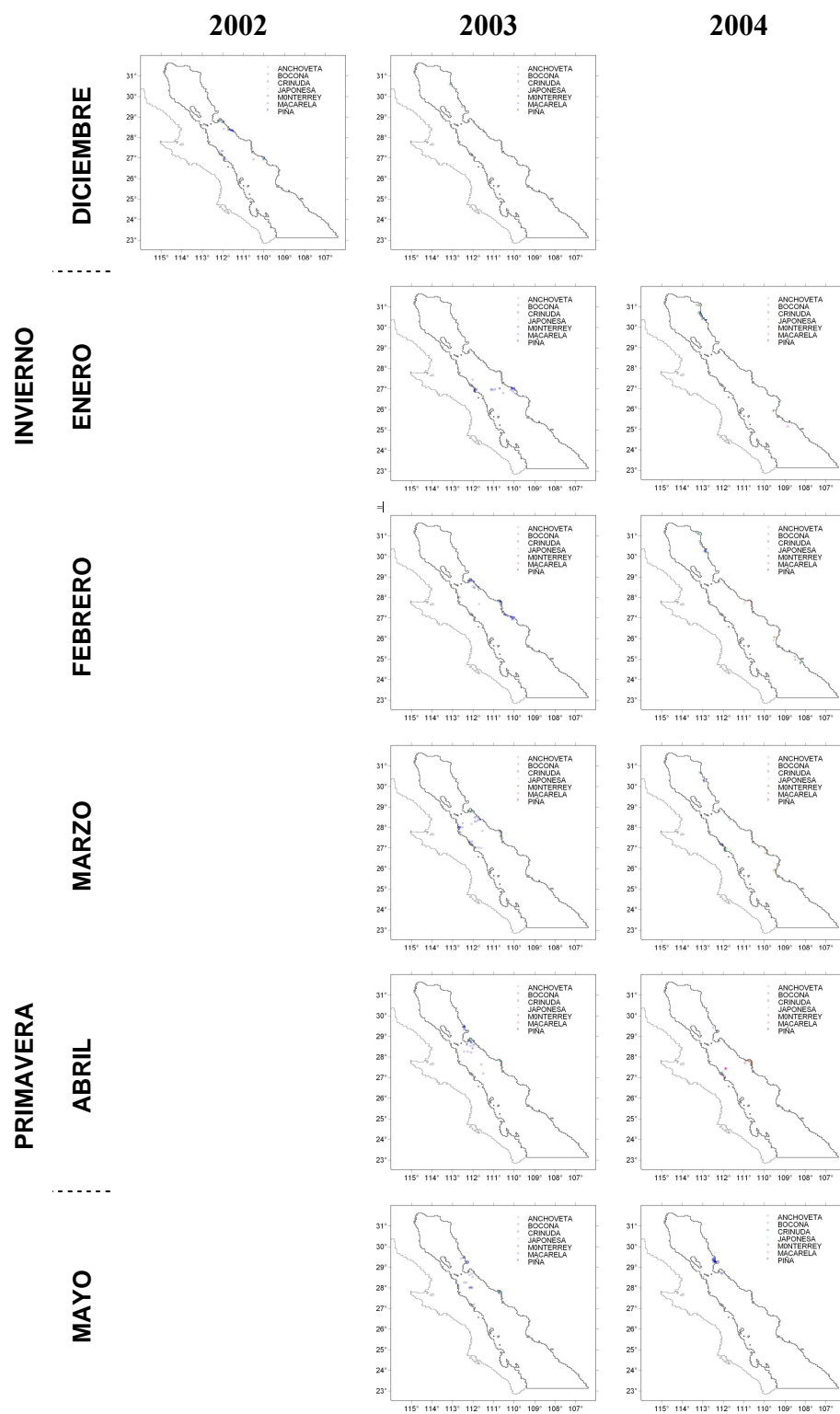
ANEXO III. Promedios y desviaciones estándar temporales de Clorofila-*a* y TSM.



ANEXO III. Promedios y desviaciones estándar temporales de Clorofila-*a* y TSM.



ANEXO IV. Distribución mensual de las especies de pelágicos menores en el GC.



ANEXO IV. Distribución mensual de las especies de pelágicos menores en el GC.

