



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



FACTORES AMBIENTALES ASOCIADOS AL
TIPO DE PESCA DEL ATUN ALETA AMARILLA
EN COSTAS MEXICANAS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR
EN
CIENCIAS MARINAS

PRESENTA:

JUAN PEDRO ARIAS ARECHIGA

LA PAZ, B.C.S., MÉXICO. DEL 2010



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 8 del mes de Abril del 2010 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

**“FACTORES AMBIENTALES ASOCIADOS AL TIPO DE PESCA DEL ATÚN
ALETA AMARILLA EN COSTAS MEXICANAS”**

Presentada por el alumno:

ARIAS

Apellido paterno

ARÉCHIGA

materno

JUAN PEDRO

nombre(s)

Con registro:

B	0	5	1	2	1	0
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS

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

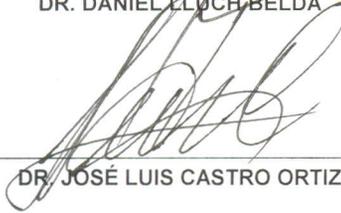
LA COMISION REVISORA

Director(a) de Tesis


DRA. SOFÍA ORTEGA GARCÍA


DR. DANIEL LLUCH BELDA


DR. VÍCTOR MANUEL GÓMEZ MUÑOZ


DR. JOSÉ LUIS CASTRO ORTIZ


DR. SALVADOR EMILIO LLUCH COTA

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES


DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



**IPN
CICIMAR
DIRECCION**



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 14 del mes Mayo del año 2010
el (la) que suscribe MC. JUAN PEDRO ARIAS ARÉCHIGA alumno(a) del
Programa de DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS
con número de registro B051210 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:
DRA. SOFÍA ORTEGA GARCÍA

y cede los derechos del trabajo titulado:

“FACTORES AMBIENTALES ASOCIADOS AL TIPO DE PESCA
DEL ATÚN ALETA AMARILLA EN COSTAS MEXICANAS”

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: jpariasa@gmail.com sortega@ipn.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

MC. JUAN PEDRO ARIAS ARÉCHIGA

nombre y firma

DEDICATORIA

A Mirtha por su confianza y su amor, incluso en la distancia.

A Christine y a Camila por lo que todo lo que representan en mi vida.

A mis padres por todo...gracias

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN) por el apoyo para la realización de mis estudios.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) por los apoyos brindados durante la realización de este trabajo.

A la Doctora Sofía Ortega por sus contribuciones a esta tesis.

A los miembros del comité, Dr. Daniel Lluch Belda, Dr. Víctor Manuel Gómez Muñoz, Dr. José Luis Castro Ortiz, Salvador Lluch Cota por sus observaciones para mejorar este trabajo. Gracias también por sus consejos fuera del ámbito académico.

También quisiera dar las gracias a la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH) por la oportunidad de que me ha brindado para mi desarrollo profesional y al personal del Campus del Mar por su amistad.

A las personas que me han brindado su amistad y que a pesar de todo me han dado su apoyo incondicional, mil gracias.

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABLAS.....	iv
GLOSARIO.....	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	6
3. ÁREA DE ESTUDIO	9
3.1. Costa Occidental de Baja California Sur	10
3.2. Golfo de California.....	11
3.3. Pacífico Central Mexicano.....	12
3.4. Golfo de Tehuantepec.....	13
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
5. OBJETIVOS.....	16
5.1. Objetivo general	16
5.2. Objetivos específicos.....	16
6. METODOLOGÍA	17
6.1. Bases de datos.....	17
6.1.1. Bitácoras de captura de la flota cerquera mexicana	17

6.1.2. Temperatura superficial del mar	18
6.1.3. Concentración de Clorofila-a	18
6.1.4. Velocidad del Viento	18
6.2 Análisis de los datos.....	19
6.2.1 Análisis espacio-temporal de las capturas por tipo de lance	19
6.2.2 Condiciones ambientales que favorecen la presencia de cardúmenes asociados y no asociados	19
6.2.3 Diferencia en las capturas entre ambos indicadores de pesca bajo las mismas condiciones ambientales.....	20
6.2.4 Análisis espacio-temporal de las variables oceanográficas para un año promedio (1998-2005).....	20
6.2.5 Intensidad del esfuerzo de pesca y condiciones ambientales	20
6.2.6 Variabilidad ambiental del área de estudio.....	23
6.2.7 Funciones Empíricas Ortogonales.....	24
7. RESULTADOS.....	27
7.1. Análisis espacio-temporal de las capturas por tipo de lance	29
7.1.1 Análisis por áreas	29
7.1.2 Análisis temporal de las capturas por tipo de indicador por área.....	30
7.2. Condiciones ambientales que favorecen la presencia de cardúmenes asociados y no asociados.....	34
7.2.1 Temperatura superficial del mar	34
7.2.2 Clorofila a.....	36
7.2.3 Velocidad del viento.....	37
7.3 Diferencia en las capturas entre ambos indicadores de pesca bajo las mismas condiciones ambientales	38
7.4 Análisis espacio-temporal de las variables oceanográficas para un año promedio (1998-2005)	40
7.5 Intensidad del esfuerzo de pesca y condiciones ambientales.....	44
7.5.1 Intensidad del esfuerzo de pesca	44
7.5.2 Variabilidad ambiental del área de estudio	53

7.6 Funciones Empíricas Ortogonales	59
7.6.1 FEO de Temperatura Superficial del Mar	59
7.6.2 FEO de concentración de Cla.....	61
7.6.3 FEO de Velocidad del viento	62
8. DISCUSIÓN	64
8.1 Distribución del esfuerzo.....	65
8.2 Condiciones ambientales que favorecen al tipo de indicador	66
8.3 Diferencia en las capturas entre ambos indicadores de pesca bajo las mismas condiciones ambientales.....	70
8.4 Variabilidad de parámetros ambientales	71
9. CONCLUSIONES	75
10.LITERATURA CITADA.....	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. División de los dos stocks considerados para el Océano Pacífico.....	2
Figura 2. Capturas de atún aleta amarilla promedio (1994-2003) por barcos cerqueros en función al tipo de indicador objetos flotantes (FAD), no asociados (Fre) y asociados a manadas de delfines (Dol). Tomado de Fonteneau, 2005.	3
Figura 3. Esquema tridimensional de la circulación en el Océano Pacífico Oriental Tropical basada en datos recientes. Tomado de Kessler, 2006	8
Figura 4. Esquema de las principales características del área de estudio	9
Figura 5. Área considerada en este estudio y su división en cuadrantes de 1°x1° .	16
Figura 6. a) Número de lances por año y por tipo de indicador en el área de estudio durante el periodo 1998 – 2004. b) Captura anual total y por tipo de indicador en el área de estudio durante el periodo 1998 – 2004. C) CPUE total y por tipo de indicador en el área de estudio durante el periodo 1998 – 2004.	25
Figura 7. Distribución de lances sobre atún aleta amarilla realizados por la flota atunera mexicana en el área de estudio durante el periodo 1998 – 2004. A) Lances sobre cardúmenes no asociados o brisas y b) lances realizados sobre cardúmenes asociados a manadas de delfín.....	26
Figura 8. Capturas anuales por tipo de indicador en cada una de las zonas analizadas.....	27
Figura 9. Isolíneas de captura mensual registradas en la Costa Occidental de la Península durante el periodo 1998-2004 a) Cardúmenes no asociados b) Cardúmenes asociados a delfines. En gris se indican los periodos durante los cuales la flota no presentó esfuerzo sobre el indicador	28
Figura 10. Isolíneas de captura mensual registradas en el Golfo de California durante el periodo 1998-2004 a) Cardúmenes no asociados b) Cardúmenes asociados a delfines. En gris se indican los periodos donde la flota no presentó esfuerzo sobre el indicador.....	26
Figura 11. Isolíneas de captura mensual registradas en la costa del Pacífico Mexicano durante el periodo 1998-2004 a) Cardúmenes no asociados b)	

Cardúmenes asociados a delfines. En gris se indican los periodos donde la flota no presentó esfuerzo sobre el indicador	30
Figura 12. Isolíneas de captura mensual registradas en el Golfo de Tehuantepec durante el periodo 1998-2004 a) Cardúmenes no asociados b) Cardúmenes asociados a delfines. En gris se indican los periodos donde la flota no presentó esfuerzo sobre el indicador.....	31
Figura 13. a) Histograma de frecuencias de las capturas asociadas a la temperatura superficial del mar. b) Histograma de frecuencia del número de lances asociados a la temperatura superficial del mar. c) Histograma de frecuencia del CPUE de lances asociados a la temperatura superficial del mar.....	32
Figura 14. Histograma de frecuencias de las capturas asociadas a la concentración de Cla. b) Histograma de frecuencia del número de lances asociados a la concentración de Cla. b) Histograma de frecuencia del CPUE asociados a la concentración de Cla	34
Figura 15. a) Histograma de frecuencias de las capturas asociadas a la velocidad del viento. b) Histograma de frecuencia del número de lances asociados a la velocidad del viento. c) Histograma de frecuencia de la CPUE asociada a la velocidad del viento	35
Figura 16. Distribución de la temperatura superficial del mar (°C), concentración pigmentaria (mg Cla/m ³) y velocidad del viento (m/s) en las costas mexicanas durante el año promedio del periodo 1998-2005	37
Figura 17. Intensidad del esfuerzo (número de meses) en cuadrantes de un grado aplicado por la flota atunera de cerco durante el periodo 1998-2004	39
Figura 18. Intensidad de esfuerzo (número de meses) por tipo de indicador durante el periodo 1998-2004.....	41
Figura 19. Porcentaje de cambio resultado del análisis de discriminante por zonas, los colores claros representan zonas más estables o con menos cambio.....	44
Figura 20. Porcentaje de cambio resultado del análisis de discriminante por tipo de indicador, los colores claros representan zonas más constantes	47

Figura 21. Patrón de distribución del primer componente para los cuadrantes que presentaron presencia de atún aleta amarilla en relación a las variables ambientales.....	49
Figura 22. Patrón de distribución del primer componente para los cuadrantes que presentaron presencia solo de cardúmenes no asociados en relación a las variables ambientales	51
Figura 23. Patrón de distribución del primer componente para los cuadrantes que presentaron presencia solo de cardúmenes asociados a delfines en relación a las variables ambientales.....	53
Figura 24. Patrón de distribución del primer componente para los cuadrantes que presentaron presencia de ambos indicadores en relación a las variables ambientales.....	55
Figura 25. Primeras tres FEO correspondientes a la temperatura superficial del mar. En la parte superior se presentan la amplitud de los modos temporales y en la parte inferior las componentes espaciales.....	56
Figura 26. Primeras tres FEO correspondientes a la concentración de Cl _a . En la parte superior se presentan la amplitud de los modos temporales y en la parte inferior las componentes espaciales.....	57
Figura 27. Primeras tres FEO correspondientes a la velocidad de viento. En la parte superior se presentan la amplitud de los modos temporales y en la parte inferior las componentes espaciales.....	59

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Lambda de Wilks. Contraste de las funciones del modelo para zonas	42
Tabla 2. Valor de los centroides en las funciones discriminantes para zonas.....	43
Tabla 3. Coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas para zonas	43
Tabla 4. Lambda de Wilks. Contraste de las funciones del modelo para zonas	45
Tabla 5. Valor de los centroides en las funciones discriminantes para indicadores de pesca	45
Tabla 6. Coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas para indicadores de pesca	46
Tabla 7. Total de la variancia explicada para todos los cuadrantes con capturas en relación a las variables ambientales	48
Tabla 8. Matriz de componentes o autovectores para todos los cuadrantes con captura.....	48
Tabla 9. Variancia total explicada en el análisis de componentes principales para los cuadrantes con capturas solo sobre cardúmenes no asociados en relación a las variables ambientales.....	50
Tabla 10. Matriz de componentes para todos los cuadrantes con captura solo sobre cardúmenes no asociados	50
Tabla 11. Total de la variancia explicada para los cuadrantes con capturas solo sobre cardúmenes asociados a delfines en relación a las variables ambientales	51
Tabla 12. Matriz de componentes o autovectores para todos los cuadrantes con captura solo sobre cardúmenes asociados a delfines	52
Tabla 13. Total de la variancia explicada para los cuadrantes con capturas donde se registraron cardúmenes asociados a delfines y no asociados en relación a las variables ambientales	53
Tabla 14. Matriz de componentes para todos los cuadrantes con captura sobre cardúmenes asociados a delfines y cardúmenes no asociados	54

GLOSARIO

Capacidad de acarreo

Capacidad de carga de una embarcación para almacenar la captura obtenida.

Frentes oceánicos

Líneas de convergencia caracterizadas por gradientes horizontales fuertes de temperatura, salinidad y densidad que separan diferentes sistemas de corrientes y masas de agua.

Indicador de pesca

Elemento que permite detectar a un cardumen de atún: objetos flotantes, brisa o delfín.

Mesoescala

Procesos que tienen una escala espacial menor a mil kilómetros

Surgencias o Afloramiento

Ascenso de agua profunda, rica en nutrientes, producido por la acción de vientos regulares a lo largo de una costa.

RESUMEN

El Océano Pacífico Oriental es la región oceánica donde la relación atún-delfín aporta las mayores capturas, en el caso de la flota mexicana de cerco la actividad se centra principalmente en este tipo de cardúmenes, sin embargo, cerca de las costas mexicanas también la pesca de cardúmenes no asociados cobra importancia. En este estudio se analizan las capturas obtenidas a lo largo del Pacífico Mexicano durante el periodo de 1998-2004, con la finalidad de determinar las condiciones que favorecen la presencia de uno u otro tipo de indicador. La información ambiental se maneja en cuadrantes de un grado con una temporalidad mensual, las variables analizadas corresponden temperatura superficial del mar (TSM), concentración de clorofila a (Cla) y velocidad del viento (VV). Mediante la aplicación de un análisis de discriminante se determinaron cuatro zonas a lo largo de las costas mexicanas y cuadrantes transicionales entre ellas, de igual manera, esta metodología se aplicó para ver si existían diferencias entre los cuadrantes en los que se registró captura, definidos para este análisis en tres tipos: aquellos en los que solo se capturaron cardúmenes asociados a delfín, los que tuvieron solo presencia de cardúmenes no asociados y un tercer grupo en los que se registró la presencia de ambos tipos de pesca. Para evidenciar los procesos que pudieran determinar la presencia de los distintos indicadores y relacionarlos con zonas específicas se aplicó análisis de componentes principales (ACP). Los patrones de variabilidad más notables se obtuvieron por medio de un análisis de Funciones Empíricas Ortogonales (FEOs), la variabilidad interanual fue la principal fuente de variación de la TSM, en el caso de la Cla y la VV este análisis sugiere regímenes distintos a lo largo del periodo de estudio. La mayoría de los cuadrantes registraron capturas de un solo tipo de indicador, se detectaron diferencias significativas en los valores de las variables ambientales registradas en cada uno. Las zonas con mayor dinámica son las que aportan mayores capturas debido a que la variedad de condiciones permiten la presencia constante de cardúmenes de diferentes tipos.

ABSTRACT

The Eastern Pacific Ocean is the oceanic region where the tuna-dolphin relationship yields the highest catch. The Mexican tuna purse-seine fleet focuses mainly on this school type, though near the Mexican coast fishing on unassociated schools is gaining in importance. In our study we analyzed the catch along the Mexican Pacific coast during 1998 to 2004 to determine the conditions that favor the presence of one or another type of indicator. The environmental information was analyzed in one-degree quadrants per month, with the sea surface temperature (SST), chlorophyll *a* (Chl_a), and wind speed (WS) the variables studied. Using discriminant analysis we identified four areas along the Mexican coast and some transitional quadrants between them. This methodology was used to detect differences between the quadrants in which the catch occurred, and defined three types for this analysis; those in which only schools associated with dolphins were found, those that had only unassociated schools, and a group having both fishing types present. To demonstrate the processes that may determine the presence of different fishing types and relate them to specific areas, we used a principal component analysis (PCA). The most notable patterns of variability were obtained using an Empirical Orthogonal Function analysis (EOF). The interannual variability was the main source of the variation of the SST. For the WS and Chl_a this analysis suggests different systems during the study period. The catch in most of the quadrants was shown to be from a single fishing type, with significant differences in the values of environmental variables. The most dynamic areas are those that have a variety of conditions, which allow the continued presence of schools of different types.

1. INTRODUCCIÓN

El atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) es una especie ampliamente distribuida en las aguas tropicales y subtropicales de los océanos Índico, Pacífico y Atlántico, ausente en el Mar Mediterráneo (Cole, 1980; Collette & Nauen 1983). Estos organismos epipelágicos se caracterizan por ser depredadores altamente migratorios con un amplio espectro de presas y las condiciones ambientales afectan la amplitud de su distribución (Hela & Laevastu, 1962). Es un organismo que aunque su distribución está limitada por una temperatura de 18 °C, es capaz de incursionar ocasionalmente en temperaturas menores a 8 °C por periodos cortos (Dangorn *et al.*, 2006; Schaefer *et al.*, 2007). Los desoves de esta especie se han registrado en temperaturas mayores de 25 °C (Schaefer, 1998).

A nivel mundial se reconoce la existencia de cuatro stocks de atún aleta amarilla, uno en el Océano Atlántico, otro en el Océano Índico y dos más en el Océano Pacífico. La pesquería del stock del Océano Atlántico se ha mantenido estable durante los últimos 20 años (Fonteneau, 2005), mientras que el del Índico ha mantenido un crecimiento en las capturas, incluso en los últimos años en los que otras regiones han reportado disminuciones. En el Océano Pacífico se consideran dos stocks (Ward *et al.*, 1994; Hampton *et al.*, 2004), aunque se reconoce que existe evidencia de cierto intercambio entre ellos. El primero, distribuido en el Pacífico Central y Oeste (figura 1), es considerado por algunos autores como sobreexplotado (Majkowski, 2007), mientras que otros rechazan esto y lo califican como en equilibrio (Langley *et al.*, 2007); el otro stock corresponde a la porción oriental del Pacífico, considerado como totalmente explotado experimentando descenso en las capturas en los últimos años después de haber alcanzado su máximo en 2002. De acuerdo con Maunder & Aires-Da-Silva (2008), la disminución de las capturas de los diferentes stocks en los últimos años se debe a la variabilidad en el reclutamiento y la disponibilidad del recurso a la pesquería, generada principalmente por las condiciones ambientales.

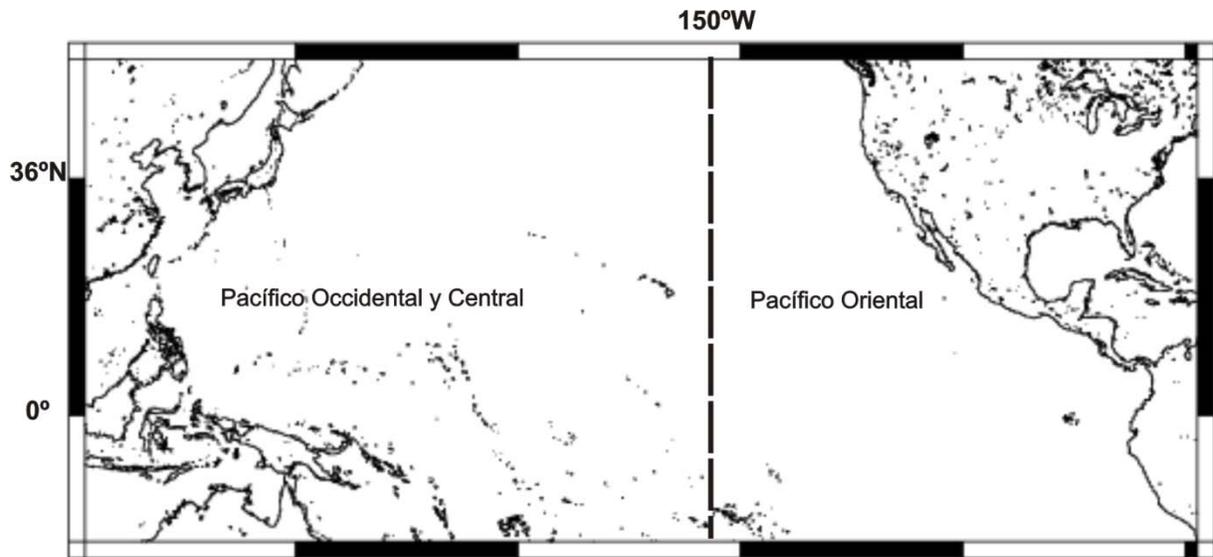


Figura 1. División de los dos stocks considerados para el Océano Pacífico.

Las artes de pesca que se utilizan para su captura son la red de cerco, el palangre y la caña o vara además de otros que se usan a pequeña escala en zonas costeras y cerca de islas (Miyake *et al.*, 2004).

A nivel mundial es la captura de la flota cerquera la que ha registrado mayor incremento de todas y está dirigida principalmente a la pesca de barrilete (*Katsuwonus pelamis*) y al atún aleta amarilla, aunque en años recientes se han incrementado las capturas de atún patudo (*Thunnus obesus*), esta misma tendencia se ha presentado en el Océano Pacífico (Miyake *et al.*, 2004).

Los cardúmenes de atún aleta amarilla son detectados por la flota cerquera mediante su asociación con delfines y objetos flotantes, además de los cardúmenes libres o no asociados también llamados “brisas” por el efecto de chapoteo de los peces en la superficie, a estas formas de detección se les denomina indicadores de pesca.

La relación atún-delfín parece ser más frecuente en el Océano Pacífico Oriental (OPO) que en otras áreas oceánicas; sin embargo, no es exclusiva (Edwards, 1992). Esta área se caracteriza por una termoclina somera (100 m), la

cual probablemente facilite los encuentros y aumente la estabilidad de la asociación (Edwards, 1992; Hall *et al.*, 1999). Aunque esta relación está bien documentada, las razones de la misma están poco entendidas y existen diversas hipótesis que han tratado de explicarla (Fréon & Dagorn, 2000). El porcentaje de atún aleta amarilla asociado a manadas de delfín que se captura en el OPO es de más del 40% (CIAT, 2009), según Hall *et al.* (1999), en el 80% predomina la asociación con el delfín manchado (*Stenella attenuata*). Otras especies con las que se asocia son el delfín tornillo (*Stenella longirostris*) pero formando manadas mixtas con el delfín manchado, de menor ocurrencia el delfín común (*Delphinus delphis*), y el delfín listado (*Stenella coeruleoalba*) (Allen, 1984).

Los objetos flotantes son cualquier estructura que se encuentre a la deriva en la superficie del mar. Estos objetos pueden ser de dos tipos de origen natural y aquellos que están en el océano como resultado de las actividades humanas llamados también artificiales (Hall *et al.*, 1999).

Los cardúmenes no asociados son también conocidos como “brisas” por la turbulencia que se produce en la superficie del mar al momento que los organismos se alimentan. Este tipo de cardúmenes son más comunes cerca de las costas.

Fonteneau (2005) presenta una revisión (figura 2) en la que se muestra que la pesca sobre delfines predomina en el OPO y está prácticamente ausente en el resto del mundo. En el Océano Atlántico hay mayor incidencia sobre cardúmenes no asociados o brisas, mientras que en el Océano Pacífico Centro Occidental (OPCO) e Índico la pesca se realiza sobre cardúmenes no asociados o asociados a objetos flotantes.

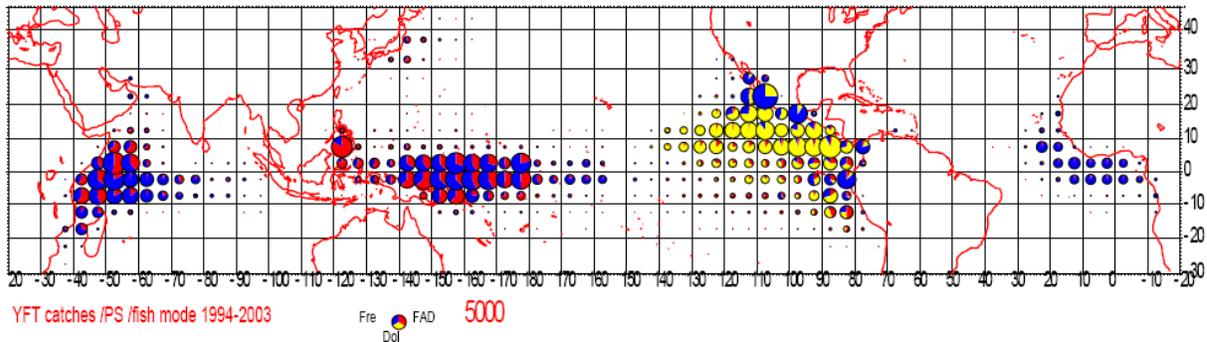


Figura 2. Capturas de atún aleta amarilla promedio (1994-2003) por barcos cerqueros en función al tipo de indicador objetos flotantes (FAD), no asociados (Fre) y asociados a manadas de delfines (Dol). Tomado de Fonteneau, 2005.

En el Pacífico Oriental, el atún aleta amarilla se distribuye desde la península de Baja California, México, hasta las costas de Perú y desde la costa del continente americano hasta los 150° longitud oeste (Hall *et al.*, 1992). Se estima que un tercio de la producción mundial de atún se captura en el OPO (CIAT, 2002). Para este océano y de manera general se reporta que las capturas de atún aleta amarilla por barcos cerqueros y vareros han ido en aumento durante el periodo 1976-2005; sobresaliendo el año 2003 cuando se registraron capturas récord, disminuyendo sustancialmente durante, 2004 y 2005 (Hoyle & Maunder, 2006).

De las flotas cerqueras que operan en el OPO, México posee la segunda en número de barcos (59) y la primera en volumen de bodega (56,163 m³) (CIAT, 2005a). Aunque los porcentajes de captura por especie son muy variables de un año a otro, se mantiene como especie objetivo el atún aleta amarilla que representa la mayor proporción del total de la captura, seguido del barrilete y un porcentaje importante en la captura incidental de diversas especies (CIAT, 1995; 2001; 2005b; 2008).

Más del 70% de las capturas se realizan sobre lances de cardúmenes asociados a delfines, en los cuales los atunes presentan una talla promedio de 91.8 cm (peso promedio 21.45 kg), le siguen las capturas de cardúmenes no asociados con una proporción que varía entre el 10% y el 25% y que presentan una talla

promedio de 83 cm (peso promedio 14.21 kg) y por último los cardúmenes asociados a objetos flotantes que presentan la talla promedio menor con 64.5 cm (peso promedio 7.65 kg) y que representan menos del 2% del total de la captura (Dreyfus-León & Robles-Ruiz, 2005), la talla de los atunes varía entre distintas pesquerías, tipos de pesca y zonas (Maunder, 2007). Se recomienda como medida de manejo el capturar organismos adultos que hayan tenido posibilidad de reproducirse previamente, si se considera que el atún aleta amarilla es adulto a partir de una talla de 90 cm aproximadamente, entonces, la mayor cantidad de juveniles que se capturan en esta pesquería es sobre lances asociados a objetos flotantes (82%), seguido de brisas (54%) y de delfines (32%) (Dreyfus-León & Robles-Ruiz, 2004).

2. ANTECEDENTES

Debido a la importancia que la pesquería de atún aleta amarilla representa a nivel mundial son extensos los estudios que se han hecho al respecto. En el OPO los primeros estudios que sugieren que la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) puede ser independiente del esfuerzo aplicado y estar más relacionada a la variabilidad ambiental fueron los llevados a cabo por Joseph & Calkins (1969) y Pella & Psaropulos (1975).

La primera de las variables ambientales con la que se relacionó la abundancia del atún aleta amarilla fue la temperatura superficial del mar (TSM), así se observó que sus movimientos estacionales estaban muy relacionados al desplazamiento de la isoterma de los 21 °C (Blackburn *et al.*, 1962; Broadhead & Barrett, 1964), posteriormente, Blackburn (1965, 1969) relaciona altas abundancias de este recurso en un intervalo de 20 °C y 30 °C. Ortega-García (1998) menciona que las mayores abundancias están relacionadas con un perfil térmico caracterizado por una TSM de 28 °C, lo cual coincide con otros estudios como el de Laevatus & Rosa (1963) y Castro-Ortiz & Quiñones-Velásquez (1987) quienes mencionan que el atún aleta amarilla está en concentraciones comerciales en regiones con TSM de 20°C a 28°C. Para el noroeste de México Trigueros-Salmerón (2003) reporta que el mayor número de lances de atún aleta amarilla y las mayores capturas se registran a una TSM entre los 22-26°C.

En lo referente a las preferencias de los tipos de indicador, Gómez-Muñoz *et al.* (1992) reportan diferencias en la TSM asociada a éstos, ya que mientras los lances sobre cardúmenes asociados a delfines ocurren en promedio a una TSM de 28 °C, los lances no asociados se encontraron a los 23 °C. Arenas *et al.*, 1992 reporta que para el caso de cardúmenes asociados a objetos flotantes las capturas son bajas a temperaturas bajas.

La mayoría de las aguas de OPO son pobres en nutrientes, sin embargo en zonas costeras y algunas otras en las que se presentan surgencias, frentes oceánicos y áreas de convergencia y divergencia se caracterizan por altos niveles de productividad biológica, y en ellas se han registrado abundancias altas de atún aleta amarilla (Blackburn, 1965; Sund *et al.*, 1981; Power & Nelson, 1991; Ortega-García & Lluch-Cota, 1996). Blackburn *et al.*, 1970 y Blackburn 1973 al usar datos de Cl_a, zooplancton y micronecton determinaron patrones de variabilidad estacional y espacial, de este modo trataron de evidenciar las correlaciones útiles para explicar las abundancias no solo de atún, también de sardina y anchoveta. Se ha documentado que la presencia de giros de mesoescala es un factor que incrementa la productividad biológica (McGillicuddy *et al.*, 1998; Willett *et al.*, 2006), y particularmente el atún aleta amarilla tiende a acumularse en los lados este y oeste de los giros originados en el Golfo de Tehuantepec (Manzo-Monroy, 2003).

El forzamiento del viento, expresado en surgencias y fenómenos de mesoescala, es uno de los factores que reducen la estratificación y mantienen los altos valores de biomasa (Oschlies & Garçon, 1998). En el Pacífico Mexicano los principales mecanismos son la variabilidad de los vientos alisios, las corrientes superficiales oceánicas y los sistemas de alta presión a lo largo del Golfo de México y el Mar Caribe que afectan el Océano Pacífico con vientos fuertes a través de aberturas estrechas en la orografía de Centro América (McCreary *et al.*, 1989). Así, se ha encontrado que el incremento en la velocidad del viento disminuye la captura por lance (Arenas *et al.*, 1992), también se ha relacionado la abundancia de aleta amarilla con las condiciones de viento que durante el invierno prevalecen en el Golfo de Tehuantepec registrando un retraso de tres meses entre éstas y la cosecha de micronecton en primavera (Blackburn, 1963). En cuanto a la velocidad del viento en la que los lances son más exitosos, Trigueros-Salmerón (2003) menciona que para el noroeste de México las mayores capturas se obtuvieron en áreas con predominancia de viento entre los 5 y 6 m/s. Para la zona sur de México, Popoca-Arellano (2003), menciona que en la región noroeste del Golfo de Tehuantepec prevalecen

condiciones de temperatura adecuadas para el atún y que su presencia en esta región no se ve afectada por la velocidad del viento.

3. AREA DE ESTUDIO

Recientemente se ha actualizado la información respecto a diferentes aspectos del OPO como son la circulación (Kessler, 2006), el forzamiento atmosférico (Amador *et al.*, 2006), aspectos de la hidrografía (Fiedler & Talley, 2006), la variabilidad de los flujos de calor (Wang & Fiedler, 2006), los giros de mesoescala y su importancia en la dinámica de la región (Willett *et al.*, 2006), incluso las variaciones interdecadales y el cambio climático (Mestas-Núñez & Miller, 2006).

Kessler (2006) presenta una nueva versión de lo que es la circulación en el OPO, en términos generales se conservan muchos de los rasgos que propuso Wirtky (1965; 1966; 1967), y se agregan rasgos más detallados al mismo tiempo que surgen interrogantes (figura 3).

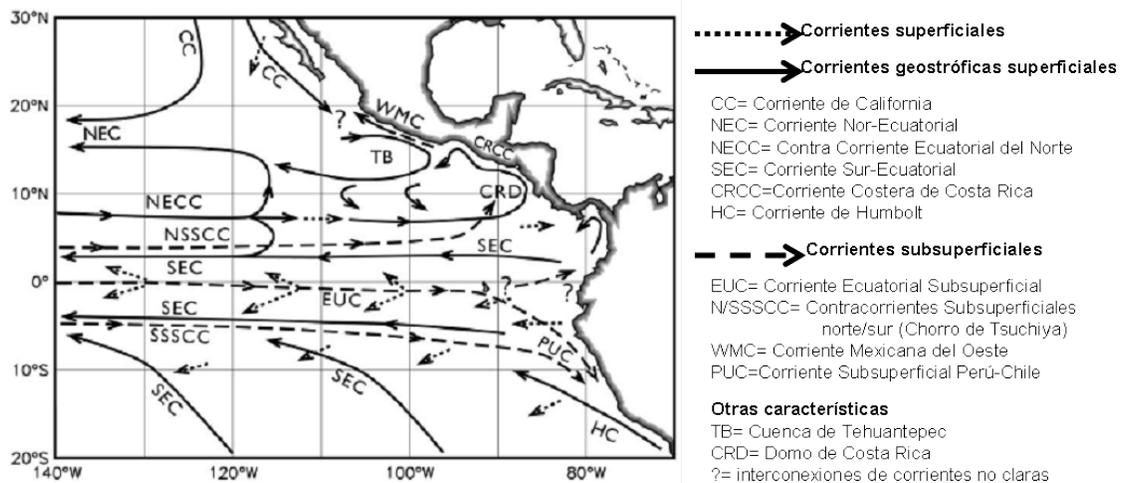


Figura 3. Esquema tridimensional de la circulación en el Océano Pacífico Oriental Tropical basada en datos recientes. Tomado de Kessler, 2006.

De manera general las costas mexicanas están influenciadas a lo largo de la costa occidental de la Península de Baja California por la Corriente de California (CC), hacia el sur se encuentra lo que en el esquema denominan la Cuenca de Tehuantepec (TB) que comprende la alberca cálida del Pacífico Mexicano y el Golfo de Tehuantepec en la superficie, mientras que la Corriente Mexicana del Oeste se

desplaza de manera subsuperficial pegada a la costa; en la parte más sureña se desplaza agua proveniente de Corriente Costera de Costa Rica (CRCC) que alcanza la región del Golfo de Tehuantepec.

Una breve descripción del área de estudio en la que se incluyen los principales rasgos oceanográficos de cada una de las zonas que conforman las costas mexicanas se presenta en la figura 4.

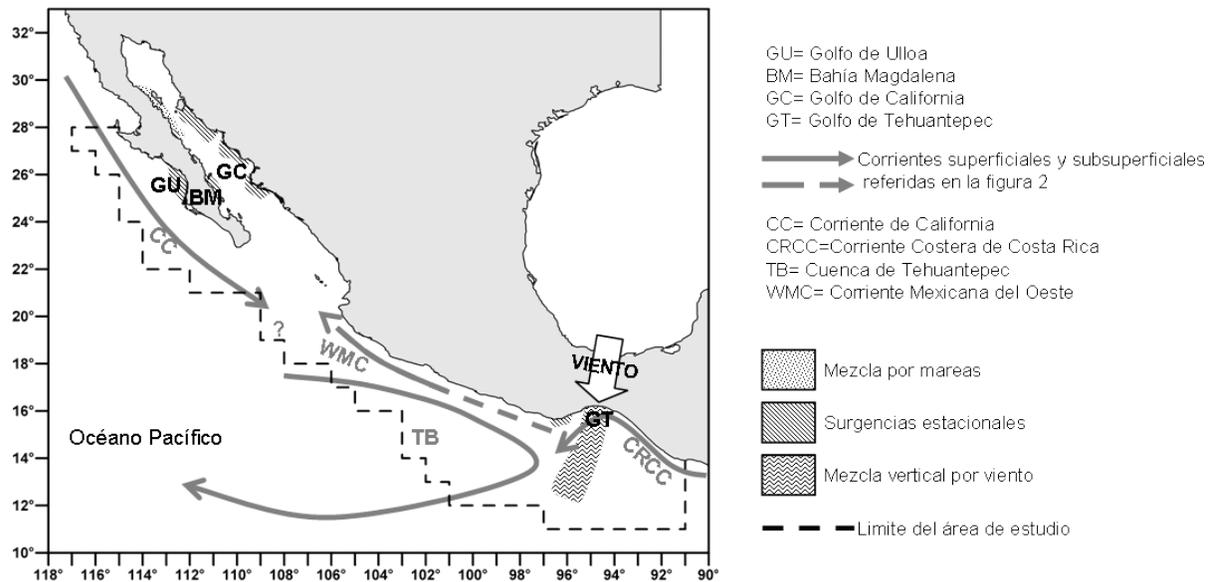


Figura 4. Esquema de las principales características del área de estudio.

3.1 Costa occidental de BCS (CO)

La costa occidental de la península de Baja California se encuentra en el borde austral del sistema de la Corriente de California (CC), que tiene gran influencia en la dinámica de la zona (figura 4). Entre los mecanismos de enriquecimiento más relevantes se encuentran las surgencias por viento que se originan al sur de las dos prominencias costeras y que incorporan a la superficie aguas subsuperficiales, frías y ricas en nutrientes, que posteriormente se transportan hacia mar abierto a lo largo de la costa, esto con una periodicidad estacional (Huyer, 1983).

Aunado a lo anterior, el sistema lagunar de Bahía Magdalena (BM) representa otra zona altamente productiva y que si bien depende del abastecimiento de nutrientes de las aguas oceánicas circundantes, también aporta elevadas concentraciones de material orgánico durante el refluo (Aguíñiga, 2000), estos factores propician grandes cambios en la abundancia y distribución de organismos planctónicos tanto dentro como fuera del área. (Martínez-López & Verdugo-Díaz, 2000).

A lo largo de las costas de Baja California se presentan los procesos de surgencia y advección con un gradiente que disminuye de norte a sur. Los dos periodos principales de enriquecimiento superficial ocurren durante la primavera, al mismo tiempo que se presentan los valores mínimos promedio de nivel medio del mar, que corresponden con la intensidad máxima de la CC. Debido a la combinación de vientos, surgencias y advección del norte, este periodo es el más frío en la zona; sin embargo, en la costa occidental de Baja California, la contribución relativa de la advección es escasa (Lluch-Belda, 1999) y la productividad primaria y secundaria están estrechamente relacionadas con los procesos costeros locales de surgencia (Del Monte, 2004).

3.2 Golfo de California (GC)

Es un mar marginal largo y delgado (figura 4). Se encuentra delimitado al oeste de los estados de la semidesértica Península de Baja California y al este por las costas continentales de Sonora y Sinaloa. El área ocupada por el golfo es de alrededor de los 150,000 km² (Roden & Emilson, 1980).

Las características oceanográficas del Golfo de California son reflejo de la combinación compleja de diversos factores, entre los que resaltan la interacción de tipos de agua y sistemas de corrientes (Torres-Orozco, 1993), forzamiento atmosférico (Roden, 1964), mezcla por mareas (Marione & Lavín, 1997), intercambios de calor y evaporación (Lavín *et al.*, 2006) entre otros.

En el Golfo de California se presentan dos mecanismos de enriquecimiento: surgencias generadas por corrientes de marea y surgencias costeras por viento. El primero de ellos ocurre principalmente en la región de las grandes islas donde los procesos de mezcla por mareas se intensifican por una disminución batimétrica de la luz de flujo, produciendo corrientes intensas, especialmente en el Canal de Ballenas, y altos niveles de bombeo de aguas subsuperficiales ricas en nutrientes inorgánicos (Badán-Dangón *et al.*, 1985).

El segundo tipo se presenta en ambas costas del golfo de manera alternada durante el año. El forzamiento del viento produce un transporte de aguas superficiales que son reemplazadas por aguas subsuperficiales más frías y con mayor concentración de nutrientes. Durante el invierno, vientos del noroeste producen surgencias a lo largo de la costa continental mientras que en verano los vientos del sureste generan surgencias en la costa peninsular. Tanto las características de fuerza y persistencia de los vientos de invierno, como la configuración vertical de los tipos de agua en dicha parte del año, permiten que los efectos de las surgencias costeras sean mucho más notorios y efectivos como sistema de enriquecimiento en la costa continental (Roden & Groves, 1959; Badán-Dangón *et al.*, 1985).

3.3 Pacífico Central Mexicano (PCM)

Esta región se define para este trabajo desde Cabo Corrientes, Jalisco, hasta las costas de Puerto Ángel, Oaxaca (figura 4). Gran parte de esta zona es denominada Alberca Cálida del Pacífico Oriental, centrada en los 16° N frente a las costas de Michoacán y Guerrero (Trasviña *et al.*, 1999), en la cual las temperaturas se mantienen por arriba de los 28 °C durante todo el año. En particular la Alberca Cálida del Pacífico Mexicano (ACM), aunque persistente a lo largo del año, exhibe marcados cambios estacionales e interanuales en su extensión superficial. Estos cambios de extensión se deben, en gran medida, a la variabilidad en la advección de calor por corrientes superficiales y a fenómenos que disminuyen la temperatura

superficial mediante procesos de surgencias de aguas subsuperficiales (Magaña *et al.*, 1999).

En esta área se presenta un flujo costero subsuperficial en sus inicios y que después se vuelve superficial denominado por Kessler (2006) como Corriente Mexicana del Oeste (CMW) y que converge con la Corriente de California y la Cuenca de Tehuantepec. Aunque este mecanismo es poco conocido, esta corriente tiene una intensidad alrededor de los 5 cms^{-1} durante el periodo de junio a octubre y se cree que aumenta el transporte de agua tropical hacia el Golfo de California; en contraparte, durante la primera parte del año este flujo se debilita o se revierte y permite la llegada de aguas de la Corriente de California a zonas tropicales.

3.4 Golfo de Tehuantepec (GT)

El Golfo de Tehuantepec se localiza en la porción sureste de la República Mexicana, es una región aproximadamente de $125,000 \text{ km}^2$ (Gallegos-García & Barberán-Falcón, 1998) (figura 3).

El Istmo de Tehuantepec mide unos 200 km entre el Golfo de México y el Golfo de Tehuantepec, y es una discontinuidad de 40 km de la cadena montañosa de la Sierra Madre que va de oeste a este. De manera general, los vientos en esta zona vienen del norte y son más notorios durante los meses de octubre a marzo con un promedio de 27 km/hora (Monreal-Gómez & Salas de León, 1998). También ocurren vientos del noreste, noroeste y oeste; estos últimos con mayor frecuencia en primavera. Durante los meses de verano los vientos son suaves con direcciones del norte, noreste y este, alterados con la presencia ocasional de perturbaciones tropicales. Según Blackburn (1962), los meses de mayo y septiembre son los que presentan la mayor variabilidad por ser la transición entre los meses de viento suave y la época de nortes.

La circulación en la región del Golfo de Tehuantepec está influenciada por la Contracorriente Norecuatorial (NECC) y la Corriente Costera de Costa Rica (CRCC) (Wirtky, 1967). La CRCC se desvía hacia el oeste debido a que los vientos Alisios soplan del noroeste; este cambio es sustentado por un flujo hacia el sur, producto de “los tehuanos” (Molina-Cruz & Martínez-López, 1994).

La NECC durante verano está relacionada con el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) hasta 10° al norte del ecuador, esto ocasiona que la CCNE fluya con dirección a la costa y fortalezca a la CCCR que extiende su influencia a latitudes de los 20° N definiendo además el domo de Costa Rica; ya durante el otoño la ZCIT empieza su repliegue hacia el ecuador lo que ocasiona el debilitamiento de la NECC. Durante el invierno la NECC sólo llega hasta los 120° W, lo que ocasiona un debilitamiento de CCCR y flujos costeros toman dirección al sur (Wirtky, 1967).

Los mecanismos de enriquecimiento que se observan en el GT son las surgencias que se presentan en las costas de Oaxaca y la mezcla vertical producto del efecto del viento del norte o “tehuanos”; además, la formación de un giro anticiclónico que exporta la productividad a regiones oceánicas (Arias-Aréchiga, 2005). Autores como Fiedler (1994) y Ortega-García y Lluch-Cota (1996), han reportado que los valores máximos de concentración de pigmentos fotosintéticos se registran durante el invierno.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La flota atunera mexicana de cerco registra los mayores volúmenes de captura sobre cardúmenes asociados a delfines, gran parte de estas capturas se realizan en altamar donde predomina este tipo de cardúmenes, mientras que, cercano a las costas el esfuerzo de pesca se divide principalmente entre éstos y los cardúmenes no asociados.

Se han determinado diferencias en el rendimiento de los lances según el tipo de indicador sobre el que se pesca, siendo los cardúmenes asociados a delfines los más redituables, y no obstante que la mortalidad de estos organismos ha disminuido substancialmente, los grupos ambientalistas continúan considerando este tipo de pesca como un peligro para las poblaciones de delfines. Por su parte la pesca sobre cardúmenes libres o brisas además de presentar un menor rendimiento por lance, tiene la desventaja de incidir en organismos juveniles y potenciales reproductores, lo que podría repercutir en reclutamientos posteriores.

Los factores que determinan la presencia de uno u otro tipo de indicador, y que generan una fuente de variabilidad adicional a las de carácter estacional e interanual que afectan las capturas, no han sido analizados. En este sentido se sugiere que hay condiciones ambientales particulares que así como afectan la abundancia estacional e interanual del recurso también afectan la presencia del tipo de indicador.

En el presente estudio se plantea la hipótesis de que los factores ambientales determinan la presencia de lances asociados a delfín o de cardúmenes no asociados así como su éxito relativo en las capturas en las costas del Pacífico Mexicano.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

Determinar la variabilidad de la presencia de los indicadores de los cardúmenes de atún (asociados a delfines y no asociados) y de la captura total obtenida en las costas mexicanas en función de condiciones ambientales, tales como viento, temperatura superficial del mar y concentración de pigmentos fotosintéticos.

5.2. Objetivos específicos

a) Determinar las condiciones ambientales que favorecen la presencia de cardúmenes asociados a delfines y no asociados.

b) Determinar si existe diferencia en las capturas entre ambos indicadores de pesca bajo las mismas condiciones ambientales a lo largo de las costas mexicanas incluyendo las zonas de alta productividad.

c) Caracterizar la variabilidad de los parámetros ambientales que puedan determinar la presencia de ambos indicadores donde opera la flota de cerco.

6. METODOLOGÍA

6.1 Bases de datos

Las bases de datos utilizadas en el presente trabajo se ordenaron en base a promedios mensuales por cuadrantes de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, considerando la región cercana a la costa (figura 5) donde la presencia de cardúmenes no asociados y asociados a delfines es frecuente. Se analizó una serie de siete años (1998-2004) para los datos pesqueros y de ocho para los ambientales.

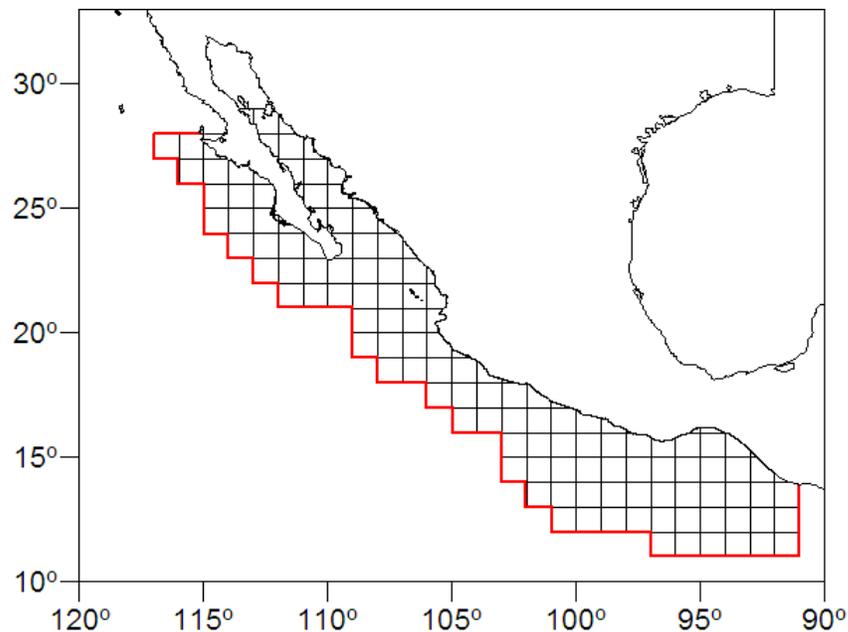


Figura 5. Área considerada en este estudio y su división en cuadrantes de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$.

6.1.1 Bitácoras de captura de la flota cerquera mexicana

Los datos pesqueros que se han utilizados en este estudio corresponden aproximadamente al 80% de las bitácoras de la flota atunera mexicana de cerco que opera en el OPO y que han sido recopiladas, capturadas y depuradas en el Proyecto de Pelágicos Mayores del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN). Los datos corresponden a los registros diarios de los lances de pesca, en los que se reporta la fecha, latitud, longitud, tipo de pesca y toneladas capturadas de

atún aleta amarilla para el periodo 1998-2004. En el caso específico del tipo de pesca se tomaron en cuenta los lances realizados sobre cardúmenes asociados con manadas de delfines y cardúmenes libres o “brisas”. Las capturas se uniformizaron a una resolución temporal mensual y espacial de 1° x 1°, para poder compararlas con las variables ambientales. No se consideraron en este trabajo los lances asociados a objetos flotantes debido a que su distribución está definida principalmente por las corrientes, y a que su proporción en el total de los lances es mínima (menor al 3%).

6.1.2 Temperatura Superficial del Mar (TSM)

Esta base de datos se derivó a través del procesamiento de las imágenes mensuales del sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR), con una resolución de 9 km. Las imágenes fueron procesadas con el software Windows Image Management (Kahru, 2005) para obtener valores promedio mensual de 1° x 1° para el periodo 1998-2005.

6.1.3 Concentración de Clorofila-a (C1a)

Esta base de datos se derivó a través del procesamiento de las imágenes mensuales y semanales generadas por el sensor Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS) con resolución espacial de 9 km x 9 km. Las imágenes fueron procesadas con la ayuda del software Windows Image Management (Kahru, 2005) para obtener una resolución final de de 1° x 1° promedio mensual.

6.1.4 Velocidad del Viento (VV)

Los datos de velocidad del viento se obtuvieron de la página del Physical Oceanography DAAC (PO.DAAC) del Jet Propulsion Laboratory (JPL) de los sensores Quikscat, ERS-1 y 2 (http://podaac.jpl.nasa.gov/DATA_CATALOG/ow.html & <http://poet.jpl.nasa.gov/>). Al igual que las otras variables la información fue analizada para obtener promedios mensuales por área de un grado.

6.2 Análisis de los datos

6.2.1 Análisis espacio-temporal de las capturas por tipo de lance.

La información se dividió para su análisis en cuatro zonas establecidas previamente en base a las características oceanográficas mencionadas en la literatura: Costa Occidental de B.C., Golfo de California, Pacífico Central Mexicano y Golfo de Tehuantepec.

Para observar la distribución espacial de los lances por tipo de indicador y poder apreciar las zonas con mayor densidad, éstos fueron representados gráficamente en mapas a través de la posición geográfica de los mismos. Para determinar la actividad de la flota a lo largo del periodo de estudio se obtuvieron los promedios mensuales de las capturas por tipo de indicador en cada una de las zonas anteriormente descritas.

Para observar los periodos de altas capturas así como los de ausencia de esfuerzo por parte de la flota en cada una de las zonas, se utilizaron gráficas de isolíneas, las cuales además permitieron la comparación entre los indicadores de pesca y su relación gráfica con eventos de mesoescala que pudieran propiciar su ocurrencia.

6.2.2 Condiciones ambientales que favorecen la presencia de cardúmenes asociados y no asociados.

Se relacionaron por medio de histogramas de frecuencias los valores de capturas (toneladas), número de lances y captura por unidad de esfuerzo (toneladas por lance) con las distintas variables (TSM, Cla y VV).

Considerando los promedios de los cuadrantes de 1° x 1° correspondientes a las variables, se relacionaron los valores por cuadrante de capturas, actividad y

CPUE; en los histogramas se muestran los valores de los indicadores de pesca tratando de evidenciar sus preferencias. Este análisis se llevó a cabo para la totalidad de los lances registrados en toda el área de estudio.

6.2.3 Diferencia en las capturas entre ambos indicadores de pesca bajo las mismas condiciones ambientales

Para determinar si existen diferencias entre las capturas hechas sobre cardúmenes asociados a delfines y no asociados que se efectuaron en un mismo cuadrante durante el mismo mes. Para determinar las diferencias se calcularon la CPUE, la captura promedio, y número de lances promedio por mes para cada indicador.

6.2.4 Análisis espacio-temporal de las variables oceanográficas para un año promedio (1998-2005)

Con los datos de TSM, Cl_a y VV del periodo 1998 – 2005 se construyeron gráficos de isolíneas a partir de las matrices de promedios mensuales por cuadrante de 1° x 1°, para apoyar la identificación y caracterización de sus principales características a lo largo de las costas mexicanas.

6.2.5 Intensidad del esfuerzo de pesca y condiciones ambientales

La variabilidad en el esfuerzo de pesca se determinó considerando 84 meses de capturas que comprende todo el periodo de estudio (1998-2004). En primera instancia analizando el total de meses en que se registró actividad en cada uno de los cuadrantes de 1°x1° sin hacer diferencias en el tipo de lance. Posteriormente se separaron entre los cuadrantes que presentaron actividad sobre cardúmenes asociados a delfín y no asociados, además se consideraron los cuadrantes en los que ambos indicadores se registraron al mismo tiempo.

Con la finalidad de encontrar funciones de las variables ambientales (TSM, Cla y VV) cuyos valores separaran o discriminaran lo más posible a los grupos existentes en cada una de las zonas (CO, GC, PCM y GT) se aplicó un análisis de discriminantes. Este permitió además, evidenciar las diferencias entre las preferencias de los tipos indicadores de pesca: asociados a delfines, no asociados y mixtos.

Estas funciones o ejes discriminantes, son combinaciones lineales de las variables originales de la forma:

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_p X_p$$

donde p es el número de predictores, en nuestro caso $p = 3$, y los coeficientes $\{a_0, a_1, \dots, a_3\}$ se eligen de tal forma que se consiga la máxima separación entre los grupos existentes, es decir, tratando de que los valores que toman estas funciones discriminantes Y en los grupos, sean lo más diferentes posibles.

La Lambda de Wilks para el conjunto de p variables independientes ($p = 3$ o sea TSM, Cla y VV), se utilizó para medir las desviaciones dentro de cada grupo (es decir por un lado las zonas y por otro los tipos de indicador) respecto a las desviaciones totales sin distinguir los grupos y está dada por la ecuación:

$$\lambda = \frac{\text{Varianza entre grupos}}{\text{Varianza dentro de los grupos}}$$

Donde en el numerador se encuentra la suma de cuadrados intra-grupos, la cual mide el cuadrado de las desviaciones de cada uno de los datos con respecto a la media del grupo, llamado centroide. En el denominador se encuentra la suma de cuadrados totales, la cual mide el cuadrado de las desviaciones de cada uno de los datos con respecto a la media de todos los datos (media total sin discriminar grupos).

La suma de cuadrados totales es el resultado de la suma de cuadrados entre los grupos y dentro de los grupos. Si el valor de I es próximo a 1, los grupos estarán mezclados y el conjunto de variables independientes no será adecuado para construir la función discriminante, dado que el mayor porcentaje de variabilidad estaría siendo representado por la variabilidad dentro de los grupos (Ferrán-Aranaz, 2001).

Una vez obtenidas las funciones discriminantes, nuestro objetivo fue establecer la contribución relativa de las distintas variables a la discriminación, es decir, determinar cuáles fueron las variables que más contribuyen a discriminar entre un grupo y otro. Para esto se utilizó la posición de los centroides de grupo que representan el valor medio que alcanzan las funciones discriminantes en dicho grupo y, por tanto, se calcula como la media de las puntuaciones discriminantes para los individuos (zonas e indicadores en cada caso) pertenecientes al grupo.

Las coordenadas de los centroides de los distintos grupos determinan la posición media del grupo en el espacio bidimensional definido por los ejes discriminantes. Si los centroides se separan respecto a un determinado eje, este eje habrá cumplido bien su función de separar a los grupos, es decir tendrá mucho poder discriminatorio. Por el contrario, si los grupos no se distancian substancialmente, las coordenadas de los centroides respecto a ese eje serán muy similares entre sí.

Por último se analizan los coeficientes estandarizados, los cuales ya no dependen de unidades de medida y tienen la misma media, igual a 0, y la misma varianza, igual a 1, facilitando su comparación. De esta forma el valor absoluto del un coeficiente estandarizado, indicará la importancia relativa de la variable correspondiente en el cálculo de la función discriminante y nos permitirá determinar qué variables contribuyen más a la discriminación: cuanto mayor sea el coeficiente, mayor será la contribución de esa variable.

Este análisis permitió además, clasificar cuadrantes del grupo originalmente asignado en base a características oceanográficas generales, en otro grupo más acorde con sus características en momentos específicos, evidenciando la gran variabilidad. En cuanto a las diferencias entre la clasificación original y la que sugiere el análisis discriminante, se elaboraron mapas en los que se plasma el porcentaje de cambio que presenta cada cuadrante mediante la clasificación que mes con mes le asignó el análisis. Los valores con cero (zonas claras) representan zonas con condiciones ambientales similares o cercanas al promedio a lo largo del periodo de estudio.

6.2.6 Variabilidad ambiental del área de estudio

Para la identificación de los procesos de mesoescala se aplicó el análisis de componentes principales (ACP) considerando que éste permite la mejor comprensión de la estructura de correlación existente entre las variables que definen un sistema, además de establecer hipótesis sobre la interrelación existente entre las mismas (Chatfield y Collins, 1980).

Para estudiar las relaciones que se presentan entre p variables correlacionadas (que miden información común) se puede transformar el conjunto original de variables en otro conjunto de nuevas variables no correlacionadas entre sí (que no tenga repetición o redundancia en la información) llamados componentes principales. Las nuevas variables son combinaciones lineales de las anteriores y se van construyendo según el orden de importancia en cuanto a la variabilidad total de los datos.

En el caso del presente estudio, la matriz de datos X está constituida por el conjunto de vectores de las observaciones $X_{[ij]}$, $j=1,\dots,p$ y donde cada vector $X_{[ij]}$ presenta la variable j -ésima para todas las observaciones y donde X , es la matriz de datos formada por "n" observaciones (134 cuadrantes) con "p" variables (3 variables ambientales) en sus valores mensuales por el todo el periodo de estudio (1998-

2004). El ACP se aplicó para cuadrantes con presencia de atún aleta amarilla sin importar el indicador de pesca; posteriormente se sometieron por separado a este análisis los cuadrantes con presencia de cardúmenes no asociados, asociados a delfín y mixtos. También se graficó en un mapa el patrón de distribución del primer componente para hacer más evidente las zonas donde ejerce mayor influencia cada una de las variables que son relevantes para ese componente.

6.2.7 Funciones Empíricas Ortogonales

En climatología, el análisis de componentes principales (ACP) ha sido transformado de un análisis multivariado a un contexto espacio-tiempo, esta técnica recibe el nombre de análisis de Funciones Empíricas Ortogonales (FEOs) (Wackernagel, 1998) es una técnica estándar para eliminar la información redundante con la mínima pérdida de variabilidad (Gutiérrez *et al.*, 2004). Esto se logra proyectando el conjunto de datos en un nuevo espacio de menor dimensión que el original, donde las nuevas variables (dimensiones) representen aquellas direcciones del espacio donde los datos tienen mayor varianza; en otras palabras, el ACP es una técnica eficiente para comprimir datos (Preisendorfer & Mobley, 1988).

Según Wackernagel (1998) se definen de la siguiente manera este análisis múltiple o multivariado de series de tiempo se expresa así:

$$z(t) = (Z_1(t), \dots, Z_i(t), \dots, Z_N(t))$$

un vector estacionario dependiente de segundo orden de funciones aleatorias $Z_i(t)$ donde el índice i se refiere a las diferentes estaciones (múltiples series de tiempo) o a diferentes variables.

La varianza del vector $z(t)$ es definida como:

$$\text{var}(z(t)) = [\sigma_{ij}] = \mathbf{V},$$

donde V es la matriz varianza-covarianza.

La correlación $Z_i(t)$ es proyectada en las Funciones Empíricas Ortogonales no correlacionadas $Y_p(t)$ usando una matriz ortogonal Q $N \times N$

$$\mathbf{z}(t) = \mathbf{Q}\mathbf{y}(t)$$

donde $\mathbf{y}(t) = (Y_1(t), \dots, Y_p(t), \dots, Y_N(t))$.

por lo que tenemos la ecuación

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{Q}^T \mathbf{z}(t)$$

con

$$E[\mathbf{y}(t)] = 0 \quad \text{y} \quad \text{var}(\mathbf{y}(t)) = \mathbf{\Lambda}$$

donde $\mathbf{\Lambda}$ es la matriz diagonal de los eigenvalores de V y Q corresponde a los eigenvectores con

$$\mathbf{Q}^T \mathbf{Q} = \mathbf{I}$$

Según Davis (1976), la eigenfunción dominante o primer modo (la función con el mayor eigenvalor), representará un porcentaje mayor de la varianza, comúnmente asociada con la señal estacional de los datos, el segundo modo de variabilidad será perpendicular (ortogonal) a la respuesta estacional del sistema. La serie de amplitudes temporales de cada eigenfunción puede ser comparada con otras variables o con índices de variabilidad climática.

Los datos de TSM, Cla y VV se sometieron a la técnica de FEOs, considerando que las tres eigenfunciones aportan una variabilidad estadísticamente significativa,

se buscara la asociación de los modos seleccionados con algún fenómeno en particular como la variabilidad anual e interanual.

7. RESULTADOS

A lo largo del periodo de estudio es posible observar una gran variabilidad tanto en número de lances como en capturas totales por año. El total de lances analizados fue de 19,769 de los cuales el 72% correspondió a lances sobre cardúmenes no asociados y solo el 28% a los asociados a delfines. En lo que se refiere al número de lances totales por año (figura 6b) sobresale 2003 como el año con mayor actividad (cerca de 3,400 lances); más del 70% de éstos, realizados sobre cardúmenes no asociados. En contraste, el año con menor número de lances fue el 2000 (2,400 aproximadamente). La proporción de lances sobre cardúmenes no asociados fue mayor en todos los años respecto a los realizados sobre los asociados a delfín. En cuanto a las capturas anuales totales (figura 6a) fue el año de 1999 en el que se capturó más atún aleta amarilla (34,000 t); con excepción del año 2004 las capturas mayores se obtuvieron en cardúmenes no asociados. En relación al comportamiento de la CPUE (figura 6c), la generalidad es que los cardúmenes asociados a delfines presentan un mayor rendimiento por lance.

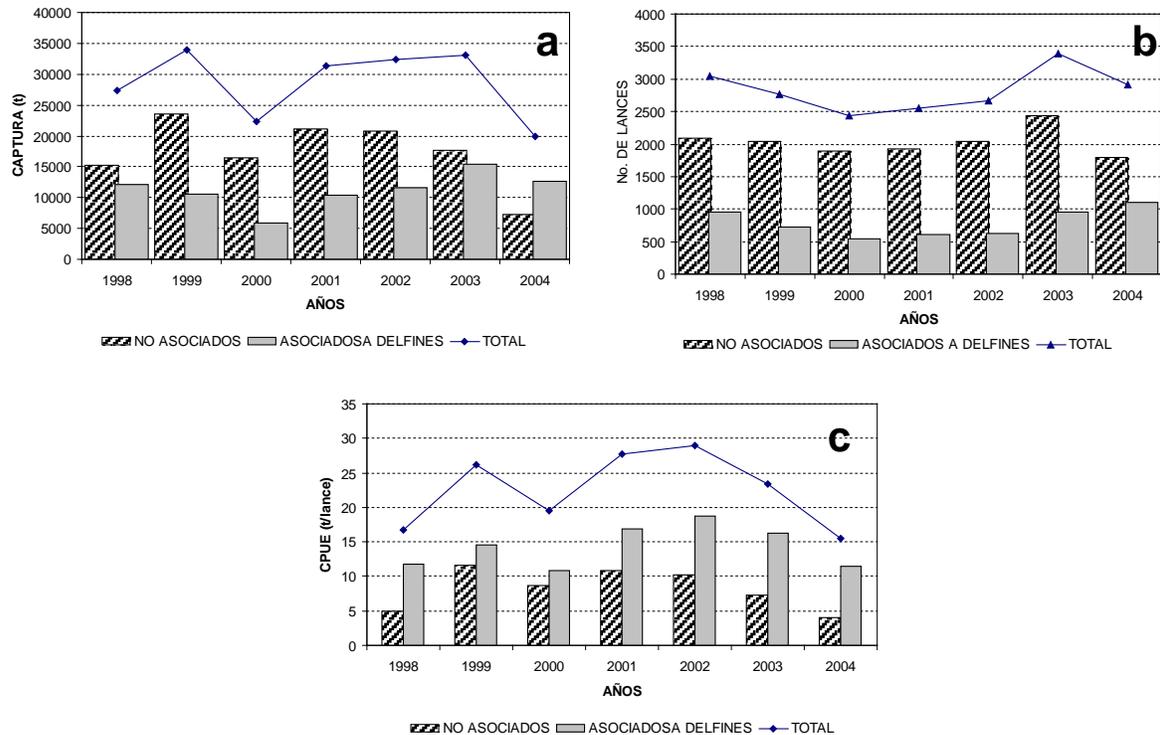


Figura 6. a) Número de lances por año y por tipo de indicador en el área de estudio durante el periodo 1998 – 2004. b) Captura anual total y por tipo de indicador en el área de estudio durante el periodo 1998 – 2004. C) CPUE total y por tipo de indicador en el área de estudio durante el periodo 1998 – 2004.

En la distribución espacial de los lances sobre atún aleta amarilla (figura 7) se pueden observar las zonas de mayor intensidad de esfuerzo pesquero por parte de la flota atunera mexicana durante el periodo 1998-2004. Los lances sobre cardúmenes no asociados que se registraron en el periodo de estudio fueron 14,239, la distribución espacial de los mismos muestra que la mayor densidad se observa cercana a las costas, con predominancia en la costa oriental del Golfo de California, la costa occidental de la Península de Baja California y en menor proporción las costas de Guerrero y Oaxaca (figura 7a); otro aspecto a resaltar es que este tipo de cardúmenes son encontrados en densidades importantes a mayores latitudes que los asociados a mamíferos marinos.

Los lances realizados sobre cardúmenes asociados a delfines fueron 5,530 (figura 7b) y tuvieron una distribución más dispersa a lo largo del área de estudio con

mayor presencia en zonas alejadas de la costa. Sin embargo, a lo largo del talud continental frente a las costas de Sinaloa y Nayarit se presentaron con una densidad alta, al igual que en la costa occidental de la Península de Baja California.

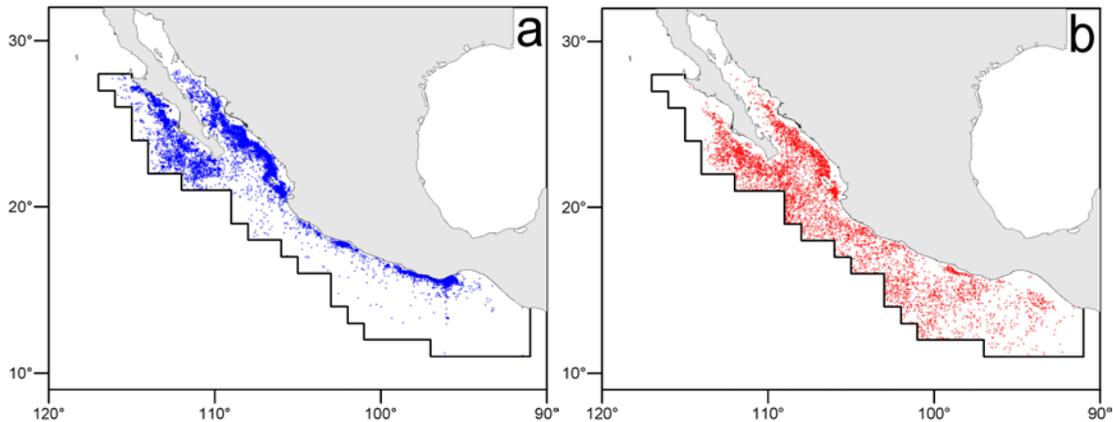


Figura 7. Distribución de lances sobre atún aleta amarilla realizados por la flota atunera mexicana en el área de estudio durante el periodo 1998 – 2004. A) Lances sobre cardúmenes no asociados o brisas y b) lances realizados sobre cardúmenes asociados a manadas de delfín.

7.1 Análisis espacio-temporal de las capturas por tipo de lance.

7.1.1 Análisis por áreas

El Golfo de California es la zona que más capturas registró con un promedio anual de 13,500 t, seguida por el Golfo de Ulloa y la costa del Pacífico (6,600 y 6,500 t respectivamente) y por último el Golfo de Tehuantepec con alrededor de 3,900 t. Las capturas son sumamente variables, en el análisis de las mismas por tipo de indicador y por zona se observa otro aspecto de esta variabilidad. En la figura 8 se muestran las capturas de cardúmenes asociados a delfines y los no asociados, donde se identifica el periodo 1999-2002 (delimitado por línea punteada) en el que en las zonas asociadas con centros de productividad biológica (CO, GC y GT) las capturas predominantes fueron sobre cardúmenes no asociados, en tanto que en la zona de menor productividad (CPM) el comportamiento fue inverso.

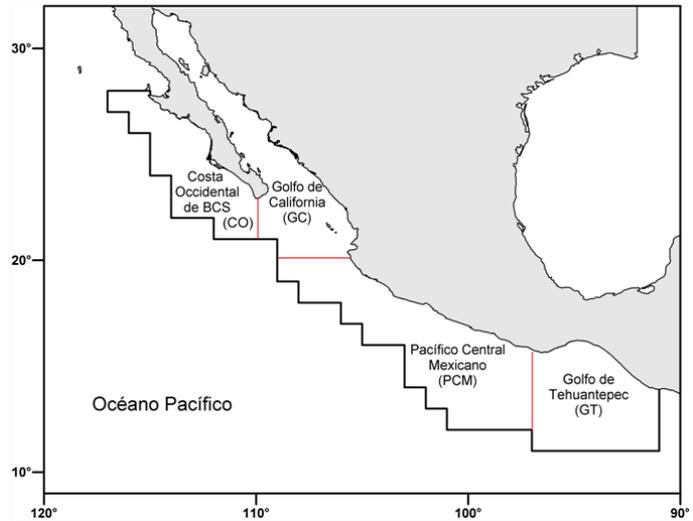
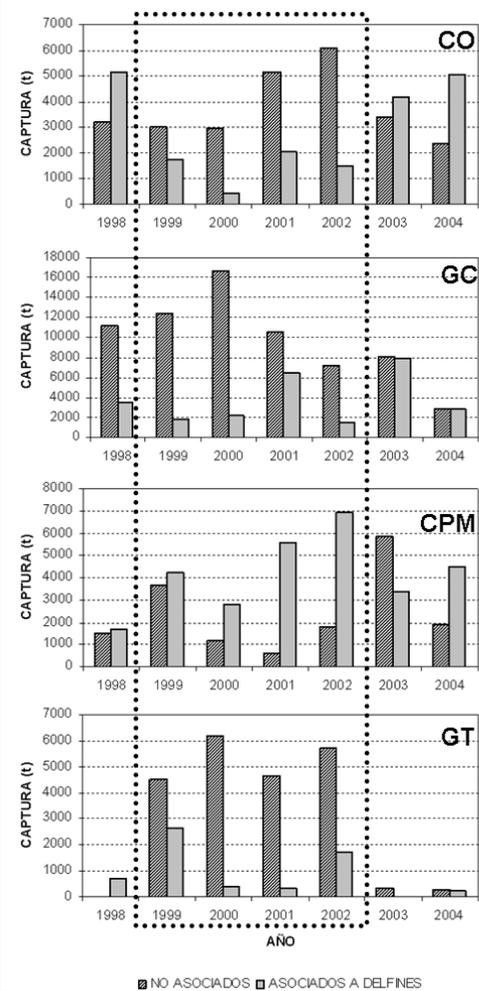


Figura 8. Capturas anuales por tipo de indicador en cada una de las zonas analizadas.

7.1.2 Análisis temporal de las capturas por tipo de indicador por área

En la figura 9 se muestran las isolíneas de capturas en promedios mensuales de los dos indicadores en la costa occidental de Baja California Sur. De manera general se puede observar una gran variabilidad, incluso periodos donde no hubo actividad por parte de la flota (en color gris). La CO es una zona en la que la presencia de cardúmenes no asociados (figura 9a) es frecuente a lo largo del año, con capturas más significativas durante los meses de verano y otoño. En el caso de los cardúmenes asociados a delfines (figura 9b) la actividad de la flota fue más irregular, las capturas mayores no se presentaron en una época bien definida; se distinguen temporadas de abundancia alta en cada año, es decir, 1998, 2001 y 2002

presentaron capturas importantes durante el invierno, mientras que durante el 2004 se registraron en los meses de primavera. Los años de 1999 y 2003 fueron más favorables para la pesca durante el verano, el año 2000 parece haber tenido condiciones poco propicias para la presencia de este indicador ya que se registró menos actividad de la flota que en el resto del periodo.

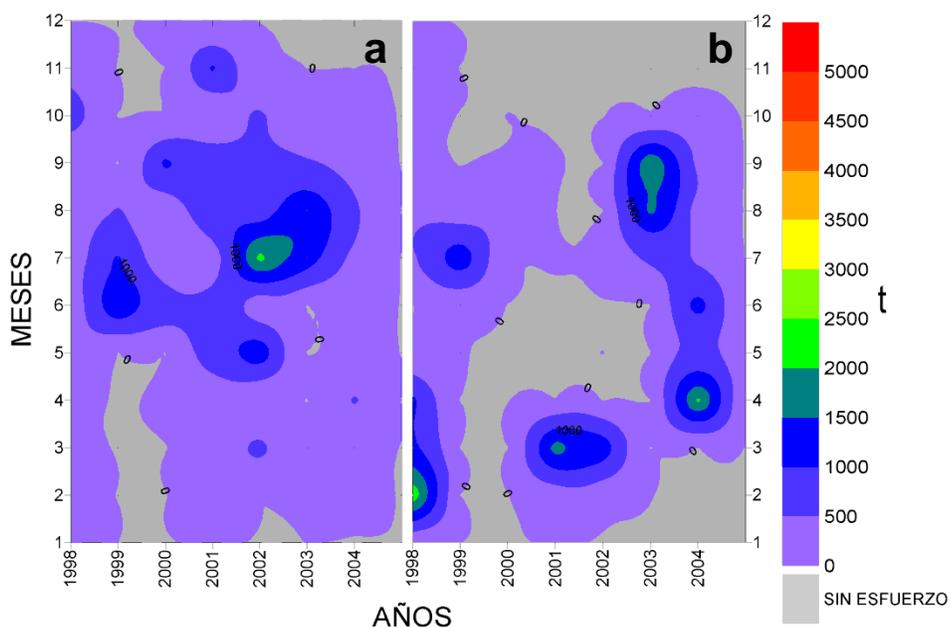


Figura 9. Isolíneas de captura mensual (en toneladas) registradas en la Costa Occidental de la Península durante el periodo 1998-2004 a) Cardúmenes no asociados b) Cardúmenes asociados a delfines. En gris se indican los periodos durante los cuales la flota no presentó esfuerzo sobre el indicador.

La actividad de la flota en el GC se desarrolla prácticamente durante todo el año con capturas mayores durante los meses de primavera para los cardúmenes no asociados (figura 10a), mientras que para los cardúmenes asociados a delfines (figura 10b) el periodo de capturas mayores se presenta a finales de primavera y verano. Las diferencias entre los dos indicadores son notables, sobresaliendo las capturas de cardúmenes no asociados que rebasan las 1,500 toneladas durante dos o tres meses a lo largo de varios años.

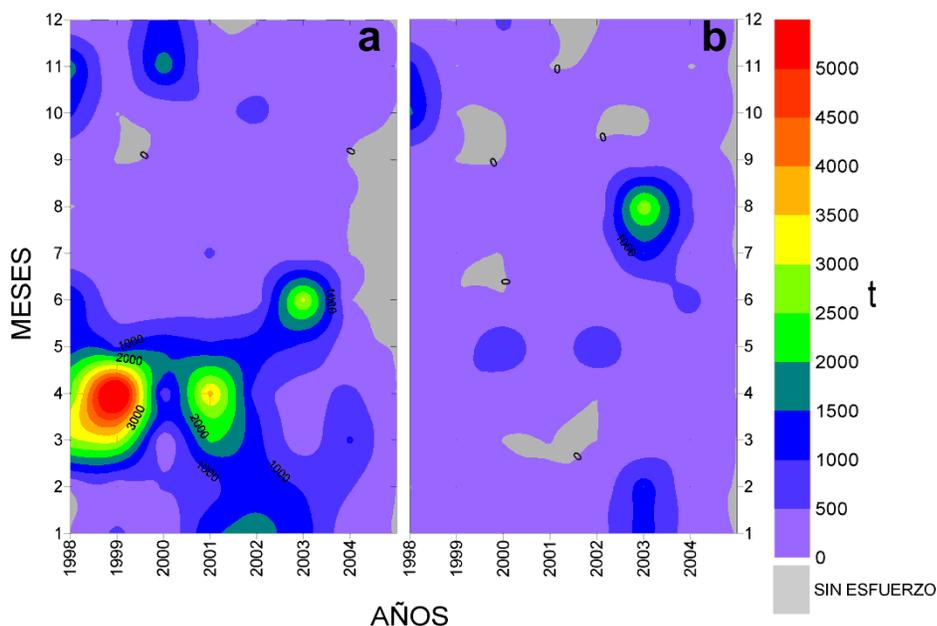


Figura 10. Isolíneas de captura mensual (en toneladas) registradas en el Golfo de California durante el periodo 1998-2004 a) Cardúmenes no asociados b) Cardúmenes asociados a delfines. En gris se indican los periodos donde la flota no presentó esfuerzo sobre el indicador.

Las capturas de la costa del Pacífico Mexicano (figura 11) fueron las que registraron mayor presencia de cardúmenes asociados a delfines a lo largo de todos los años. Las capturas sobre cardúmenes no asociados se restringen a la primera mitad del año con un comportamiento constante, aunque es de resaltar dos años con ciertas anomalías: 2001 y 2003. En el 2001 dos periodos llaman la atención febrero-abril en la que la flota no registró actividad sobre este indicador y una actividad tardía en torno a septiembre; la otra anomalía es la que corresponde a capturas importantes que se registraron en el periodo abril-mayo del 2003.

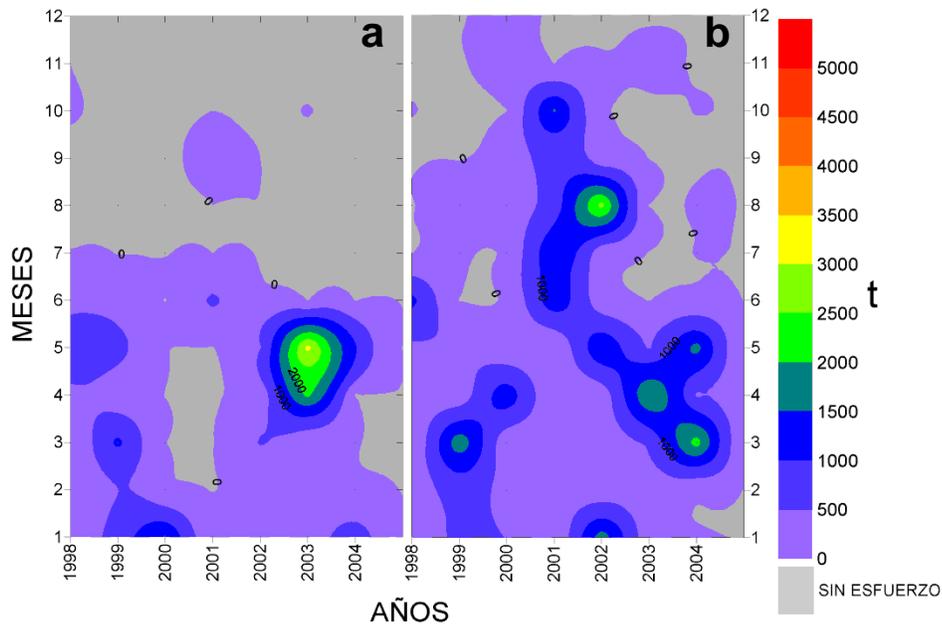


Figura 11. Isolíneas de captura mensual (en toneladas) registradas en la costa del Pacífico Mexicano durante el periodo 1998-2004 a) Cardúmenes no asociados b) Cardúmenes asociados a delfines. En gris se indican los periodos donde la flota no presentó esfuerzo sobre el indicador.

Al igual que en la zona anterior, la actividad de la flota cerquera en el Golfo de Tehuantepec se restringió a los primeros meses en lo que se refiere a la pesca sobre cardúmenes no asociados (figura 12a); estas capturas fueron importantes sobre todo en el periodo 1999-2002 durante los meses de enero y febrero, disminuyendo los siguientes meses hasta desaparecer a lo largo del segundo semestre. La presencia de cardúmenes asociados a delfines (figura 12b) fue más constante a lo largo del año pero en su mayoría con capturas menores a las 500 t, y sólo durante el mes de abril de 1999 y agosto del 2002 se registraron capturas mayores de este valor. Los años 1998, 2003 y 2004 registraron las menores capturas del periodo como se muestra en la figura 8.

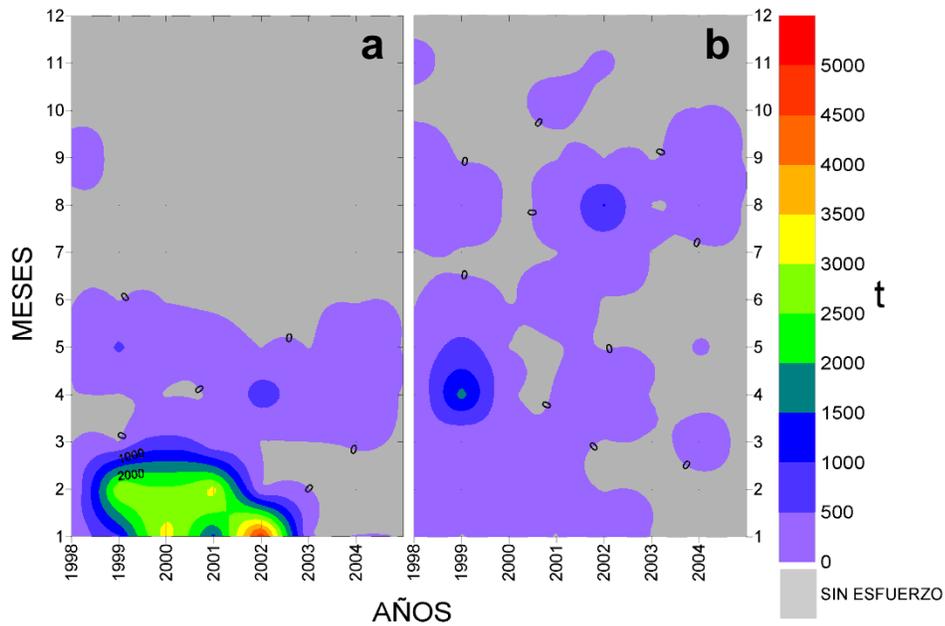


Figura 12. Isolíneas de captura mensual (en toneladas) registradas en el Golfo de Tehuantepec durante el periodo 1998-2004 a) Cardúmenes no asociados b) Cardúmenes asociados a delfines. En gris se indican los periodos donde la flota no presentó esfuerzo sobre el indicador.

7.2 Condiciones ambientales que favorecen la presencia de cardúmenes asociados y no asociados.

7.2.1 Temperatura superficial del mar

La distribución de frecuencia de las capturas en relación a la temperatura superficial del mar con la que se asocian se presenta en la figura 13a; en el caso de las capturas de cardúmenes no asociados se observan dos picos correspondientes a las temperaturas de 23 °C y 27 °C, en contraste, los cardúmenes asociados a delfines muestran un solo máximo que se registra a los 29 °C.

En cardúmenes no asociados, cuadrantes con temperaturas por debajo de los 28 °C presentan las capturas mayores mientras que en cardúmenes asociados a delfines los que las presentan tienen temperaturas mayores a 29 °C. En la figura 13b se muestra el número de lances asociados a la temperatura en el caso de ambos indicadores la tendencia es muy similar al comportamiento de las capturas, sin

embargo, se observa que sólo en cuadrantes con temperatura de 29 °C los lances sobre delfín superan a los no asociados.

En la figura 13 se muestra la relación de la CPUE con la TSM en la cual se puede observar un mayor rendimiento en lances sobre delfines con un máximo de 35 t/lance a los 32 °C, mientras que un primer pico se detecta en torno a los 21 °C (22 t/lance); los lances sobre cardúmenes libres presentan máximos a los 27 °C y 31 °C con 10 t/lance el resto de los intervalos no difieren mucho entre sí registrando capturas alrededor de 7 t/lance.

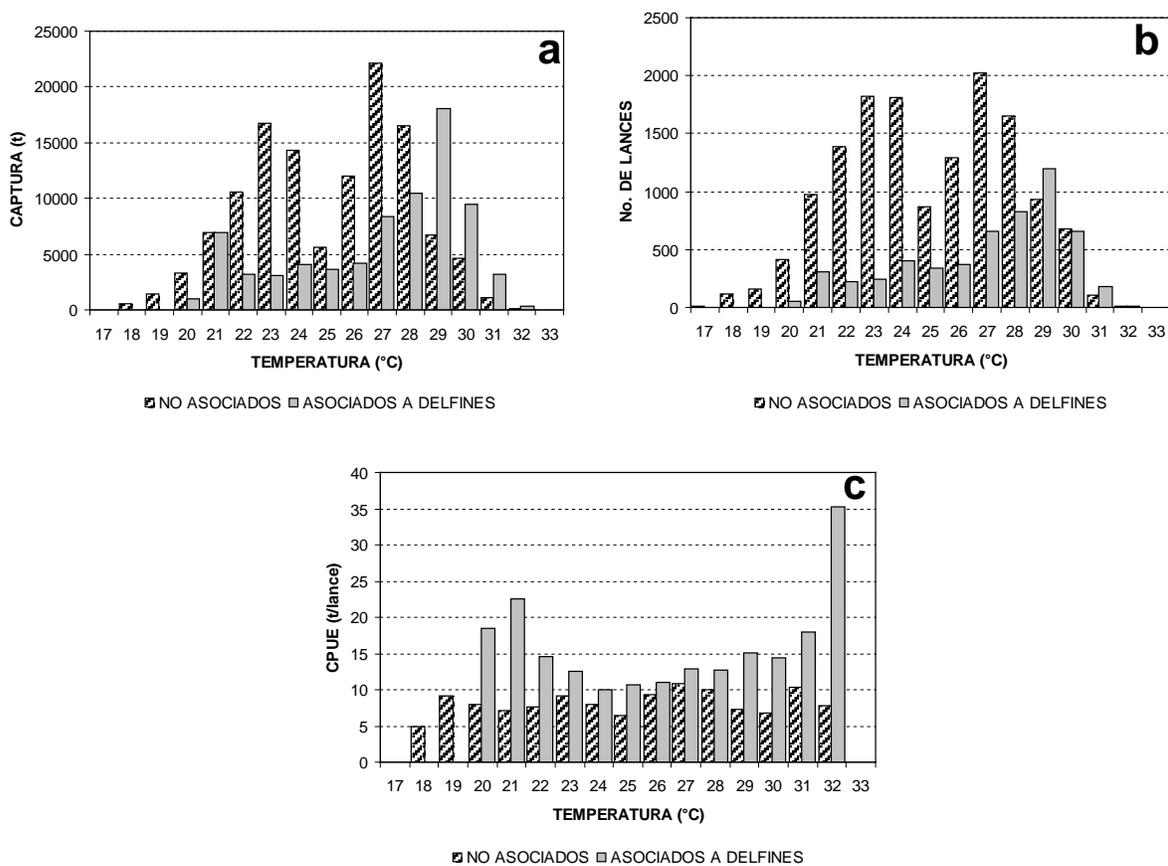


Figura 13. a) Histograma de frecuencias de las capturas asociadas a la temperatura superficial del mar. b) Histograma de frecuencia del número de lances asociados a la temperatura superficial del mar. c) Histograma de frecuencia del CPUE de lances asociados a la temperatura superficial del mar.

7.2.2 Clorofila a

La relación entre las capturas(a), el número de lances (b) y la CPUE con la concentración de Cla se muestra en la figura 14. Las capturas más altas se observan para ambos indicadores en concentraciones bajas de clorofila ($<0.8 \text{ mg Cla/m}^3$) y son también las concentraciones en las que se realizan el mayor número de lances; a pesar de lo anterior, es evidente el mayor esfuerzo aplicado sobre cardúmenes no asociados y que resulta en menores capturas que los realizados sobre cardúmenes asociados a delfines, lo anterior se corrobora en la figura 14c donde se observa que el mayor rendimiento por lance es en estos cardúmenes; solo en los intervalos de 1.8 a 2.2 mg de Cla/m³ los cardúmenes no asociados registraron mayor rendimiento por lance.

Al aumentar las concentraciones de Cla disminuyen las capturas en los lances sobre cardúmenes asociados a delfines mientras que en los no asociados siguen teniendo cierta presencia. En esta misma figura se observa que la CPUE de los cardúmenes asociados a delfines es mayor cuando los valores de clorofila a son inferiores a 1.4 mg de Cla/m³, después de este valor el rendimiento por lance varía entre ambos indicadores.

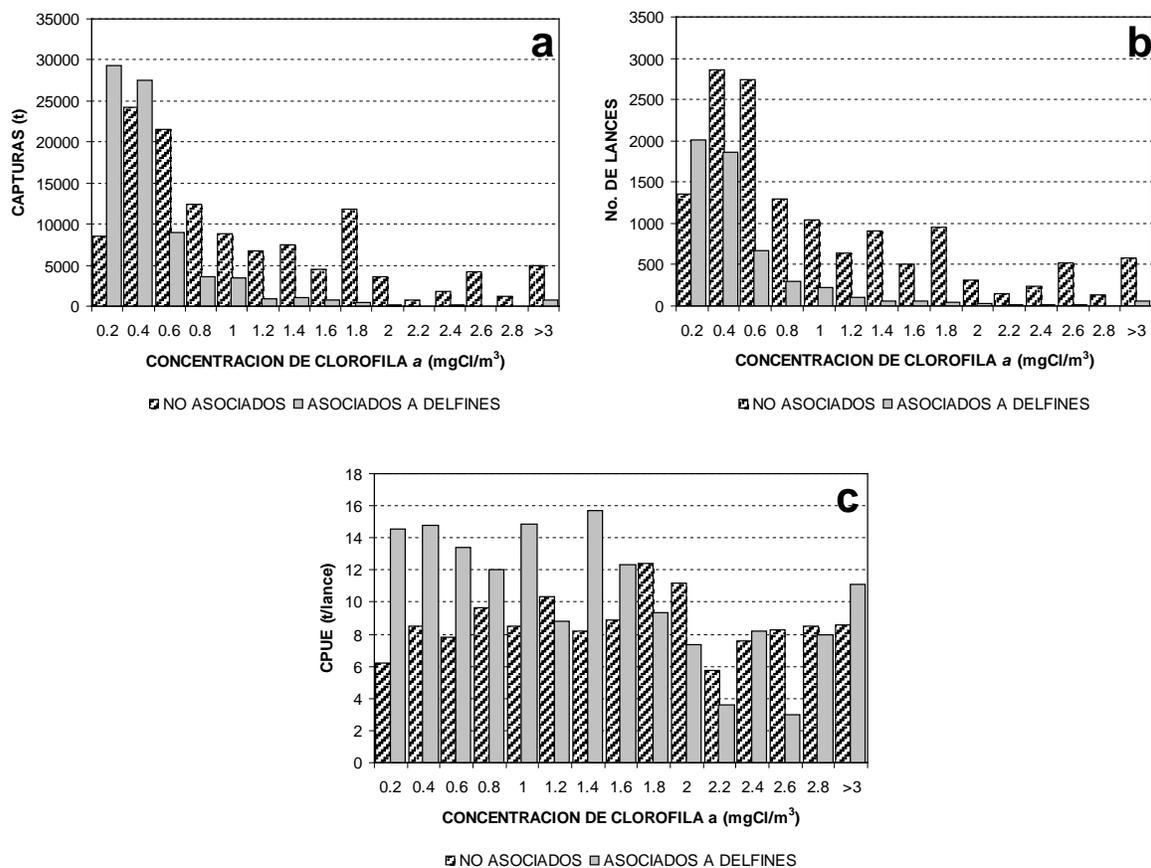


Figura 14. a) Histograma de frecuencias de las capturas asociadas a la concentración de Cla. b) Histograma de frecuencia del número de lances asociados a la concentración de Cla. b) Histograma de frecuencia del CPUE asociados a la concentración de Cla.

7.2.3 Velocidad del viento

La flota cerquera parece tener una actividad limitada respecto a la velocidad del viento (figura 15) a diferencia de las variables anteriores con las capturas (a) y el número de lances (b), los valores más altos se encuentran de 4 a 8 m/s (7.7 a 15.5 nudos) predominando los lances sobre cardúmenes no asociados. En cuanto a la CPUE (figura 15c) se observa mayores valores en lances sobre delfines con máximos en velocidades entre 8 m/s y 10 m/s; se registraron dos intervalos en los que la actividad sobre delfines fue mínima (2 m/s) o no existió (12 m/s).

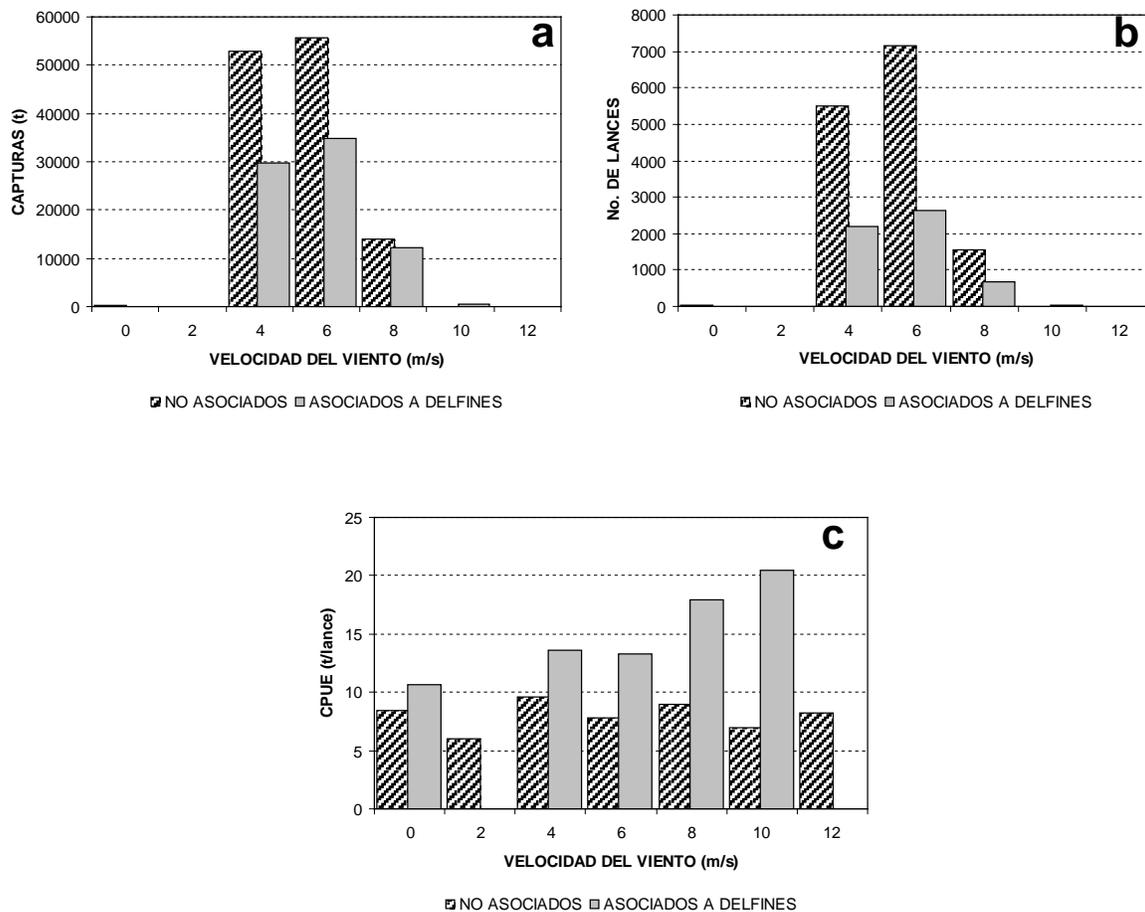


Figura 15. a) Histograma de frecuencias de las capturas asociadas a la velocidad del viento. b) Histograma de frecuencia del número de lances asociados a la velocidad del viento. c) Histograma de frecuencia de la CPUE asociada a la velocidad del viento.

7.3 Diferencia en las capturas entre ambos indicadores de pesca bajo las mismas condiciones ambientales

En los cuadrantes con capturas en ambos indicadores muestran que la CPUE de los lances hechos sobre cardúmenes asociados a delfines tiene en promedio un mayor rendimiento durante todo el año a excepción del mes de noviembre que registra menos de seis t/l. La diferencia más notable entre ambos indicadores ocurre en el periodo junio-agosto donde los lances sobre delfín aumentan su rendimiento y los lances no asociados alcanzan la menos captura por lance (figura 16).

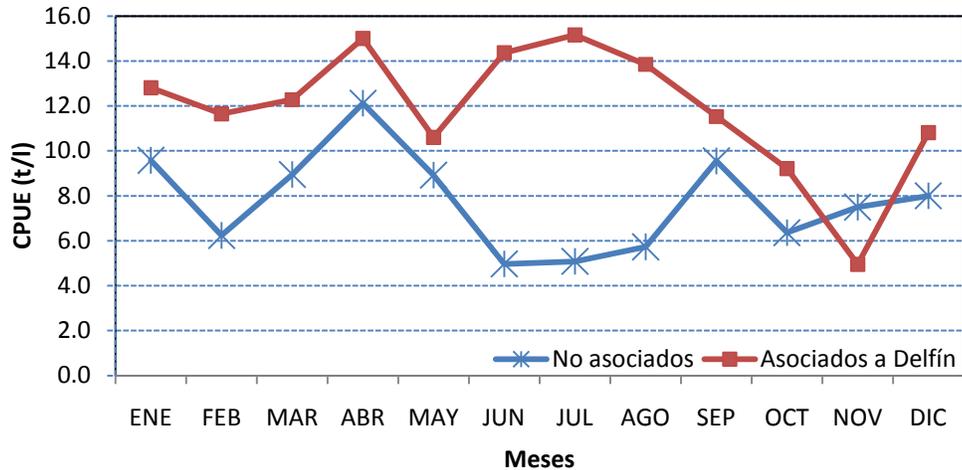


Figura 16. CPUE promedio mensual en los cuadrantes donde hubo actividad sobre ambos indicadores.

En la figura 17 se observa la captura promedio mensual de ambos indicadores con capturas mayores por parte de los cardúmenes no asociados que caracteriza el periodo noviembre-junio en contraste durante el periodo julio-octubre se observa un aumento de las capturas sobre cardúmenes asociados a delfines.

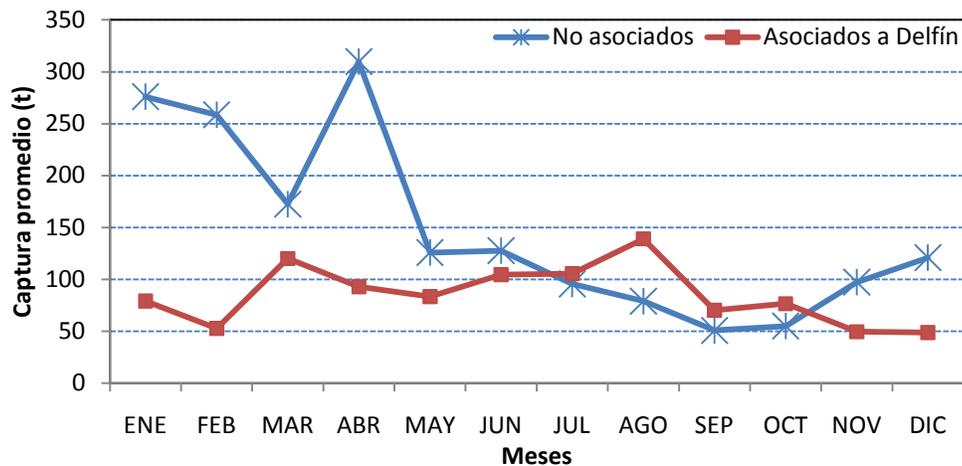


Figura 17. Captura promedio mensual en los cuadrantes donde hubo actividad sobre ambos indicadores.

En lo referente al número de lances sobre cada indicador (figura 18) los hechos sobre cardúmenes no asociados siempre son más numerosos que los

asociados a delfín pero la diferencia es más notoria durante los primeros meses del año.

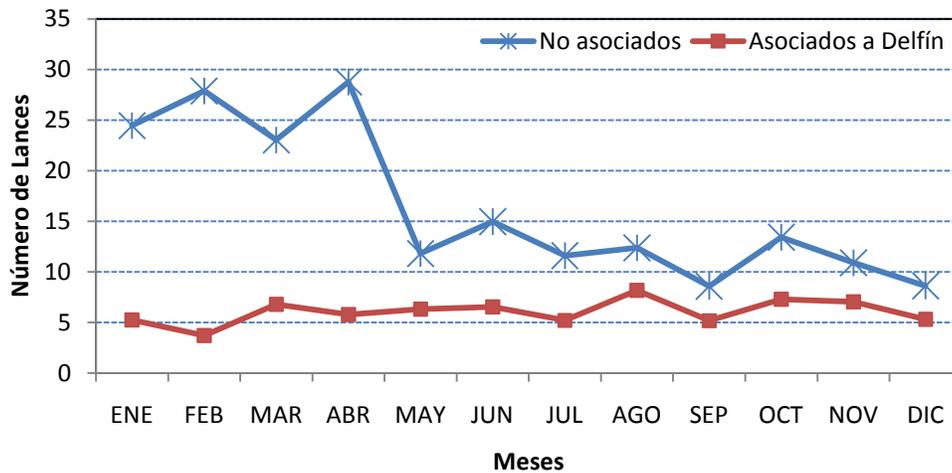


Figura 18. Número de lances promedio mensual en los cuadrantes donde hubo actividad sobre ambos indicadores.

7.4 Análisis espacio-temporal de las variables oceanográficas para un año promedio (1998-2005)

En la figura 19 se presenta el estado general promedio del ciclo anual en el periodo considerado:

- a) La variación latitudinal de la TSM muestra claramente la estacionalidad con la que las aguas frías provenientes de la CC y del GC son desplazadas por aguas cálidas provenientes del ecuador (WMC) durante los meses de mayo a septiembre, y en el alto GC es evidente cuando en el mes de octubre empieza a bajar la temperatura.
- b) En la zona del GT se detecta una zona de menor temperatura, producto de los vientos provenientes del Golfo de México durante el periodo noviembre-marzo.
- c) El ciclo de enriquecimiento anual se inicia en los meses más pobres del año (agosto-septiembre), intensificándose gradualmente en el GC y el GT; en GT se alcanza el máximo durante diciembre-enero, mientras que en el GC el

máximo se presenta en abril, cuando se inicia en la CO, que llega a su máximo en mayo-junio.

- d) La CO de Baja California Sur presenta niveles de productividad elevados durante los meses de abril hasta julio, particularmente son notables el Golfo de Ulloa y Bahía Magdalena como origen de la productividad.
- e) La productividad en el GC proviene de distintas fuentes, como se explicó anteriormente, en el año promedio de la concentración de Cla resalta en la región al norte de las grandes islas y en las costas de Sonora y Sinaloa.
- f) La zona entre las Islas Marías y la costa en torno a Cabo Corrientes presenta signos de enriquecimiento durante dos periodos febrero–mayo y agosto–octubre con valores promedio entre 3 y 6 mg Cla/m³, sin embargo, la zona se mantiene alrededor de 1.5 mg Cla/m³ durante los meses restantes por lo que sigue siendo una zona relevante.
- g) En lo que se refiere a la velocidad del viento el rasgo más notorio es la zona del GT afectada por el chorro de viento (los tehuanos) que se manifiesta desde la costa hacia mar abierto durante los meses de septiembre a febrero con mayor intensidad.
- h) Se detecta una zona de velocidades menores que parece desplazarse a lo largo del año desde las costas de Oaxaca, donde se observa en noviembre hasta la boca del GC en julio.
- i) Se observan velocidades mayores a 7 m/s en el periodo noviembre–febrero en el GC que coinciden con la elevación de la productividad en la costa oriental.

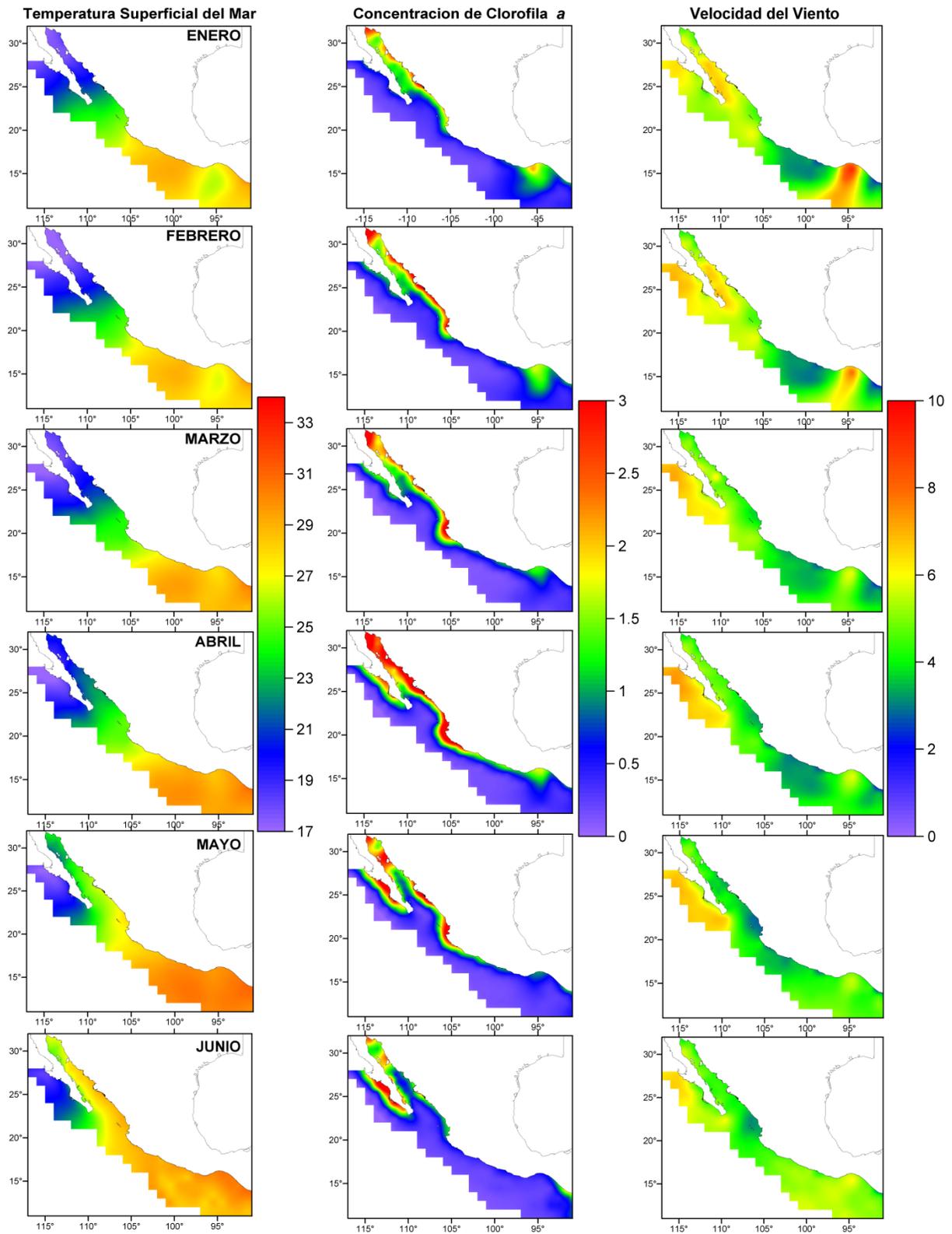


Figura 19. Distribución de la temperatura superficial del mar (°C), concentración pigmentaria (mg Cl a/m³) y velocidad del viento (m/s) en las costas mexicanas durante el año promedio del periodo 1998-2005.

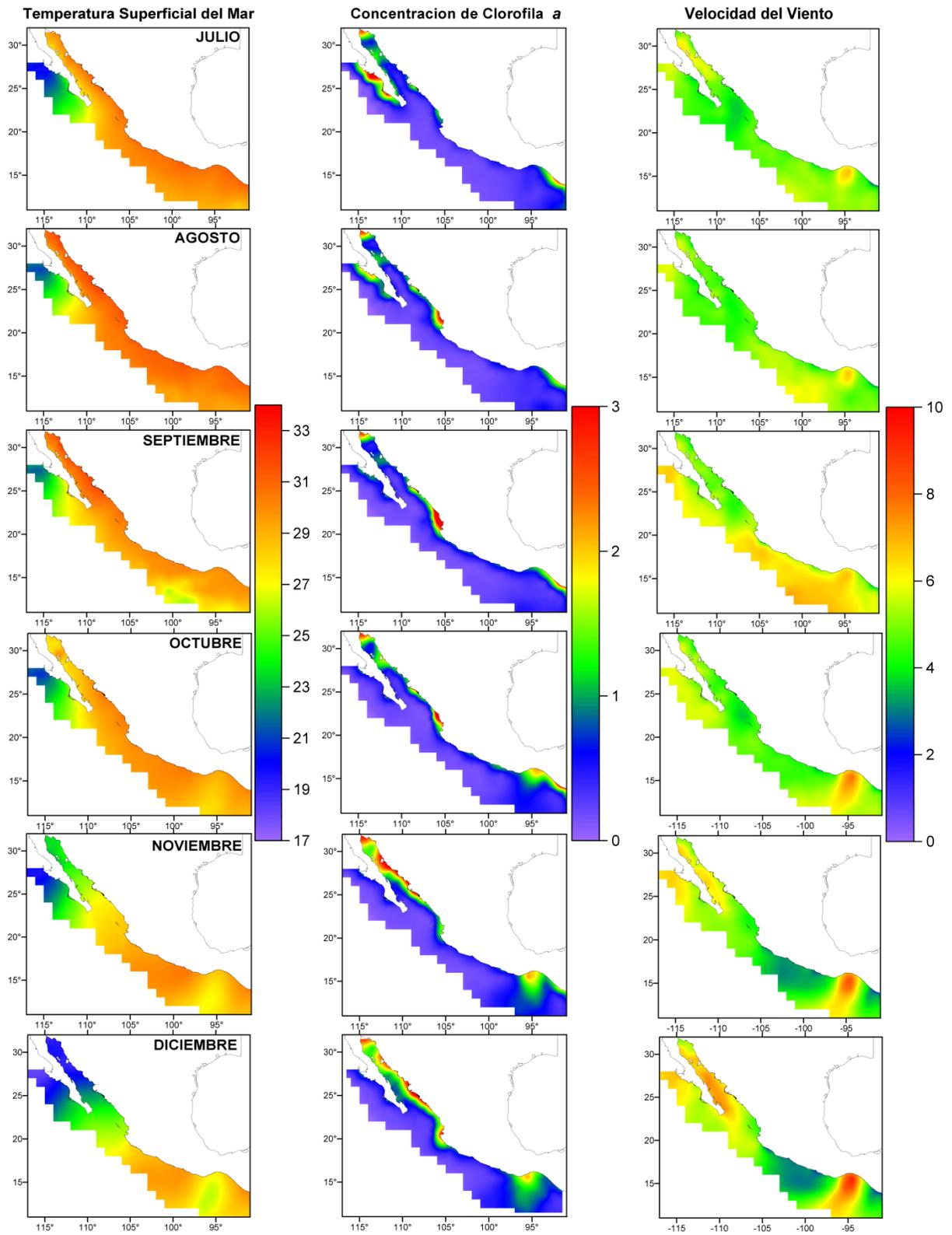


Figura 19. Continuación

7.5 Intensidad del esfuerzo de pesca y condiciones ambientales

7.5.1 Intensidad del esfuerzo de pesca

No obstante que la actividad de la flota a lo largo del área de estudio es muy variable; fue posible clasificar los cuadrantes según el esfuerzo que se aplicó a lo largo del periodo de estudio que constó de 84 meses; en la figura 20 se muestra el número de meses en los que cada cuadrante registró esfuerzo. El cuadrante con mayor número de registros fue el de las Islas Marías (106.5° W – 21.5° N) así como los cuadrantes localizados al norte y sur de estas islas; en esta misma área el cuadrante 105.5° W -21.5° N, donde se localiza Cabo Corrientes fue muy concurrido por la flota. Otras áreas con valores mayores a los 40 meses de intensidad de esfuerzo son: la entrada del GC y la parte sur de la CO (2 cuadrantes cada una). De manera general puede identificarse un área núcleo que se encuentra entre los 18° y 24° N, donde los cuadrantes presentan valores mayores a 21 meses de actividad, después un área con menor actividad (11-20 meses) mejor definida para la zona de CPM y otras con menos de 10 registros que se aprecian hacia los extremos norte y sur del área de estudio.

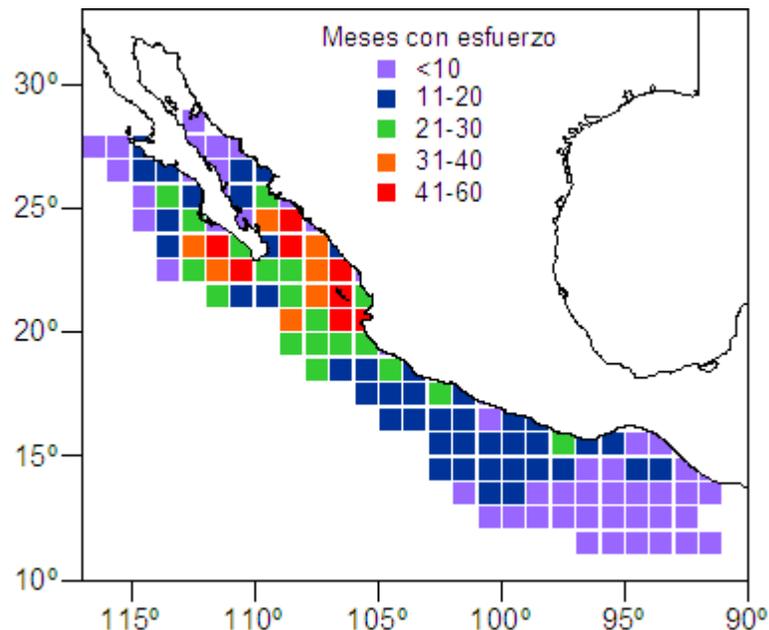


Figura 20. Intensidad del esfuerzo (número de meses) en cuadrantes de un grado aplicado por la flota atunera de cerco durante el periodo 1998-2004.

En relación a la ubicación de los lances sobre cada indicador también se consideraron por separado los cuadrantes donde hubo presencia de ambos indicadores al mismo tiempo, llamándolos para fines prácticos mixtos.

En lo que respecta a los lances realizados sobre cardúmenes no asociados (figura 21a), éstos fueron más frecuentes en la región de las Islas Marías y Cabo Corrientes, otros dos cuadrantes con mayor intensidad de esfuerzo sobre este tipo de indicador se localizan en la CO de la península. Cuadrantes con intensidad importante se registraron en la parte central del GC, a lo largo de la CO y al norte y este de las Islas Marías, hacia el sur se detecta poca presencia estando ausentes hacia zonas oceánicas de CPM y GT.

Los lances realizados sobre cardúmenes asociados a delfines (Figura 21b) aunque se distribuyen prácticamente por toda el área fueron más frecuentes en la región oceánica, los cuadrantes con mayor intensidad de esfuerzo en este tipo de indicador se presentaron en la boca del GC (uno) y dos más al oeste de los 108° W.

Los cuadrantes mixtos (figura 21c) se asemejan en su distribución a los que registraron cardúmenes no asociados. Presentaron mayor frecuencia en la región adyacente a Bahía Magdalena en la CO, la parte sur del GC y en torno a las Islas Marías siendo éstas y al norte de ellas las que registraron una mayor intensidad de esfuerzo con este indicador.

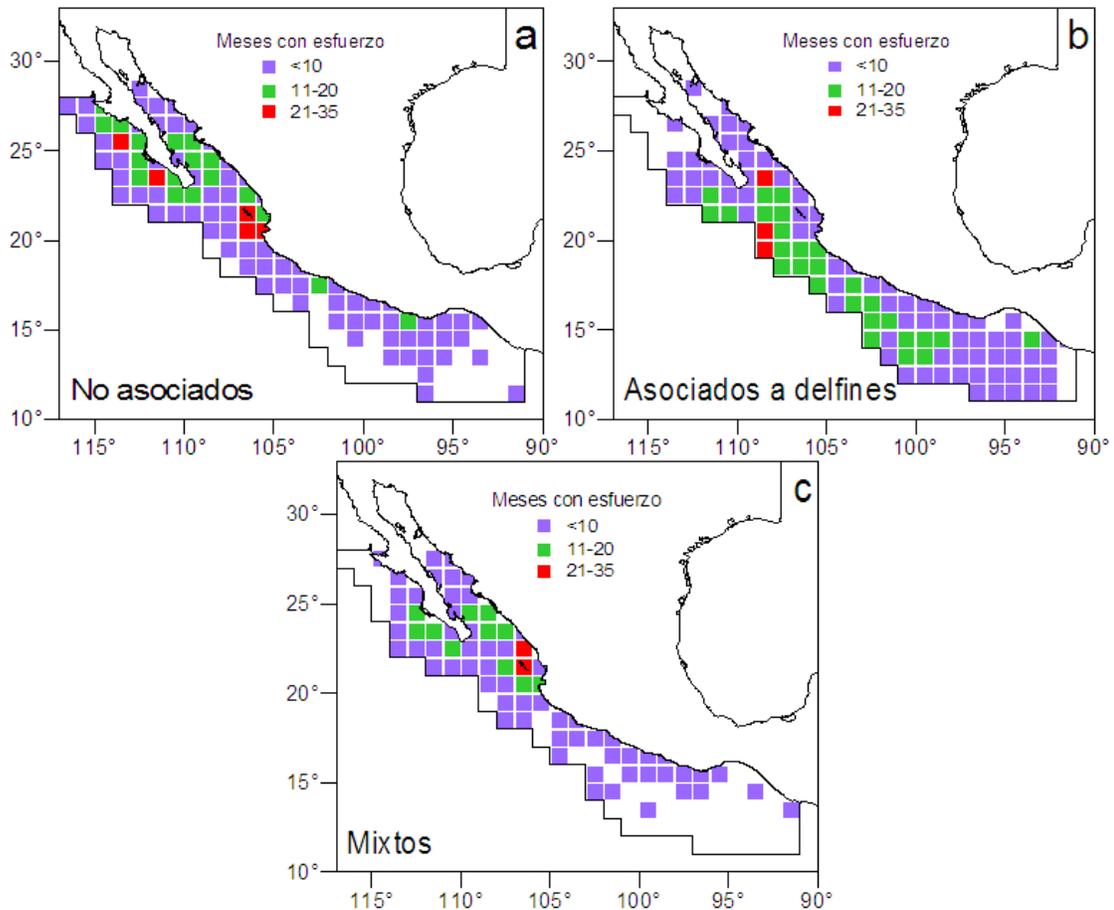


Figura 21. Intensidad de esfuerzo (número de meses) por tipo de indicador durante el periodo 1998-2004.

Como se ha mencionado anteriormente, en el área de estudio se desarrollan diversos procesos que confieren mucha variabilidad a zonas específicas, mientras que otras presentan una relativa estabilidad. El análisis discriminante permitió ver la dinámica de cada cuadrante en relación a las condiciones ambientales, tomando en cuenta la división que anteriormente se utilizó para caracterizar las diferentes zonas.

Las variables que integran el modelo son muy disímiles, la primera función explica hasta un 89.6% de la variabilidad presente en los datos, lo que corresponde a una correlación canónica de esta primera función alta moderada (0.615), dejando ver cierta separación entre las zonas. Además, el análisis emplea otras dos funciones con las que se manifiesta una proporción mínima de la variancia explicada (6.7 y

3.7% en orden jerárquico). En lo que se refiere a las variables ambientales la mayor correlación absoluta se obtuvo entre la TSM y la primera función.

La tabla 1 contrasta de manera jerárquica la significación de las tres funciones obtenidas. El primer valor de la Lambda de Wilks tuvo un valor crítico ($p=0.000$) menor que 0.05; por lo tanto, es posible respaldar la conclusión de que los grupos incluidos en el análisis son significativamente distintos. En las siguientes líneas (2 a la 3 y 3) se contrasta si los grupos son iguales en las diferentes funciones discriminantes, ambos valores de Lambda presentan valores próximos a 1, pero con niveles críticos (Sig.=0.000) menores a 0.05 con lo que se concluye que desde la segunda función es posible discriminar tres grupos.

Tabla 1. Lambda de Wilks. Contraste de las funciones del modelo para zonas.

Contraste de las funciones	Lambda de Wilks	Chi-Cuadrado	gl	p
1 a la 3	.580	1109.517	9	.000
2 a la 3	.933	141.739	4	.000
3	.975	50.798	1	.000

La siguiente tabla muestra la ubicación de los centroides en relación a las funciones discriminantes. En lo que refiere a la primera función esta distingue dos grupos, uno conformado por las zonas norteñas (CO y GC) con valores negativos y otra con las dos zonas ubicadas más hacia el ecuador (PCM y GT). En la segunda función los grupos anteriores se separan manteniéndose con valores negativos solo la CO mientras que el GC cambia a valores positivos, en el otro grupo la zona que cambia de signo es la de PCM.

Tabla 2. Valor de los centroides en las funciones discriminantes para zonas.

Zona	Función		
	1	2	3
PCM	.776	-.208	-.076
CO	-1.271	-.178	.063
GT	.886	.119	.524
GC	-.073	.247	-.074

La tabla 3 muestra cada una de las funciones discriminantes ordenadas de modo tal que la primera función es la de mayor capacidad discriminativa. Según estos resultados la primera función separa básicamente por medio de la TSM, contrastando con la tabla 2, vemos que los centroides positivos corresponden a cuadrantes relacionados con las zonas más cálidas PCM y GT.

La segunda función atribuye mayor ponderación a la concentración alta de Cla, según los resultados de la tabla anterior esta función caracteriza al GC y al GT y termina por separar las zonas. La tercera función discrimina por la velocidad del viento, sin embargo, no aporta gran información al modelo para separar las zonas ya que con las dos primeras funciones es suficiente.

Tabla 3. Coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas para zonas.

	Función		
	1	2	3
Temperatura	.956	.068	.462
Clorofila a	.144	1.015	.160
Velocidad del viento	-.194	.016	1.021

Basado en lo anterior se puede decir que de los cuadrantes que componen el área de estudio en cuanto a sus características ambientales durante el periodo 1998-

2004 al menos el 51.2 % de ellos están bien clasificados, es decir, son cuadrantes que mantuvieron valores constantes durante todos los años.

Por lo que el análisis discriminante nos da la posibilidad de ver que cuadrantes son característicos de cada zona y en contraste cuales presentan condiciones más cambiantes. En la figura 22 se muestran los resultados de este cambio a manera de porcentaje de cambio, así el cero representa mayor estabilidad y el 100% una mayor variabilidad. En el caso de zonas con poco cambio encontramos aquellas al norte de la CO y GC, además de gran parte de la zona de PCM. En contraste regiones con menor estabilidad se observan en prácticamente toda la zona de GT y la boca del GC.

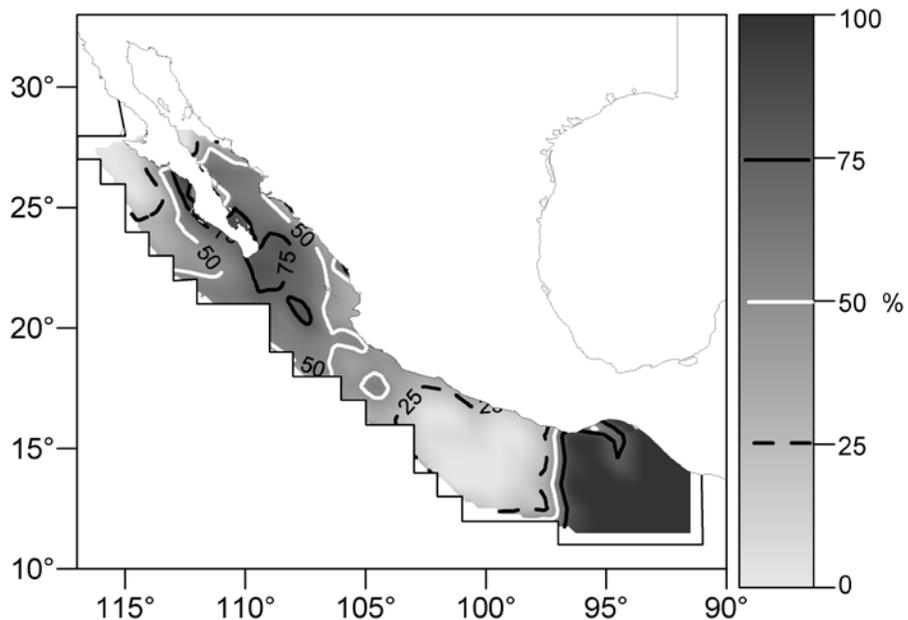


Figura 22. Porcentaje de cambio resultado del análisis de discriminante por zonas, los colores claros representan zonas más estables o con menos cambio.

Tomando como base la clasificación de los cuadrantes según su tipo de indicador y mediante el análisis de discriminante no fue posible una separación clara entre no asociados y asociados con delfines, ya que existe un buen número de cuadrantes en los que coinciden en tiempo y espacio.

De las dos funciones que componen este modelo podemos decir que son muy disímiles, ya que la primera función explicó el 96% de la variabilidad disponible de los datos, mientras que la segunda función sólo el 4%. Sin embargo, se observa que la correlación canónica de la primera función es moderada (0.444) lo que nos indica junto con el valor bajo de autovalor (0.246) que las variables utilizadas no permitieron distinguir claramente entre los grupos.

La Lambda de Wilks de la tabla 4 permite contrastar la significación de las dos funciones obtenidas. En el caso de estudio el valor de la Lambda de Wilks tuvo asociado un nivel crítico ($p=0.000$) menor a 0.05, por lo que se puede concluir que el modelo permite distinguir significativamente entre los grupos. En lo que respecta a la segunda línea de la tabla 4, nos permite afirmar que es posible discriminar por lo menos entre dos de los grupos.

Tabla 4. Lambda de Wilks. Contraste de las funciones del modelo para zonas.

Contraste de las funciones	Lambda de Wilks	Chi-cuadrado	gl	p
1 a la 2	.794	468.716	6	.000
2	.990	20.939	2	.000

En la tabla 5 se presenta la ubicación de los centroides de las funciones discriminantes. La primera función separa los cardúmenes asociados a delfín de los otros dos tipos por su valor positivo, en tanto que la segunda función se separan los mixtos.

Tabla 5. Valor de los centroides en las funciones discriminantes para indicadores de pesca.

Tipo de indicador	Función	
	1	2
No asociados	-.510	.090
Asociados a delfines	.582	.024
Mixtos	-.251	-.175

La matriz de coeficientes estandarizados (tabla 6) muestra que la primera función discriminó a los lances en cuadrantes con mayores temperaturas y menores valores de Cla, por lo que esto correspondería al único centroide positivo en esta primera función (ver tabla 5), que corresponde a los cuadrantes donde se realizaron solo lances asociados a delfines. En el caso de la segunda función todos valores son positivos (tabla 6), atribuyendo mayor ponderación a la velocidad del viento, seguido de la Cla y tomando en cuenta que para la segunda función los cardúmenes no asociados presentaron valores positivos del centroide (0.090 en la tabla 5) se puede interpretar que los cuadrantes con mayor velocidad de viento y mayor concentración de Cla son en los que se registraron con más frecuencia cardúmenes no asociados.

Tabla 6. Coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas para indicadores de pesca.

	Función	
	1	2
Temperatura	.855	.646
Clorofila a	-.464	.755
Velocidad del viento	.091	.770

Los resultados del análisis discriminante de los indicadores de pesca nos muestran que por lo menos un 54.8% de los cuadrantes están bien clasificados. La figura 23 muestra el porcentaje de cambio, es decir, que cuadrantes son dominados por un solo tipo de indicador. Así 0% significa que en esa zona la presencia de cardúmenes es de un solo tipo, ya sea no asociados o asociados a delfines. En sentido opuesto el 100% significaría que las condiciones que prevalecen en ese cuadrante propicia un constante cambio del tipo de indicador, incluso la presencia de ambos al mismo tiempo.

En la figura 23 se observa que los cuadrantes cercanos a la costa tienen mayor variabilidad en la presencia de los tipos de lance (zonas oscuras >50%); en contraste la zona oceánica al sur de los 18° N (zonas claras <50%), es más

constante la presencia de un solo tipo de indicador, en este caso cardúmenes asociados a delfines. La boca del GC presenta zonas oscuras, alrededor de las Islas Marías y las aguas cercanas a la península; en el centro se aprecia un corredor de menor variabilidad que proviene del centro del GC.

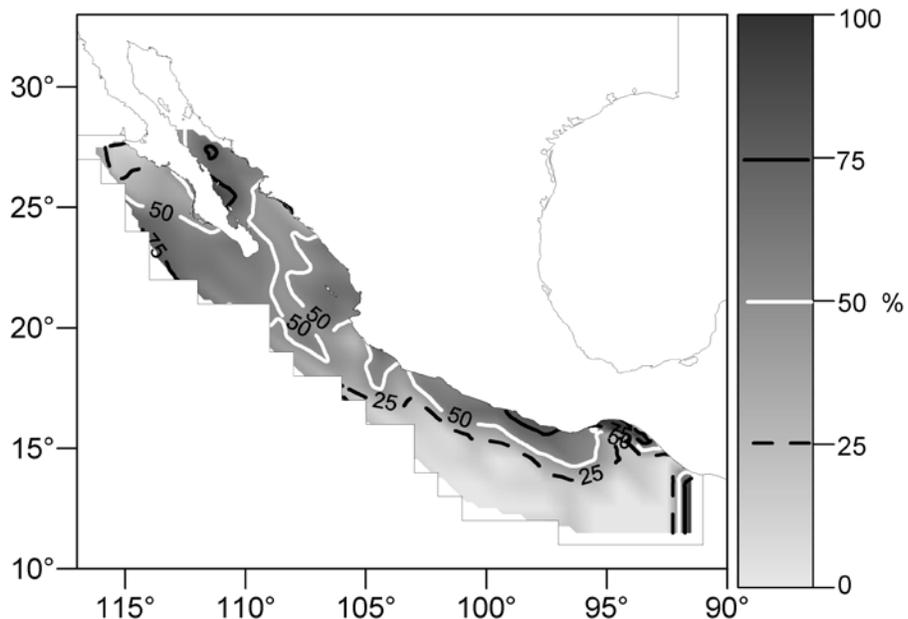


Figura 23. Porcentaje de cambio resultado del análisis de discriminante por tipo de indicador, los colores claros representan zonas más constantes.

Lo que hay que destacar de este análisis discriminante es que la variable con mayor importancia al predecir el grupo de pertenencia entre cuadrantes con cardúmenes no asociados y mixtos parece ser es la concentración de Cla con un coeficiente estandarizado de función de discriminante canónica de 0.837, mientras que la velocidad del viento y la TSM presentaron 0.628 y -0.405 respectivamente. En el caso de los cuadrantes en los que se pescó solo sobre cardúmenes asociados a delfín comparado con los cuadrantes mixtos, la variable con mayor importancia resultó ser la TSM con 0.862, mientras que la concentración de Cla participó con -0.440 y la velocidad del viento con -0.190.

7.5.2 Variabilidad ambiental del área de estudio

Para evidenciar los procesos de mesoescala que pudieran determinar la presencia de uno u otro indicador es necesario establecer cuáles de las variables utilizadas tiene más influencia. El resultado del ACP indica que con los dos primeros componentes explicaron el 81.57% de la variancia (tabla 7).

Tabla 7. Total de la variancia explicada para todos los cuadrantes con capturas en relación a las variables ambientales.

Componente	Autovalores iniciales		
	Total	% de varianza	% acumulado
1	1.393	46.441	46.441
2	1.054	35.139	81.579
3	.553	18.421	100.000

En la tabla 8 se presentan las correlaciones de cada componente principal con cada variable. En este caso vemos que el componente 1 tiene una correlación positiva mayor con la velocidad del viento, en tanto que con la TSM es negativa. La Cla toma una importancia mayor en el componente 2.

Tabla 8. Matriz de componentes o autovectores para todos los cuadrantes con captura.

Variables ambientales	Componente	
	1	2
Temperatura Superficial del mar	-.858	-.078
Velocidad del viento	.734	-.506
Concentración de Clorofila a	.343	.890

Tomando en cuenta lo anterior, se graficó el valor de la componente 1 para cada uno de los cuadrantes (figura 24). Los valores positivos asociados a la velocidad del viento y Cla en el componente 1 se presentan en la CO y en gran parte

de GC incluyendo la boca, además se aprecia otra área de valores positivos cercana a las costas oaxaqueñas extendiéndose hacia el centro del GT. La contraparte en este análisis en el componente 1 está representado por la TSM que presentó los valores negativos, básicamente comprende las zonas con fuerte influencia de aguas ecuatoriales (PCM y GT) y dentro del GC al norte en las costas de Sonora.

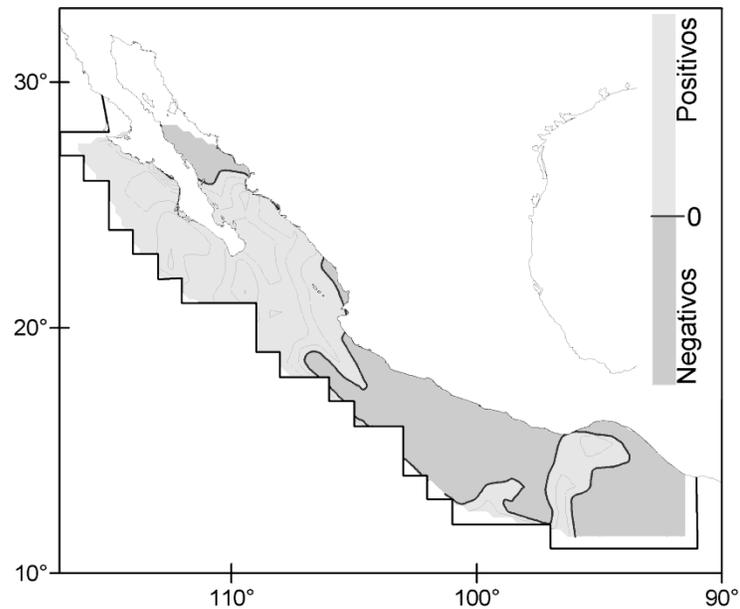


Figura 24. Patrón de distribución del primer componente para los cuadrantes que registraron presencia de atún aleta amarilla en relación a las variables ambientales.

Para tratar de separar la influencia de las variables que afectan a cada indicador se realizó un ACP por separado. Para los cuadrantes con captura solo sobre cardúmenes no asociados, se observa que la varianza explicada con los dos primeros componentes alcanza el 83.79 % (Tabla 9).

Tabla 9. Variancia total explicada en el análisis de componentes principales para los cuadrantes con capturas solo sobre cardúmenes no asociados en relación a las variables ambientales.

Componente	Autovalores iniciales		
	Total	% de varianza	% acumulado
1	1.459	48.622	48.622
2	1.055	35.174	83.796
3	.486	16.204	100.000

La matriz de componentes (tabla 10) muestra las correlaciones de velocidad del viento (-.854) y la de temperatura (.854) como las determinantes en la presencia de este tipo de cardumen, esto se interpreta como que en los cuadrantes con bajas velocidades de viento y temperaturas elevadas son más visitadas por cardúmenes no asociados, sin embargo, al parecer estos cardúmenes tienen una menor CPUE que los realizados a temperaturas más bajas y con concentraciones más altas de Cla. La concentración de Cla presenta la correlación más alta en la componente 2, esto sugiere que los cuadrantes con alta productividad primaria y con valores bajos de los otros dos parámetros son también de la preferencia de estos cardúmenes.

Tabla 10. Matriz de componentes o autovectores para todos los cuadrantes con captura solo sobre cardúmenes no asociados.

Variables ambientales	Componente	
	1	2
Velocidad del viento	-.854	-.226
Temperatura Superficial del mar	.854	-.226
Concentración de Clorofila a	.000	.976

Al graficar los valores del componente 1 en relación a cada uno de los cuadrantes podemos observar que los valores positivos se relacionan a las zonas con temperaturas altas influenciadas por aguas de origen ecuatorial y en la parte central del golfo frente a las costas de sonora, en este caso es posible observar un

comportamiento contrario al que se mostró en la figura 21 donde están involucrados ambos indicadores (figura 25).

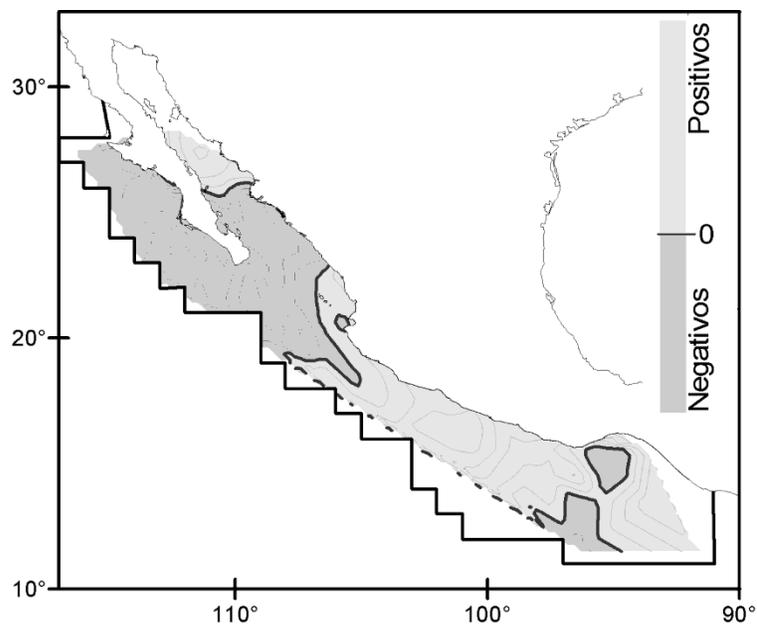


Figura 25. Patrón de distribución del primer componente para los cuadrantes que registraron presencia solo de cardúmenes no asociados en relación a las variables ambientales.

En el caso de los cardúmenes asociados a delfines el ACP muestra que los dos primeros componentes explican hasta el 77.18 % de la variancia total (tabla 11).

Tabla 11. Total de la variancia explicada para los cuadrantes con capturas solo sobre cardúmenes asociados a delfines en relación a las variables ambientales.

Componente	Autovalores iniciales		
	Total	% de variancia	% acumulado
1	1.287	42.906	42.906
2	1.028	34.282	77.188
3	.684	22.812	100.000

Para este tipo de cardumen la matriz de componentes (tabla 12) muestra que la temperatura posee valores altos aunque negativos, esto implica que es un factor importante, en este sentido la presencia de cardúmenes asociados a delfines aunque

se registra en toda el área de estudio hay mayor afinidad a zonas con temperaturas altas y aunado a concentraciones de Cla y VV moderadas.

Tabla 12. Matriz de componentes o autovectores para todos los cuadrantes con captura solo sobre cardúmenes asociados a delfines.

Variables ambientales	Componente	
	1	2
Temperatura Superficial del mar	-.821	-.031
Concentración de Clorofila a	.647	-.598
Velocidad del viento	.442	.819

Los valores de la componente 1 muestran que la zona por debajo de los 20 °N tiene una alta correlación con la temperatura, en contraparte, al norte de esta latitud y en la costas de Oaxaca específicamente la zona de Puerto Ángel y en la parte occidental del GT los valores positivos correspondientes a concentraciones de Cla altas (figura 26).

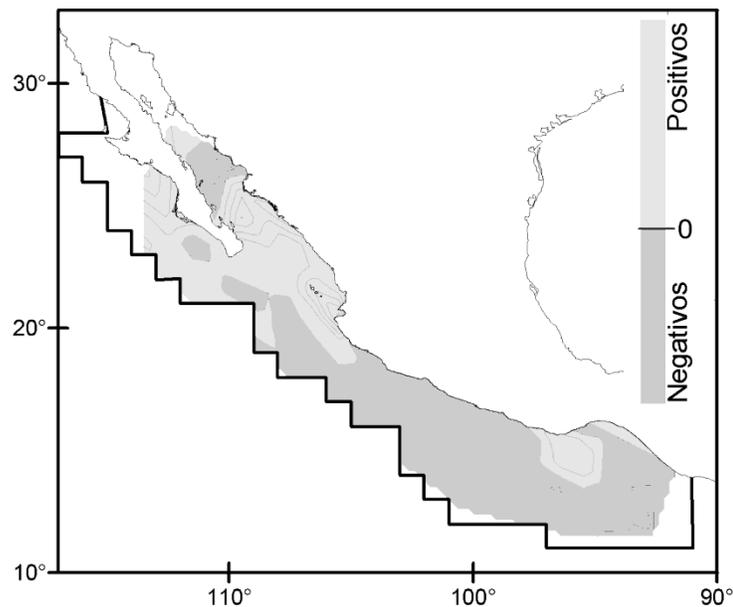


Figura 26. Patrón de distribución del primer componente para los cuadrantes que registraron presencia solo de cardúmenes asociados a delfines en relación a las variables ambientales.

Con el objetivo de determinar las diferencias con los cuadrantes en los que solo se presenta un tipo de indicador, ya sea cardúmenes no asociados o asociados a delfín se separaron los cuadrantes donde hubo presencia simultánea de ambos. En este caso las dos primeras componentes explican el 84.67% del total de la variancia (tabla 13).

Tabla 13. Total de la variancia explicada para los cuadrantes con capturas donde se registraron cardúmenes asociados a delfines y no asociados en relación a las variables ambientales.

Componente	Autovalores iniciales		
	Total	% de varianza	% acumulado
1	1.514	50.461	50.461
2	1.027	34.218	84.679
3	.460	15.321	100.000

La tabla 14 muestra que para el componente 1 los valores de correlación tanto de la velocidad del viento como de la TSM son muy parecidos a los que resultan del ACP para los cuadrantes de cardúmenes no asociados (tabla 10), incluso se presentan en el mismo orden. Así tenemos que la correlación más fuerte fue con la velocidad del viento (negativa), mientras que la TSM presenta una correlación positiva prácticamente de la misma magnitud.

Tabla 14. Matriz de componentes para todos los cuadrantes con captura sobre cardúmenes asociados a delfines y cardúmenes no asociados.

Variables ambientales	Componente	
	1	2
Velocidad del viento	-.878	-.081
Temperatura Superficial del mar	.845	-.280
Concentración de Clorofila a	.171	.970

El patrón de distribución de los valores del primer componente (figura 27) es muy parecido al de los cardúmenes no asociados. Se observa que la correlación alta del viento se manifiesta al norte del área de estudio en la CO y el GC, en la parte sur la TSM presenta una correlación mayor excepto en las costas frente a Puerto Ángel, Oaxaca.

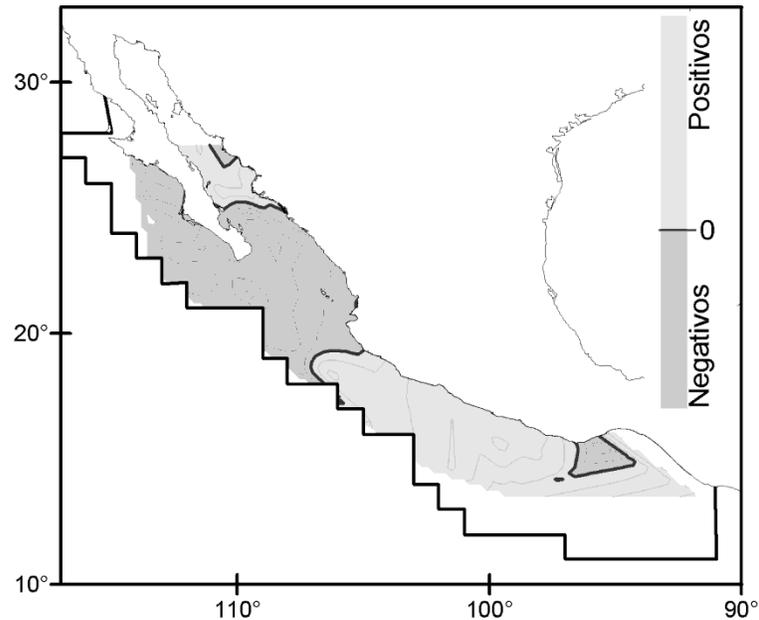


Figura 27. Patrón de distribución del primer componente para los cuadrantes que registraron presencia de ambos indicadores en relación a las variables ambientales.

7.6 Funciones Empíricas Ortogonales

Respecto al análisis de las Funciones Empíricas Ortogonales tenemos los siguientes resultados:

7.6.1 FEO de Temperatura Superficial del Mar

La variancia explicada con los primeros tres modos fue de 85.44%. El patrón espacial del primer modo presentó valores negativos en toda el área de estudio, aun así, fue posible diferenciar dos áreas por un lado la parte oceánica por debajo de los 16° N y por otro el resto del área de estudio (figura 28). En la componente temporal se muestra el ciclo anual, se observan valores de amplitud anómalos que

corresponden a los meses de septiembre del 2002 con una amplitud menor a la promedio y en contraste mayo del 2003 con una amplitud muy por encima del promedio.

En el segundo modo espacial se observa una separación clara entre la zona dominada por aguas ecuatoriales la mayor parte del año (valores positivos), la zona con influencia de agua de la Corriente de California (valores negativos) y la zona transicional que alterna la presencia de estas masas de agua. Este modo en la gráfica correspondiente al aspecto temporal, muestra el ciclo estacional menos marcado que el primero, sin embargo, se evidencian tres picos de valores negativos correspondientes a los meses de septiembre del 2002 y junio y septiembre del 2003, estos asociados al patrón espacial de la zona norte.

El tercer modo espacial separa el área de estudio de acuerdo con las áreas que al principio de este estudio se señalaron, el GT y GC con valores negativos mientras que la CO y PCM presentan valores positivos.

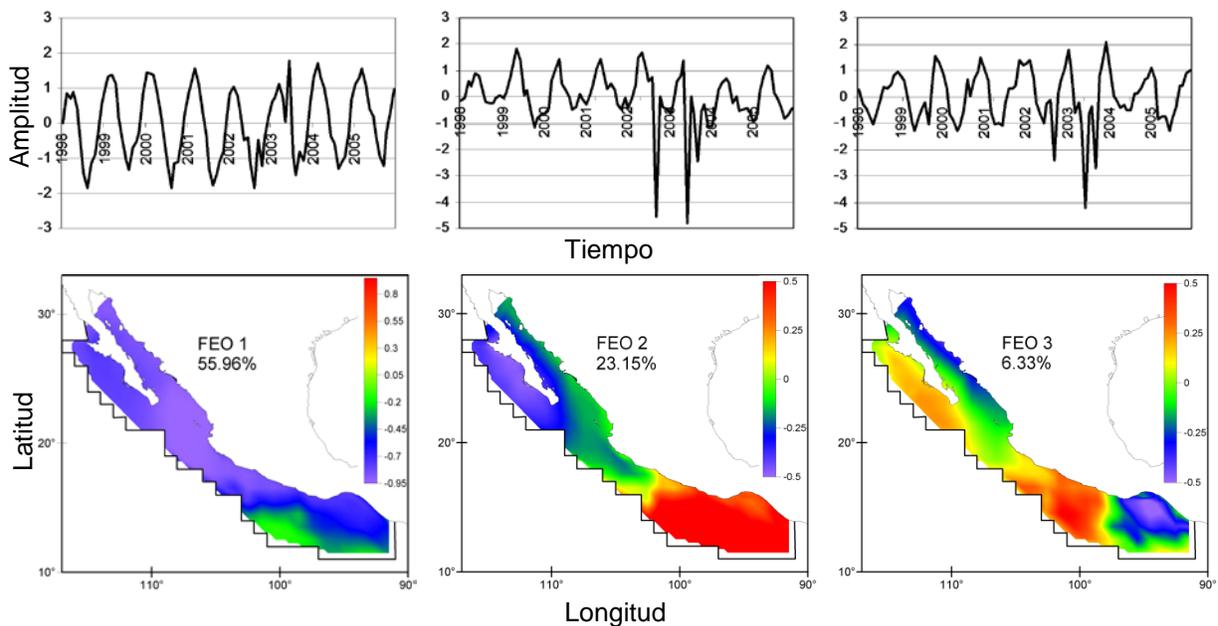


Figura 28. Primeras tres FEO correspondientes a la temperatura superficial del mar. En la parte superior se presentan la amplitud de los modos temporales y en la parte inferior las componentes espaciales.

7.6.2 FEO de concentración de Cla

Los primeros tres modos incorporan el 47.45 % de total de la variancia explicada. En el modo espacial de la FEO 1 se presentan valores negativos prácticamente en toda el área de estudio, solo una parte de la CO y la porción este del GT, en cuanto a la componente de variabilidad temporal se observa diferencias fuertes entre los años, sin embargo, parece posible diferenciar periodos, es decir, 1998 presenta un comportamiento diferente al resto de los años con amplitudes positivas, un segundo periodo puede definirse por los años 1999, 2000 y 2001 en los que las amplitudes son en su mayoría negativas. Los años 2002 y 2003 parecen tener un comportamiento diferente a los antes descritos con amplitudes positivas en su mayoría, pero con amplitudes negativas a finales de año, Por último, 2004 y 2005 con valores de amplitud positivos pero sin ser tan extremos como 1998 (figura 29).

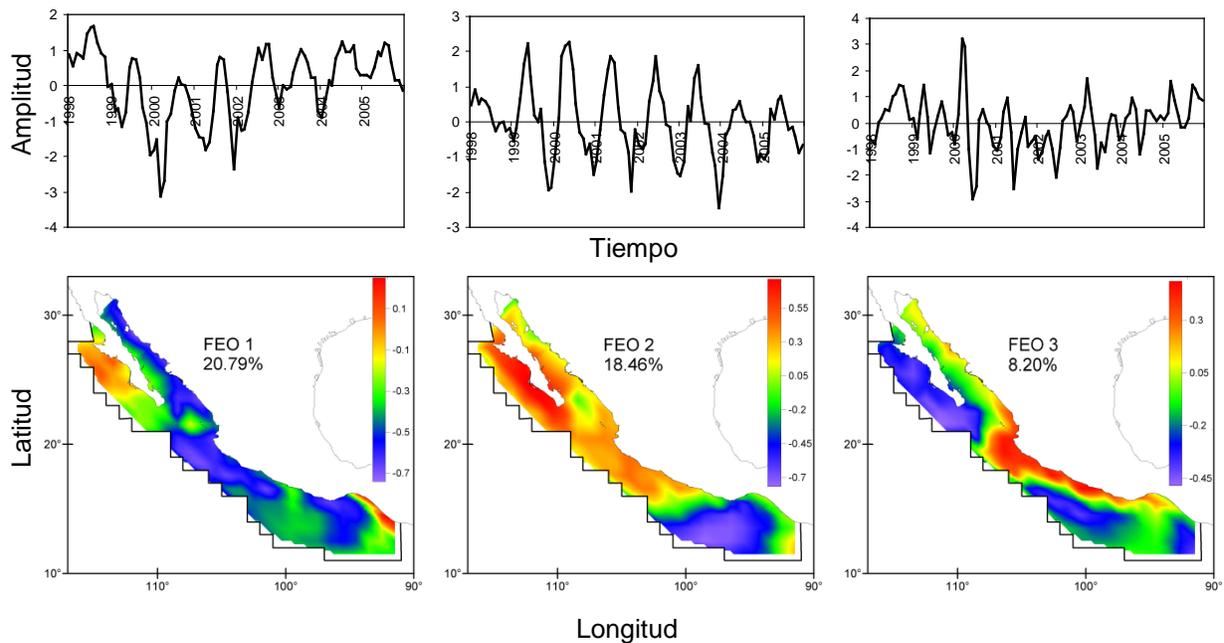


Figura 29. Primeras tres FEO correspondientes a la concentración de Cla. En la parte superior se presentan la amplitud de los modos temporales y en la parte inferior las componentes espaciales.

El segundo patrón espacial presenta en su mayoría valores positivos, solo la región del GT presenta valores negativos. En cuanto al modo temporal parece

marcar la variabilidad anual con un comportamiento irregular durante los años de 1998, 2004 y 2005 con amplitudes más débiles en ambos sentidos.

Por último el tercer modo parece establecer una separación entre la zona costera (positivos) y la oceánica (negativos), incluyendo en esta última la costa occidental que parece comportarse diferente por tener influencia de aguas provenientes de la Corriente de California, en lo que se refiere la componente temporal de este modo la señal es confusa tal vez por la complejidad de procesos que ocurren en el área costera.

7.6.3 FEO de Velocidad del viento

En lo que se refiere a esta variable los tres primeros modos explican el 42.75% del total de la varianza (figura 30). Lo que se puede resaltar en el patrón espacial del primer modo son las coincidencias de valores negativos entre GC y GT, mientras que con valores positivos la CO y CPM. En lo que respecta al patrón temporal se observan dos periodos 1998-2000 con amplitudes positivas y 2001-2005 con amplitudes negativas en su mayoría pero describiendo más claramente un comportamiento anual.

Los otros dos modos espaciales no presentaron un comportamiento bien definido, los valores positivos y negativos tienen una distribución irregular. El modo dos permite distinguir diferencias entre norte y sur de los 20° N. Los modos temporales no parecen seguir un patrón claro.

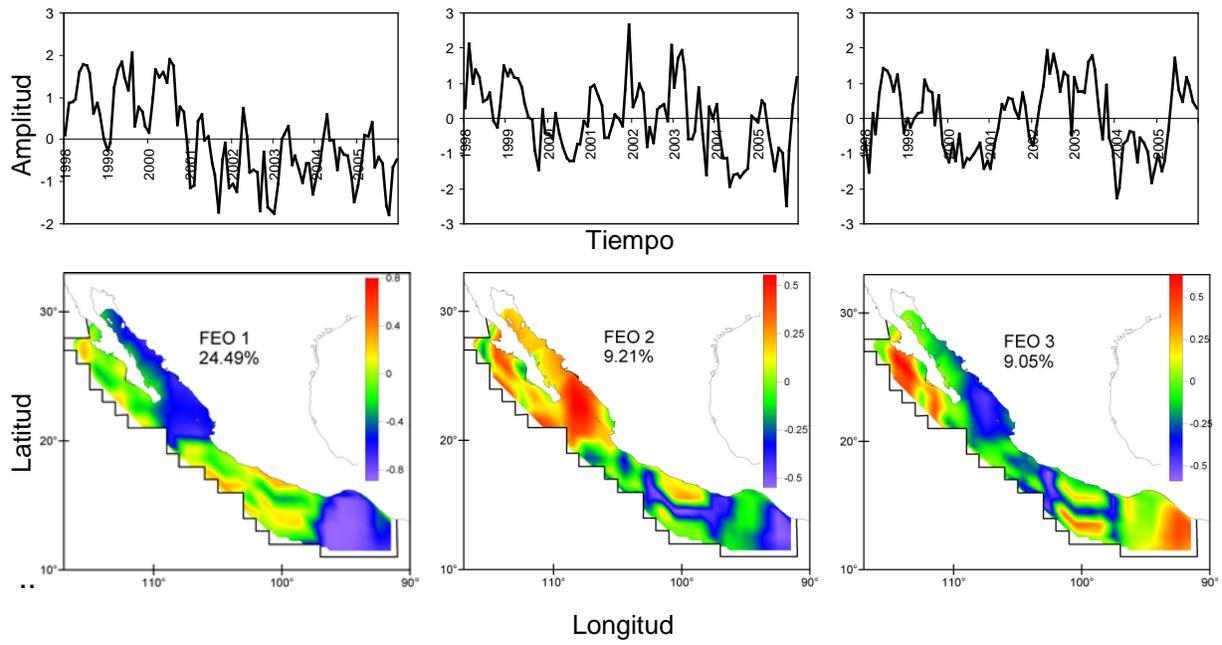


Figura 30. Primeras tres FEO correspondientes a la velocidad de viento. En la parte superior se presentan la amplitud de los modos temporales y en la parte inferior las componentes espaciales

8. DISCUSIÓN

La flota mexicana de cerco está compuesta por barcos de diferentes características que cubren una extensa área del OPO, además la proximidad de los puertos a zonas de concentración de atunes permiten pensar en una actividad altamente atractiva, sin embargo, la dinámica de las costas mexicanas y la extensión de su influencia hacia zonas oceánicas puede ser determinante para los patrones de distribución y abundancia de los diferentes indicadores de pesca.

Un aspecto interesante que se encontró en este trabajo, es que es más común encontrar cuadrantes con un solo tipo de indicador a lo largo de un mes que cuadrantes donde coinciden en tiempo ambos indicadores, esto parece dar pauta para pensar en que las condiciones ambientales si son un factor determinante en la distribución de los cardúmenes de atún, además de la segregación que se produce entre organismos de distintos tamaños al asociarse a un determinado tipo de indicador, tallas promedio de 91.8 cm se asocian a delfines y tallas promedio de 83.0 cm a cardúmenes libres como ha sido reportado por Dreyfus-León & Robles-Ruiz (2004).

La variabilidad interanual es evidente tanto en las capturas y lances totales como por indicador de pesca. En términos generales se comportaron como se esperaba, presentando mayor número de lances sobre cardúmenes no asociados en todos los años dado que las operaciones de pesca fueron muy cercanas a la costa, adicionalmente esto también se reflejó en mayores capturas sobre este tipo de indicador comparadas con las realizadas sobre cardúmenes asociados a delfines. Una excepción a este comportamiento fue el año 2004 en él se presentó una disminución de las capturas totales en la zona costera, a este respecto la CIAT (2005b) reporta una ligera disminución en las capturas de atún aleta amarilla respecto al promedio 1989-2003 a nivel del OPO, registrándose en contraste un aumento en las capturas de otras especies como el barrilete y el atún patudo lo cual

se ha explicado por cambios en la estrategia de pesca motivados por las bajas capturas de atún aleta amarilla.

En relación a las capturas sobre cardúmenes asociados a delfín registradas en el 2004, parecen ser resultado de una mayor presencia de este indicador en CPM y CO. Para la CPM es común la mayor actividad de la flota sobre cardúmenes asociados a delfines, incluso se menciona un stock costero de delfín manchado al que se le dedica poco esfuerzo por su distribución restringida a la costa pero que coincide con la extensión de la plataforma continental y otro de esta misma especie denominado stock oceánico norteño (Perrin *et al.*, 1985, Anónimo, 1992), otras especies como el delfín tornillo y el delfín común también se encuentran en el área aunque es menos frecuente la asociación con aleta amarilla. En el caso de la CO en donde es menos frecuente la presencia de cardúmenes asociados a delfines, se señala por parte de la CIAT (2004b) condiciones normales durante este año refiriéndose a la temperatura, sin embargo, se aprecia un periodo de capturas de marzo a octubre con los mayores valores durante abril a junio, por lo que no es claro el mecanismo que intervino en este incremento de las capturas similar a las que se registraron durante 1998.

8.1 Distribución del esfuerzo

La distribución espacial de los indicadores de pesca ha sido ya descrita por distintos autores (Hall, 1998, Heckel *et al.*, 2000, Fonteneau, 2005) aunque con especial interés en la relación atún-delfín. De manera general para ambos indicadores la distribución permite apreciar una mayor concentración de lances al norte de los 20° N esto es posible atribuirlo a la abundancia del recurso, producto de su relación con las surgencias costeras que ocurren durante el mes de marzo y que son señaladas por Torres-Orozco (2004) como las responsables de crear regiones frontales que atraen al atún. La abundancia del recurso en conjunto con la cercanía a los principales puertos de desembarque (Mazatlán, Sin., Manzanillo, Col. y San

Carlos, B.C.S.) parecen ser factores determinantes en la distribución del esfuerzo a lo largo del área de estudio.

Otro rasgo relevante en la distribución de los lances de ambos indicadores es la relación que guardan con el talud continental, la cual es más notable a lo largo de las costas de Sinaloa y Nayarit y que en el caso de los lances no asociados se extiende a prácticamente en toda la costa mexicana. La preferencia por esta zona puede ser atribuida al efecto de frente térmico del talud continental que propicia una riqueza en diversidad de especies (Andrade-Cornejo, 2005), además de que en dirección al continente la capa de mezcla es más somera, lo que si bien favorece la disponibilidad de alimento, también, incrementa la vulnerabilidad de atún al arte de pesca (Torres-Orozco, 2004).

Los datos de este trabajo concuerdan con los de Punsly *et al.* (1994) en cuanto a la distribución del esfuerzo por indicador y las zonas de mayor abundancia durante el periodo de 1980-1988, incluyendo la zona frente a las costas de Pto. Ángel, Oax., señalada como un área de surgencias que en combinación con la influencia de un giro anticiclónico propicia concentraciones importantes del recurso (Arias-Aréchiga, 2005), sobre todo de cardúmenes no asociados contrastando con el resto de la parte sur del área de estudio donde es más común la presencia de cardúmenes asociados a delfines.

8.2 Condiciones ambientales que favorecen al tipo de indicador

Muchas son las propiedades oceánicas que han sido señaladas como determinantes de la distribución de atún aleta amarilla, una de las principales es la temperatura superficial del mar, aunque se menciona que se le encuentra entre los 18 °C y 31 °C las concentraciones comerciales se localizan entre los 20 °C y 28 °C (Uda, 1957, Blackburn *et al.*, 1962, Broadhead & Barret, 1964, Blackburn, 1965, Sund *et al.*, 1981).

Los lances analizados en este trabajo coinciden con estos intervalos, también con el hecho que las capturas y el esfuerzo que se aplica sobre lances de brisa es mayor en la región cercana a la costa (Anónimo, 1992, Watters, 1999). Se encontró que los lances llevados a cabo sobre cardúmenes no asociados o brisas presentan dos picos de captura a lo largo del intervalo de temperatura, el segundo (27 °C) ligeramente mayor que el primero (23 °C a 24 °C), este amplio intervalo aumenta la posibilidad de que la flota encuentre uno de estos cardúmenes, sin embargo, Trigueros-Salmerón (2003) encontró una relación inversa entre la TSM y la razón de lances positivos sobre este tipo de cardúmenes, esto puede deberse a que el área de estudio fue el noroeste de México, mientras que el presente trabajo comprende una área más extensa con condiciones más variables. Este mismo autor también menciona que estos cardúmenes poseen una mayor capacidad de evasión al arte de pesca debido a su velocidad, que alcanza 20.46 m/s (Magnuson, 1978), lo que explicaría lo encontrado en este trabajo donde a pesar del gran esfuerzo aplicado sobre este indicador la captura por lance fue menor en comparación a los lances sobre delfines que se desplazan a 10.83 m/s (Lang & Pryor, 1966). Aunque de manera general el porcentaje de lances exitosos por tipo de indicador fluctúa de un año a otro, para la flota mexicana de cerco Dreyfus & Mejia (2009) señalan que los lances sobre cardúmenes asociados siempre tiene mayor porcentaje de éxito. En relación a estos últimos sí muestran una mayor frecuencia en temperaturas por arriba de 27 °C, coincidiendo con lo reportado en relación a la preferencia de estos cardúmenes por aguas cálidas (Gómez-Muñoz *et al.*, 1992, Au & Perryman, 1985, Fiedler & Reilly, 1994).

Otra de las variables frecuentemente relacionadas a la distribución de este tipo de recursos es el color del océano o Cla, incluso el uso de estas imágenes satelitales en combinación con otras de temperatura superficial del mar, se sugieren para la detección de frentes y zonas de alta y baja mezcla (Anónimo, 1992) que pueden ser utilizadas por los técnicos de pesca para la detección de cardúmenes de atún y así concentrar la pesca en áreas específicas eliminando gran parte de la aleatoriedad de la actividad.

Aunque condiciones de alta productividad se mencionan como favorables para la presencia de cardúmenes no asociados, los resultados de este estudio muestran que ambos indicadores se presentan con mayor frecuencia tanto en capturas como en número de lances en valores menores; si bien en concentraciones más altas los lances sobre cardúmenes no asociados fueron más frecuentes y capturaron mayor cantidad de atún que los que se hicieron sobre cardúmenes asociados a delfín, estos últimos presentaron el mayor rendimiento por lance en la mayoría de los intervalos.

El micronecton reacciona rápidamente al incremento de la productividad primaria, al respecto, diversos trabajos (Blackburn, 1968, Fernández-Álamo & Färber-Lorda, 2006) mencionan la importancia del micronecton como alimento del atún aleta amarilla y barrilete, señalando incluso cierta selectividad de presas por parte de estos depredadores. En distintos estudios se menciona un periodo de retraso entre el máximo de productividad y el máximo de abundancia de aleta amarilla, Ortega-García (1998), encontró un retraso de 3 meses entre la mayor concentración de fitoplancton (primavera) y la mayor abundancia de atún aleta amarilla (finales de primavera y durante el verano) para la región de la CO, en tanto que para el GT se reporta un desfase de 3 a 5 meses (Blackburn, 1963, Ortega-García y Lluch-Cota, 1996). Al respecto, en este trabajo se reconoce la relación entre los máximos de productividad y la mayor abundancia relativa del recurso, posiblemente el desfase en tiempo pueda ser la explicación de que estas altas capturas se lleven a cabo cuando las concentraciones de Cla son menores. Si bien se especula en cuanto al tiempo que pasa entre la producción fitoplanctónica y la asimilación por parte del atún, este puede variar dependiendo de los componentes de la cadena alimenticia en cada zona, ya que por ejemplo Blackburn (1969) señala que la de la costa occidental de Baja California es la más corta del OPO, lo que se ha atribuido a que la langostilla (su principal alimento en esta zona) es un organismo que al menos en una etapa de su vida se alimenta principalmente de fitoplancton (Longhurst, 1966).

El Golfo de Tehuantepec es una de las tres zonas centroamericanas del OPO con altos niveles de productividad primaria. En esta zona Ortega-García & Lluch-Cota (1996) mencionan un retraso de 3 a 5 meses entre las mayores concentraciones de pigmentos fotosintéticos y la abundancia relativa del atún (enero a marzo), otro estudio realizado por Ortega-García (1998) señala en la misma área un retraso de 4 meses y afirma que este retraso puede explicarse como necesario para que se lleve a cabo la cadena alimenticia para que el fitoplancton (febrero) pase a ser alimento del atún vía micronecton (junio). Además señala otro desfase, pero esta vez espacial, es decir el recurso se encontró más hacia el oeste tal vez hacia un lugar con mayor abundancia de presas. Los fuertes vientos del norte que empiezan a soplar en octubre y noviembre producen que durante el invierno se reporte el máximo de fitoplancton detectados por imágenes de satélite (Fiedler, 1992; Lluch-Cota, 1995). El alimento del atún aleta amarilla en esta zona son peces como *Auxis spp.* y calamares (*D. gigas*) principalmente, lo que corrobora los resultados anteriores; sin embargo, la ocurrencia de portúnidos como presas importantes en esta área hace pensar que bajo ciertas condiciones ambientales la cadena alimenticia puede acortarse si existen abundancia de otros organismos (Alverson, 1963).

Respecto a la relación con la velocidad del viento se ha mencionado que a medida que esta se incrementa, la captura por lance disminuye (Arenas *et al.*, 1992). En este sentido Trigueros-Salmerón (2003) encontró que en el noroeste de México la mayoría de los lances son realizados en el intervalo de 5-6 m/s, con distribución normal, este estudio confirma lo anterior, las operaciones de la flota se realizan en un intervalo reducido de velocidad del viento, de 0 a 12 m/s con una mayor frecuencia entre 4-6 m/s catalogados como vientos leves a moderados, mientras que por arriba de los 8 m/s decrece. Esto podría justificarse por la dificultad que implicaría la maniobra con viento regular y que a mayores velocidades no sería posible hacer la maniobra de pesca como sucede en el Golfo de Tehuantepec durante los eventos de norte en los que los vientos alcanzan velocidades de 17 m/s (Trasviña *et al.*, 2003).

8.3 Diferencia en las capturas entre ambos indicadores de pesca bajo las mismas condiciones ambientales

La temporalidad del recurso en relación al tipo de indicador es diferente en cada una de las zonas. El periodo de 1998-2000 ha sido reportado por la NOAA como de condiciones La Niña, hecho que puede haber influido en la baja en las capturas en la zona de la CO, en estos años durante los meses de invierno y primavera la actividad de la flota fue muy reducida o nula incluso sobre los cardúmenes no asociados que tradicionalmente se encuentran en la zona y que se alimentan principalmente de langostilla (Galván-Magaña, 1988) organismos que son muy frecuentes en la zona y que alcanzan sus máximas abundancias durante los meses de marzo a junio (Blackburn, 1969, Aurióles-Gamboa *et al.*, 1995) fue hasta el verano cuando volvieron a presentarse capturas, sin embargo, este enfriamiento puede haber tenido un efecto benéfico al propiciar que cardúmenes no asociados de desplazaran a zonas como el GC, CPM y sobre todo el GT que es dominado normalmente por aguas de origen ecuatorial

La alta abundancia del recurso en la zona vestibular del GC ha sido señalada por distintos autores (Allen & Punsly, 1984, Castro-Ortiz & Quiñónez-Velázquez, 1987, Muhlia-Melo, 1993, Ortega-García, 1998, Torres-Orozco, 2004). Esta zona presenta los mayores valores de esfuerzo a lo largo del periodo, entre las causas por las que se han tratado de explicar estas concentraciones de aleta amarilla se encuentran la temperatura superficial del mar que en esta zona va desde 20 °C a 29 °C que podrían propiciar las concentraciones ya sea con fines de alimentación o reproducción, sin embargo, considerando que estas son aguas oligotróficas con valores de concentración pigmentaria bajos (Arias-Aréchiga, 1998) la alimentación puede estar limitada solo a ciertas áreas cercanas a la costa o en alguna temporada.

En lo que se refiere a su reproducción en el Pacífico mexicano, ésta se lleva a cabo en los meses de abril-mayo y octubre-noviembre (González & Ramírez, 1989). En torno a Cabo Corrientes y las Islas Marías se señala que este proceso

reproductivo es favorecido por la ocurrencia de flujos de agua caliente que se desplazan paralelos a la costa (Torres-Orozco, 2004). De acuerdo con Coan (2000), el periodo de actividad reproductiva en el GC es durante primavera, lo que coincide con las abundancias altas de cardúmenes no asociados que se observan en este estudio de marzo–mayo. Considerando que los cardúmenes no asociados presentan una talla promedio menor (Dreyfus-León & Robles-Ruiz, 2004) se puede suponer que en esta área ocurren organismos que maduran a tallas menores esto es corroborado por el estudio realizado por Schaefer (1998) donde reporta la talla de madurez mínima en hembras es de 59 cm, mientras que en los machos es menor a 50 cm, también coincide en que la mayoría de los organismos ya son maduros cuando alcanzan longitudes por arriba de los 90 cm. En el sur de México, González & Ramírez (1989) mencionan que la actividad reproductiva se lleva a cabo durante el periodo mayo-octubre, lo que coincide con una mayor presencia de cardúmenes asociados a delfines que son organismos de mayor tamaño, esta zona es señalada por los autores como la de mayor importancia del Pacífico mexicano.

El rendimiento que se registra en los cuadrantes con actividad sobre ambos tipos de indicador es muy similar al citado en la literatura, la mayor CPUE se observa en los lances sobre cardúmenes asociados a delfines en comparación a los no asociados, lo anterior, estando también relacionados con la temporada del año y el tamaño de las embarcaciones que operan (Hilborn & Walters, 1992). La dinámica de la zona costera se ve reflejada en la CPUE de cada uno de los indicadores al evidenciar la disminución de las capturas de cardúmenes no asociados durante los meses en los que se encuentran aguas cálidas y el comportamiento contrario en los asociados.

Por otro lado las capturas promedio registradas cercanas a la costa en el caso de los cardúmenes asociados a delfín se observan muy estables presentando un rango entre 50-150 t mensuales, estos niveles de captura pueden verse influenciados por la distribución de la flota, ya que como se ha señalado los barcos de mayor capacidad presentan una distribución más oceánica disminuyendo su presencia en la

zona costera durante una parte del año (Sosa-López & Manzo-Monroy, 2002), este tipo de embarcaciones son los que capturan más sobre atún asociado a delfines y los que presentan mayor eficiencia en la captura. Sin embargo, parecen ser principalmente las condiciones de temperatura las que determinan el indicador más abundante. Como se mencionó anteriormente, los niveles de captura sobre cardúmenes asociados a delfín presentan poca variabilidad mensual, esto se refleja también en el número de lances sobre este indicador que se mantiene entre 4 y 9 lances en promedio, mientras que el número de lances sobre cardúmenes no asociados contrasta entre los primeros meses del año (enero-abril) que es más alto el número de lances y el resto del año (mayo-diciembre).

8.4 Variabilidad de parámetros ambientales

En lo que se refiere a la dinámica del área de estudio, es posible diferenciar las zonas ya que eventos característicos por su temporalidad y magnitud separan grandes extensiones de agua, sin embargo, también es posible detectar áreas que son muy dinámicas por estar influenciadas por más de un evento o en los bordes de las zonas señaladas en este trabajo. De manera general la TSM se sigue mostrando como un factor determinante para la discriminación entre los cuadrantes de toda el área de estudio, tomando en cuenta que las isotermas tienen básicamente un avance latitudinal esto explicaría en buena medida la separación entre las zonas del norte (CO y GC) y las más próximas al ecuador (PCM y GT), así podemos diferenciar entre las que tienen influencia de aguas subtropicales y las de aguas cálidas de origen ecuatorial.

En segundo lugar la concentración Cla es el factor que determina diferencias dentro de los grupos que forma la TSM y que apoya la regionalización descrita en este trabajo. Como resultado de eventos de productividad propios de cada área a lo largo del año, se identificaron diferencias en la concentración de Cla, es decir, el GC presenta un cambio más notorio en los niveles de Cla por la alternancia de las condiciones de invierno-verano, mientras que en la CO este cambio es más discreto

ya que las condiciones se mantienen más constantes lo que parece ser suficiente para discriminar entre ambas zona. En el caso de las otras dos regiones el factor que parece separarlos es la temporada de nortes que afectan al GT y que propician la mezcla vertical lo cual eleva la productividad (Trasviña *et al.*, 2003), mientras que en la PCM se presentan eventos locales restringidos a la costa y con poco alcance hacia la zona oceánica.

En el caso de la velocidad del viento parece ser poco determinante por sí sola, sin embargo, también hace diferencia entre las zonas, por un lado las que registran intensidades más fuertes (GT y CO) y por otro las que no son tan intensas o que los periodos que presentan altas velocidades no son tan prolongados (PCM y GC).

Como se ha visto a lo largo de este trabajo el comportamiento de las capturas resulta muy variable y la componente estacional es evidente a través de todo el periodo de estudio. Esto ocurre en todo el OPO donde se hace referencia que además de la variabilidad estacional se han detectado tres regímenes diferentes de productividad (1975-1982, 1983-2001 y 2002-2006) correspondientes a tres niveles de reclutamiento bajo, alto e intermedio respectivamente (Maunder & Aires-Da-Silva, 2008). Si lo anterior es correcto este trabajo comprende parte de dos de estos tres regímenes, el alto (1983-2001) y el intermedio (2002-2006), si los regímenes de productividad corresponden a regímenes de biomasa, entonces las cohortes fuertes podrían haber entrado a la pesquería durante los primeros años de este estudio (1998-2001) y por tanto verse reflejadas en las capturas record que se presentaron primero en 1999 (CIAT, 2001) y después en 2003 (CIAT, 2004a).

Al revisar los registros de capturas de atún aleta amarilla del total del OPO (CIAT, 2005b), el total de túnidos capturados por la flota mexicana de cerco (Robles-Ruiz & Vaca-Rodríguez, 2004) y los datos utilizados en este estudio presentan la misma tendencia, con valores más bajos durante el periodo durante 1998, 2000 y 2004 y otro periodo de mayores abundancias durante 2001-2003; solo 1999 en los datos de este estudio es anómalo en comparación con las otras dos series, esto

parece deberse a capturas extraordinarias de cardúmenes no asociados, en contraste con los estudios arriba referidos en este estudio se tomaron en cuenta registros de embarcaciones menores a 680 t lo que puede dar pie a diferencias entre ambas capturas, en especial respecto a las capturas de cardúmenes asociados sobre los que este tipo de embarcaciones dirigen gran parte de su esfuerzo, no obstante, las tendencias son similares.

Relacionando este comportamiento de las capturas con los resultados de FEOs de las variables ambientales, se observa en los modos temporales de la TSM los años que se salen del patrón son el 2002 y 2003 coincidiendo con las de mayores capturas, sin embargo esto no se refleja con ninguno de los modos de Cla ni VV, estos reflejan más bien el comportamiento de regímenes del que se habló anteriormente. A manera de ejemplo el modo 1 de Cla se observa una señal diferente durante 1998, otra señal durante 1999-2001, una tercera en el periodo 2002-2003 y la última en 2004-2005, los otros dos modos describen una señal diferente pero se pueden detectar periodos específicos. En el caso específico de la VV es claro un cambio radical en la señal del primer modo pudiendo distinguir dos periodos 1998-2000 y 2001-2005, los otros modos tienen una señal menos definida. En análisis separados por área de las anomalías de VV (no incluidos en este trabajo) del comportamiento que muestran GC, CPM y GT presentan el patrón reflejado en los FEOs mientras que en el caso de la CO difiere ligeramente. La diferencia entre esta región (CO) y las otras tres se ha señalado anteriormente pero en base a sus características biogeoquímicas (Longhurst *et al.* 1995) donde la característica principal es la productividad biológica causada por vientos intensos estas zonas como el GC y GT y más al sur el Golfo de Papagallo (Longhurst, 2007).

Este trabajo muestra que a lo largo de las costas mexicanas se presentan distintos pulsos que tanto de manera conjunta como en particular son capaces de influenciar la abundancia de un recurso como el atún aleta amarilla, al favorecer la concentración de organismos de diferentes tallas y asociaciones. Si bien el patrón estacional de la TSM es evidente y se percibe como la señal más fuerte por la

influencia que ejerce por un lado las aguas ecuatoriales y por otro la corriente de California, esto en combinación con la concentración de Cl_a parece determinar aunque no de manera contundente la presencia de uno u otro tipo de indicador. Sin embargo, parece hacer falta información para conocer todos los factores que intervienen en esta segregación, por otro lado esas diferencias en las preferencias permiten que una zona con tanta dinámica como la boca del GC tenga presencia permanente del recurso, mientras que las otras que son más constantes en sus condiciones favorezcan la presencia de un solo tipo de indicador y solo bajo condiciones estacionales o anómalas se presente el otro.

9. CONCLUSIONES

El tipo de lance que realiza la flota está influenciado por las condiciones ambientales, pero también intervienen otros factores como la toma de decisiones por parte de organismos regulatorios de la actividad (p. ej. vedas y cuotas de captura) y de la propia operación de las embarcaciones. Estos son criterios que si bien se deben tener en cuenta para el manejo de la pesquería, también se complementan con la información que aportan los lances realizados, estos últimos están sujetos a diversas fuentes de variabilidad las cuales son necesarias identificar y entender.

Trabajos de este tipo representan intentos para tratar de entender los mecanismos que rigen la distribución de recursos de importancia comercial, en este caso el atún aleta amarilla que además es un organismo con una amplia distribución y altamente migratorio. La posibilidad que brinda esta pesquería para la obtención de datos de captura y la implementación de técnicas de percepción remota prácticamente en tiempo real darán la capacidad de dirigir el esfuerzo hacia zonas específicas reduciendo gastos de operación y haciendo redituable la actividad, de igual manera el entendimiento de los factores que determinan la presencia de un recurso en determinadas áreas permitirá un mejor manejo para garantizar la sustentabilidad.

La variabilidad que presentan los indicadores de pesca utilizados por la flota atunera de cerco depende de una combinación entre las variables ambientales. Gran parte de esta variabilidad está determinada por la temperatura superficial del mar, sin embargo, la combinación con la velocidad del viento y concentración de clorofila *a* tienen mucha influencia en la separación espacio-temporal entre cardúmenes asociados a delfines y no asociados.

Los datos manejados en este estudio muestran que al menos en una resolución espacio-temporal ($1^{\circ} \times 1^{\circ}$ y mensual respectivamente) existe una clara segregación entre cardúmenes asociados y no asociados y que si bien esta no es

una constante si es más frecuente que encontrar ambos cardúmenes coincidiendo en tiempo y espacio, por lo que las condiciones ambientales son determinantes en la distribución de los cardúmenes. En el caso de cuadrantes con presencia de ambos indicadores las tendencias generales son las mismas que en otros cuadrantes con un solo tipo de indicador, los cardúmenes asociados a delfín presentan mayores rendimientos a pesar de un menor número de lances representan una parte importante de la captura y en el caso de los lances sobre cardúmenes no asociados el número de lances sin captura es elevado mientras que las capturas son bajas respecto al esfuerzo aplicado.

Las preferencias ambientales entre cardúmenes asociados a delfines y los no asociados son diferentes; los cardúmenes asociados a delfines se relacionan a cuadrantes con temperaturas mayores, en contraparte los cardúmenes no asociados se encuentran mayormente relacionados con velocidades mayores de viento y concentraciones elevadas de clorofila *a*. En el caso de los cuadrantes mixtos se apegan más estas últimas condiciones.

Según los resultados de este estudio las zonas con mayor dinámica son las que aportan mayores capturas debido a que la variedad de condiciones permiten la presencia constante de cardúmenes de diferentes tipos.

La estacionalidad de TSM indica la predominancia de la señal anual. Todas las regiones presentan eventos en los que la temperatura se ve alterada, principalmente por el efecto de la invasión y la retirada de aguas tropicales, sin embargo, en sentido contrario los eventos de surgencias por efecto de los vientos confieren un enfriamiento a lo largo de la costa que acentúan la diferencia a lo largo del año.

La señal más fuerte que muestra la concentración de Cla evidencia el efecto de la variabilidad interanual. Las señales que se identifican se asocian a eventos como El Niño ocurrido durante 1998 y el posterior episodio frío de La Niña que

empezó en 1999 y que se prolongó durante los años 2000 y 2001. Las variaciones estacionales en la concentración de CO_2 se relegan a un segundo plano, sin embargo, son constantes en tiempo más no en amplitud o intensidad.

La señal más fuerte de la velocidad del viento se manifiesta como la existencia de dos regímenes, antes y después del 2001. Al menos con los datos analizados en este trabajo no es posible ver un patrón estacional, las razones para que la señal se pierda se pueden atribuir a la variedad de fenómenos y la extensión del área de estudio en los que el viento es un factor determinante y que ocurren en distintas épocas de año. También es necesario el análisis de otros parámetros como la dirección del viento para identificar procesos de mesoescala.

10. LITERATURA CITADA

- Aguñiga-García, S. 2000. Aspectos de la geoquímica del material orgánico en el BAC del Golfo de Ulloa, B.C.S. En: D. Lluch Belda, J. Elorduy Garay, S.E. Lluch Cota y Ponce Díaz, G. (Eds.) BAC: Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. CIBNOR-CICIMAR-CONACYT. 111-123.
- Allen, R. L. 1984. Los delfines y la pesca con cerco de atún aleta amarilla 1/. Rev. Com. Perm. Pacífico Sur. (14):3-18.
- Allen, R. & R. Punsly. 1984. Catch rates as indices of abundance of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the Eastern Pacific Ocean. Bull. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. 18(4): 303-79.
- Alverson, F. G. 1963. The food of yellowfin and skipjack tunas in the eastern tropical Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. Bull 7:293-396 p.
- Amador, J. A., E. J. Alfaro, O. G. Lizano & V. O. Magaña. 2006. Atmospheric forcing of the eastern tropical Pacific: A review. Progress in Oceanography. 69: 101–142p.
- Andrade-Cornejo, I. M. 2005. Peces condricios mesobáticos de la cordillera sumergida de Juan Fernández: ¿son diferentes de aquellos del talud continental de Chile central? Tesis de licenciatura. Universidad Austral de Chile. 67p.
- Anónimo. 1992. Dolphins and the Tuna Industry. Committee on Reducing Porpoise Mortality from Tuna Fishing, Board on Biology, Board on Environmental Studies and Toxicology, Commission on Life Sciences, National Research Council. USA. 176p.
- Arenas, P., M. Hall & M. García. 1992. The association of tunas with floating objects and dolphins in the eastern Pacific. VI. Association of fauna with floating objects in the EPO. International workshop on fishing for tunas associated with floating objects, La Jolla, California, 11–14 February 1992. La Jolla Cal. U.S.A. 40 p.
- Arias-Aréchiga, J. P. 1998. Regionalización del Golfo de California: una propuesta a partir de la concentración de pigmentos fotosintéticos (CZCS). Tesis de Licenciatura. UABCS. 57 p.

- Arias-Aréchiga, J. P. 2005. Oceanografía Pesquera del Golfo de Tehuantepec: El caso Atún Aleta Amarilla *Thunnus albacares* (Bonnaterre, 1788). Tesis de Maestría. CICIMAR. 55 p.
- Au D. W. K. & W. L. Perryman. 1985. Dolphin habitats in the Eastern Tropical Pacific. *Fish. Bull.* 83(4): 623-642 p.
- Aurioles-Gamboa, D., E. F. Balart & J. L. Castro-Aguirre. 1995. Recomendaciones para la explotación y aprovechamiento de la langostilla. In: Auriolés-Gamboa, D.; E. F. Balart (eds.), *La langostilla: Biología, Ecología y Aprovechamiento*. 1995. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. pp. 221-233
- Badan-Dangon A., Koblinsky D.J. & T. Baumgartner. 1985. Spring and summer in the Gulf of California: observations of surface thermal patterns. *Oceanologica Acta.* 8: 13–22.
- Blackburn, M. 1962. An oceanographic study of the Gulf of Tehuantepec. US Fish and Wildlife Service, Special Scientific Reports, Fisheries, No. 404, 28pp.
- Blackburn, M., R. C. Griffiths, R. W. Holmes & W. H. Thomas. 1962. Physical, Chemical, and Biological observations in the Eastern tropical Pacific Ocean: three Cruises to the Gulf of Tehuantepec 1958–59, U.S. Fish and Wildlife Service, Special Scientific Report Fisheries. 420 pp. 1–170
- Blackburn, M. 1963. Distribution and abundance of tuna related to wind and ocean conditions in the Gulf of Tehuantepec, México. *FAO. Fisheries Technical Report.* 6(3):1,557-1,583 p.
- Blackburn, M. 1965. Oceanography and the ecology of tunas. *Oceanogr. Mar. Biol Ann Rev.*, 3: 299-322 p.
- Blackburn, M. 1968. Micronekton of the eastern tropical Pacific Ocean: family composition, distribution, abundance, and relations to tuna. U.S. Fish and Wildlife Service, *Fisheries Bulletin* 67, 71–115.
- Blackburn, M. 1969. Conditions related to upwelling which determine distribution of tropical tunas off western Baja California. *Fish. Bull.* 68(1):147 - 176.
- Blackburn, M.; R. M. Laurs; R. W. Owen & B. Zeitzschel. 1970. Seasonal and areal changes in standing stocks of phytoplankton, zooplankton and micronekton in the eastern tropical Pacific. *Marine Biology.* 7. 14–31.

- Blackburn, M. 1973. Regressions between biological oceanographic measurements in the eastern tropical Pacific and their significance to ecological efficiency. *Limnology and Oceanography* 18, 552–563.
- Broadhead, G. C. & I. Barret. 1964. Some factors affecting the distribution and apparent abundance of yellowfin and skipjack tuna in the Eastern Pacific Ocean. *IATTC, Bulletin*. VIII (8): 419-451p.
- Castro-Ortíz, J. L. & C. Quiñones-Velásquez. 1987. Distribución y abundancia del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) en relación con la temperatura superficial en el Pacífico Nororiental (1983-1985). En: M. Ramírez (ed.). *Memorias del Simp. Sobre Inv. En Biol. y Ocean. Pesq. En México*. CICIMAR. La Paz, B.C.S., abril de 1987:21-23
- Chatfield, C. & A. J. Collins. 1980. *Introduction to multivariate Analysis*. Chapman and Hall. New York. 246 p.
- CIAT. 1995. Informe anual de la Comisión Interamericana del Atún Tropical. 1994. Rep. Anual. IATTC, 296 p.
- CIAT, 2001 Informe Anual de la Comisión Interamericana del Atún Tropical 1999. USA. Rep. Anual. IATTC, 153 p
- CIAT. 2002. Informe Anual de la Comisión Interamericana del Atún Tropical 2001. USA. Rep. Anual. IATTC, 148 p.
- CIAT. 2004a. Primer trimestre 2004. Informe trimestral de la Comisión Interamericana del Atún Tropical. La Jolla, Cal. 36 p.
- CIAT. 2004b. Segundo trimestre 2004. Informe trimestral de la Comisión Interamericana del Atún Tropical. La Jolla, Cal. 41 p.
- CIAT. 2005a. Atunes y peces picudos en el Océano Pacífico Oriental en 2005. Informe de la situación de la pesquería no 4. Comisión Interamericana del Atún Tropical., 142 pp
- CIAT. 2005b. Primer trimestre 2005. Informe trimestral de la Comisión Interamericana del Atún Tropical. La Jolla, Cal. 35 p.
- CIAT. 2008. Primer trimestre 2008. Informe trimestral de la Comisión Interamericana del Atún Tropical. La Jolla, Cal. 36 p.

- CIAT. 2009. Informe Anual de la Comisión Interamericana del Atún Tropical 2007. USA. Rep. Anual. IATTC. La Jolla. 113 p.
- Coan, A. L. 2000. California's Living Marine Resources and Their Utilization Eastern Pacific Yellowfin Tuna. NOAA/NMFS. Southwest Fisheries Science Center. 8p.
- Cole, J. S. 1980. Synopsis of biological data on the yellowfin tuna, *Thunnus albacares* (Bonaterre, 1788), in the Pacific Ocean. Spec. Rep. I-ATTC, (2):75-150 In: Bayliff, W. H. (ed). Synopsis of biological data on eight species of Scombroids. Inter - Am. Trop. Tuna Comm. Spec. Rep. 2. 530 p.
- Collette B. B. & C. E. Nauen. 1983. FAO species catalogue. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date, 125, vol 2. FAO Fisheries Synopsis, Rome, 137pp
- Dagorn, L.; K. N. Holland, J. P. Hallier; M. Taquet; G. Moreno; G. Sancho; D. G. Itano; R. Aumeeruddy; C. Girard; J. Million & A. Fonteneau. 2006. Deep diving behavior observed in yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). Aquat. Living Resour. 19, 85–88.
- Davis, R.E. 1976. Predictability of sea surface temperature and sea level pressure anomalies over the North Pacific Ocean. J. Phys. Oceanogr. 6: 249-266.
- Del Monte-Luna, P. 2004. Caracterización del centro de actividad biológica del Golfo de Ulloa, B.C.S., bajo un enfoque de modelación ecológica. Tesis de Doctorado. CICIMAR. 85p.
- Dreyfus-León, M. & H. Robles-Ruiz. 2004. Distribución de tallas de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) de la flota atunera mexicana en el Océano Pacífico Oriental (OPO) durante 2003. El Vigía. PNAAPD. Abr-Jun. año 9 num. 21. 2-3 p.
- Dreyfus-León, M. & H. Robles-Ruiz. 2005. Talla media del atún aleta amarilla, *Thunnus albacares*, de 1995 a 2004. El Vigía. PNAAPD. Ene-Mar. año 10 num. 24. 5-6 p.
- Dreyfus-León, M. & A. Mejía. 2009. Talla Lances de agua (primera parte). El Vigía. PNAAPD. Ene-Jun. año 14 num. 35. 3-4 p.
- Edwards, E. F. 1992. Energetics of associated tunas and dolphins in the eastern tropical Pacific Ocean: A basis for the bond. Fish. Bull., U. S. 90:678 - 690.

- Fernández-Álamo, M. A. & J. Färber-Lorda. 2006. Zooplankton and the oceanography of the Eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography* 69. 318–359.
- Ferrán-Aranaz, M. SPSS para Windows: Análisis estadístico. Ed. Mc Graw Hill. España.
- Fiedler, P. C. 1992. Seasonal climatologies and variability of eastern tropical Pacific surface waters. NOAA Tech. Rep. NMFS 109, 65 pp.
- Fiedler, P. C. 1994. Seasonal and interannual variability of coastal zone color scanner phytoplankton pigments and winds in the eastern tropical Pacific, *J. Geophys. Res.*, 99(C9), 18,371–18,384.
- Fiedler P. C. & S. B. Reilly. 1994. Interannual variability of dolphin habitats in the Eastern Tropical Pacific II: effects on abundance estimated from tuna vessels sightings, 1975-1990. *Fish. Bull.* 92:451-463 p.
- Fiedler, P. C. & L. D. Talley. 2006. Hydrography of the eastern tropical Pacific: a review. *Progress in Oceanography* 69 (2–4), 143–180.
- Fonteneau, A. 2005. An overview of yellowfin tuna stocks, fisheries and stock status worldwide. 1st Meeting of the Scientific Committee of the Western and Central Pacific Fisheries Commission WCPFC–SC1. SA IP-2. 38 p.
- Fréon, P. & L. Dagorn. 2000. Review of fish associative behaviour: toward a generalisation of the meeting point hypothesis. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 10: 183–207.
- Gallegos-García, A. y J. Barberán-Falcón. 1998. Surgencia eólica. Cap. 3: 27-34. En: M. Tapia-García (Ed.) *El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos*, 240 p. Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa, México. ISBN 970-654-348-1.
- Galván-Magaña, F. 1988. Composición y análisis de la dieta del atún aleta amarilla *Thunnus albacares* en el Pacífico mexicano durante 1984-1985. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. México. 86 p.
- Gómez-Muñoz V. M., Ortega-García S. & Gómez-Gallardo A. 1992. Relationship between sea surface temperature and dolphin-associated fishing activities by the Mexican tuna fleet. *NAGA. The ICLARM Quarterly, Fish byte Section.* 15: 24-25.

- González, O.G. & M. Ramírez. 1989. Zonas y épocas de reproducción del atún aleta amarilla *Thunnus albacares* en el Pacífico mexicano. *Investigaciones Marinas CICIMAR*, 4(2):201-209.
- Gutiérrez, J.M., R. Cano, A.S. Cofiño & C.M. Sordo. 2004. *Redes Probabilísticas y Neuronales en las Ciencias Atmosféricas. Series Monográficas*, Ministerio de Medio Ambiente. España. 279pp.
- Hall, M., P. Arenas & C. Lennert. 1992. The association of tunas with floating objects and dolphins in the eastern Pacific Ocean II: The purse-seine fishery for tunas in the eastern Pacific Ocean. *Inter American Tropical Tuna Commission*. 38 p.
- Hall, M.; M. García; C. Lennert-Cody.; P. Arenas & F. Miller. 1999. The association of tunas with floating objects and dolphins in the eastern Pacific Ocean: A review of the current purse-seine fishery. In: Scott M.D., Bayliff W.H., Lennert-Cody C.E. and Schaefer K.M. (eds.), *Proceedings of the International Workshop on the Ecology and Fisheries for Tunas Associated with Floating Objects*, February 11–13, 1992. *Inter-American Tropical Tuna Commission Special Report 11*, La Jolla, California, pp. 87–194.
- Hall, M. 1998. An ecological view of the tuna-dolphin problem: impacts and trade-offs. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 8: 1-34.
- Hampton, J. P.; Kleiber, A.; Langley, & K. Hiramitsu. 2004. Stock assessment of yellowfin tuna in the western and central Pacific Ocean. *SCTB17 Working Paper SA-1*. 17th Meeting of the Standing Committee on Tuna and Billfish, Majuro, Marshall Islands.
- Heckel, G.; K.E., Murphy & G. Compeán-Jiménez. 2000. Evasive behavior of spotted and spinner dolphins (*Stenella attenuata* and *S. longirostris*) during fishing for yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the eastern Pacific Ocean. *Fish. Bull.* 98: 692–703.
- Hela, I. & T. Laevastu. 1962. The influence of temperature on the behaviour of fish. *Fisheries Biological Technical Paper*. No. 22: 83-104.
- Hilborn, R. & J.C. Walters. 1992. *Quantitative Fisheries Populations Assessment*. Chapman and Hall, London. 570 pp.

- Hoyle, S. D. & M. N. Maunder. 2006. Status of yellowfin tuna in the Eastern Pacific Ocean in 2004 and outlook for 2005. Inter-American Tropical Tuna Commission. 102 pp
- Huyer, A. 1983. Coastal Upwelling in the California Current System. *Prog Oceanog*, 12: 259-284.
- Joseph, J. & T. Calkins. 1969. Populations dynamics of the skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) of the Eastern Pacific Ocean. Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Bull. 13(1): 273 p.
- Kahru, M. 2005. Windows Image Manager (WIM): Image Display and Analysis Program. <http://www.wimsoft.com>.
- Kessler, W. S. 2006. The circulation of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*. 69: 181–217p.
- Laevastu, T. & H. Rosa. 1963. Distribution and relative abundance of tunas in relation to their environment. *FAO Fish. Rep.* 6(3):1835-1851.
- Lang, P. & J. Pryor. 1966. Hydrodynamic performance of porpoise (*Stenella attenuata*). *Science* 152: 531-3 p.
- Langley, A., J. Hampton, P. Kleiber & S. Hoyle. 2007. Stock assessment of yellowfin tuna in the western and central Pacific Ocean, including an analysis of management options. Western and Central Pacific Fisheries Commission. WCPFC-SC3-SA SWG/WP-01. 116 p.
- Lavín, M. F.; P. C. Fiedler; J. A. Amador; L. T. Ballance; J. Färber-Lorda & A. M. Mestas-Núñez. 2006. A review of eastern tropical Pacific oceanography: Summary. *Progress in Oceanography*. 69 (2006) 391–398 p.
- Longhurst, A. R. 1966. The pelagic phase of *Pleuroncodes planipes* in the California current. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest*, 11: 142-154.
- Longhurst, A.; S. Sathyendranath; T. Platt and C. Caverhill. 1995. An estimate of global primary production in the ocean from satellite radiometer data. *Journal of Plankton Research*. Vol. 17. No. 6. Pp. 1245-1271.
- Longhurst, A. 2007. *Ecological geography of the sea*. 2nd ed. Academic Press. 542 p.
- Lluch-Belda, D. 1999. Centros de Actividad Biológica en la costa de Baja California. p. 49-64. En: Lluch-Belda, D., J. Elorduy-Garay, S. E. Lluch-Cota y G. Ponce-

- Díaz (eds) BAC's: Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. CIBNOR-CONACyT.
- Lluch-Cota, S. E. 1995. Variación espacio-temporal de pigmentos fotosintéticos en el Golfo de Tehuantepec a partir de imágenes de satélite (CZCS). Tesis de Maestría. CICIMAR/IPN. 70 pp.
- Magaña, V., J. A. Amador & S. Medina. 1999. The Midsummer Drought over Mexico and Central America *J. Climate*, 12, 1577-1588.
- Magnuson, J. J. 1978. Locomotion by Scombridae fishes: hydrodynamics, morphology, and behavior. *Fish Phys.* 7:239-313 p.
- Majkowski, J. 2007. Global fishery resources of tuna and tuna-like species. FAO Fisheries Technical Paper. No. 483. Rome, FAO. 2007. 54p.
- Manzo-Monroy, H.G. 2003. Sobre la influencia de giros de mesoescala en las capturas de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) en el océano Pacífico Tropical Este. Tesis de Doctorado. UABC. 173 p.
- Marinone, S.G. & M.F. Lavín. 1997. Mareas y corrientes residuales en el Golfo de California. In: M.F. Lavín, editor, *Contribuciones a la Oceanografía en México*. Monografía No. 3. Unión Geofísica Mexicana. p. 113-139.
- Martínez-López, A. & G. Verdugo-Díaz. 2000. Composición y dinámica del fitoplancton en el BAC de Bahía Magdalena, B.C.S. En: D. Lluch-Belda, J. Elorduy, S.E. Lluch-Cota & G. Ponce-Díaz (eds.). *BAC Centros de Actividad Biológica del Pacífico mexicano*. CIBNor-CICIMAR-CONACyT. La Paz, B.C.S.:125-142.
- Maunder, M. N. 2007. Condición del atún aleta amarilla en el Océano Pacífico Oriental en 2006 y perspectivas. *Com. Interam. del Atún Trop.*, 102 pp.
- Maunder, M N. & A. Aires-Da-Silva. 2008. Status of yellowfin tuna in the Eastern Pacific Ocean in 2007 and outlook for the future. *Inter-American Tropical Tuna Commission. 9th Stock Assessment Review Meeting. Document SARM-9-06a*. 70 p.
- McCreary, J.P., Hu, H.S., & Enfield, D.B. 1989. The response of the coastal ocean to strong off shore winds: With application to circulations in the Gulfs of Tehuantepec and Papagayo, *J. Mar. Res.*, 47, 82-109.

- Mc Gillicuddy, D.J., A.R. Robison, D.A. Siegel, H.W. Jannash, R. Johnson, T.D. Dickey, J. Mc Neil, A.F. Michaels & A.H. Knap. 1998. Influence of mesoscale eddies on new production in the Sargasso Sea. *Nature*. 394:263-266.
- Mestas-Núñez, A. M. & A. Miller. 2006. Interdecadal variability and climate change in the eastern tropical Pacific: a review. *Progress in Oceanography*. 69 (2–4), 267–284.
- Miyake, M.P.; N. Miyabe, & H. Nakano. 2004. Historical trends of tuna catches in the world. *FAO Fisheries Technical Paper*. No. 467. Rome, FAO. 2004. 74p.
- Molina-Cruz, A. & M. Martínez-López. 1994. Oceanography of the gulf of Tehuantepec, México, indicated by Radiolaria remains. *Paleogeography Paleoclimatology, Paleoecology*. 110: 179-195.
- Monreal-Gómez, M.A. & D.A. Salas de León. Dinámica y estructura termohalina. Cap. 2: 13-26. En: M. Tapia-García (Ed.) *El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos*, 240 p. Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa, México, 1998. ISBN 970-654-348-1.
- Muhlia-Melo, A. 1993. Retrospectiva de la pesquería del Atún Aleta Amarilla *Thunnus albacares* (Bonaterre 1788), el recurso y su administración en México. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 81 pp.
- Ortega-García, S. & S. Lluch-Cota. 1996. Distribución de la abundancia de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) y su relación con la concentración de pigmentos fotosintéticos medidos por satélite en aguas al sur de México. *Investigaciones Geográficas. Boletín núm. Especial (4):85-93*.
- Ortega-García, S. 1998. Análisis de las fluctuaciones espacio temporal en la abundancia del atún en el Océano Pacífico Oriental. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Marinas. Univ. Nac. Aut. de México. 67pp.
- Oschlies, A. & Garçon, V. C. 1998. Eddy-induced enhancement of primary production in a coupled ecosystem-circulation model of the North Atlantic Ocean. *Nature*, 394, 266-269.
- Pella, J. J. & C. T. Psaropulos. 1975. Measures of tuna abundance from purse seiner operations in the eastern Pacific Ocean, adjusted for fleet-wide evolution of

- fishing power, 1960-1971. Inter- American Tropical Tuna Comm. Bull. 16(4):281-400 p.
- Perrin, W.E., M.D. Scott, G.J. Walker & V.L. Cass. 1985. Review of Geographical Stocks of Tropical Dolphins (*Stenella* spp. and *Delphinus delphis*) in the Eastern Pacific. NOAA Technical Report NMFS 28. Nat. Mar. Fish. Serv., NOAA, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C.
- Popoca-Arellano, E. I. 2003. Efectos del viento y la temperatura superficial del mar sobre la distribución espacio-temporal de las capturas atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) en el Golfo de Tehuantepec, México. Tesis de Licenciatura. UABC. 59 p.
- Power, H.J. & M.L. Nelson Jr. 1991. Satellite observed sea-surface temperatures and yellowfin tuna catch and effort in the Gulf of México. Fishery Bull. U.S. 89:429-439.
- Preisendorfer, R.W. & C.D. Mobley. 1988. Principal component analysis in meteorology and oceanography. Elsevier, Amsterdam.
- Punsly, R. G., P. K. Tomlinson & A. J. Mullen. 1994. Potential tuna catches in the eastern Pacific Ocean from schools not associated with dolphins. Fishery Bulletin. 92: 132-143.
- Robles-Ruíz, H. y J. G. Vaca-Rodríguez. 2004. Descargas mensuales acumulativas de la flota atunera mexicana en el Pacífico Oriental en 2004. PNAAPD, El Vigía. 9(24):2-3.
- Roden, G.I. and G.W. Groves. 1959. Recent oceanographic Investigations in the Gulf of California. Journal of Marine Research, 18(1): 10-35.
- Roden, G.I. 1964. Oceanographic aspects of the Gulf of California. Marine Geology of the Gulf of California: A Symposium, Mem. Am. Assoc. Pet. Geol. 3, 30-58.
- Roden, G.I. & I. Emilsson. 1980(no publicado). Physical Oceanography of the Gulf of California. 4 Simposio científicos conmemorativos al 50 aniversario de la autonomía universitaria. Mazatlán Sin. UNAM. 1980.
- Schaefer, K.M. 1998. Reproductive biology of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Eastern Pacific Ocean. Bull. Inter-Amer. Trop. Tuna Com. 21(5):201-272.

- Schaefer, K.M., D. W. Fuller & B.A. Block. 2007. Movements, behavior, and habitat utilization of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the northeastern Pacific Ocean, ascertained through archival tag data. *Mar. Biol.* 152: 503-525.
- Sosa-López, A. & H.G., Manzo-Monroy. 2002. Patrones espaciales del atún (*Thunnus albacares*) en el Océano Pacífico Oriental: una exploración de perfiles de concentración. *Ciencias Marinas*. 28(4):331-346 p.
- Sund, P.N., M. Blackburn & F. Williams. 1981. Tunas and their environment in the Pacific Ocean: a review. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*19:443-512.
- Torres-Orozco E. 1993. Análisis volumétrico de las masas de agua del Golfo de California. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). 80pp.
- Torres-Orozco, E. 2004. Características dinámicas e hidrográficas del océano en relación con la distribución de las capturas de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) en la entrada al Golfo de California. Tesis de Doctorado. CIBNOR. La Paz, B.C.S., México.116 p.
- Trasviña A., D. Lluch-Cota, A. Filonov & A. Gallegos, 1999. El Pacífico Tropical Mexicano y El Niño. Contribución al libro "Impacto del Niño en México". Ed. V. Magaña. UNAM.
- Trasviña, A., E.D. Barton, H.S. Velez & J. Brown. 2003. Frontal subduction of a cool surface water in the Gulf of Tehuantepec, México. *Geofísica Internacional*. 42(1): 101-114 p.
- Trigueros-Salmerón, J. A. 2003. La influencia de algunas variables ambientales en la distribución y abundancia del atún aleta amarilla *Thunnus albacares* en el noroeste del Pacífico mexicano. Tesis Doctorado. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 62 p.
- Uda, M. 1957. A consideration on the long years trend of the fisheries fluctuations in relation to sea conditions. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 23(7-8):368-372.
- Wackernagel, H. 1998. Principal component analysis for autocorrelated data: A geostatistical perspective. Centre de Geostatistique - Ecole des Mines de Paris. Technical Report, 22p.

- Wang, C. & P.C. Fiedler. 2006. ENSO variability in the eastern tropical Pacific: a review. *Progress in Oceanography* 69 (2–4), 239–266.
- Ward, R.D., N.G. Elliott & P. M. Grewe. 1994. Allozyme and mitochondrial DNA variation in yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) from the Pacific Ocean. *Marine Biology* 118:531-539.
- Watters, G.M. 1999. Distribuciones geográficas del esfuerzo y las capturas de atunes por barcos cerqueros en el Océano Pacífico Oriental durante 1965-1998. Comisión Interamericana del Atún Tropical. Data Report 10. 100 pp.
- Willett, C.S., R. Leben & M. F. Lavín. 2006. Eddies and mesoscale processes in the eastern tropical Pacific: a review. *Progress in Oceanography* 69 (2–4), 218–238.
- Wirtky, K. 1965. Surface currents of the Eastern Tropical Pacific Ocean. Inter-American Tropical Tuna Commission, Bulletin IX, No.5, 63-97.
- Wyrski, K. 1966. Oceanography of the eastern equatorial Pacific Ocean. *Oceanography and Marine Biology, Annual Review*, 4, 33-68.
- Wirtky, K. 1967. Circulation and water masses in the Eastern equatorial Pacific Ocean. *Int. J. Oceanol. and Limnol.* 1(2):117-147.