



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE
CIENCIAS MARINAS**



**Oceanografía Pesquera del Golfo de Tehuantepec:
El caso Atún Aleta Amarilla *Thunnus albacares*
(Bonnaterre, 1788)**

Tesis que para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

con Especialidad en Manejo de Recursos Marinos presenta:

BIOL. MAR. JUAN PEDRO ARIAS ARECHIGA

LA PAZ, B.C.S., MEXICO 2005



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
COORDINACION GENERAL DE POSGRADO E INVESTIGACION

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 25 del mes Enero del año 2005, el (la) que suscribe JUAN PEDRO ARIAS ARECHIGA alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con número de registro B020750 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: "OCEANOGRAFÍA PESQUERA DEL GOLFO DE TEHUANTEPEC: EL CASO ATÚN ALETA AMARILLA *Thunnus albacares* (Bonnaterre, 1788)" 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. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: jparias@terra.com.mx

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


JUAN PEDRO ARIAS ARECHIGA

nombre y firma



Dedicatoria

A Caroline por su amor y apoyo sin limites.

A Christine por darle otra dimensión a mi vida.

A mis padres y hermanos por su confianza en mí y en mis decisiones.



Agradecimientos

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN) por ser parte importante en mi desarrollo profesional.

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

A mi directora de tesis Dra. Sofía Ortega García por devolverme a este camino y depositar en mí su confianza, mi eterna gratitud.

A cada uno de los miembros del comité revisor integrado por: Dr. Daniel Lluch Belda, Dr. Armando Trasviña Castro, Dr. Felipe Galván Magaña y al Dr. Salvador Lluch Cota, por sus observaciones y sugerencias que mejoraron este trabajo.

Por ultimo quiero agradecer a todas las personas que me brindaron su amistad a lo largo de estos años y a los compañeros por lo compartido durante esta etapa de mi vida.



INDICE

LISTA DE FIGURAS	ii
GLOSARIO.....	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. AREA DE ESTUDIO.....	5
4. OBJETIVOS	8
5. METODOLOGÍA	
5.1 Bases de datos	9
5.2 Análisis de los datos	10
5.2.1 Análisis pesquero	10
5.2.2 Distribución espacio-temporal.....	11
5.2.3 Análisis estadístico	11
5.2.4 Estructura térmica durante febrero de 1996	11
6. RESULTADOS	
6.1 Variabilidad interanual	13
6.2 Variabilidad estacional	18
6.3 Oceanografía pesquera durante 1996	19
7. DISCUSIÓN	37
8. CONCLUSIONES.....	45
9. RECOMENDACIONES	47
10. LITERATURA CITADA.....	48



LISTA DE FIGURAS

Figura 1.- Área de Estudio..... 7

Figura 2.- Capturas y esfuerzo aplicado en el Golfo de Tehuantepec durante el periodo 1984-1999..... 13

Figura 3.- Captura por lance anual durante el periodo 1984-1999. 13

Figura 4.- Porcentaje de lances por capacidad de acarreo durante el periodo 1984-1999..... 14

Figura 5.- Captura total y por indicador de pesca..... 14

Figura 6.- Distribución de lances por indicadores de pesca. 16

Figura 7.- Anomalías de Temperatura media (ATSM) del área del estudio (entre los 9-17° latitud norte y 91-99° longitud oeste), señalando los periodos cálidos y fríos (según el MEI), en relación con las capturas sobre cardúmenes no asociados y asociados con delfines 17

Figura 8.- Captura promedio mensual en el Golfo de Tehuantepec del periodo 1984-1999..... 19

Figura 9.- Captura por lance mensual promedio del periodo 1984-1999..... 19

Figura 10.- Captura y captura por lance durante 1996 en el Golfo de Tehuantepec. 20

Figura 11.- Proporción de las especies capturadas en el Golfo de Tehuantepec durante 1996..... 20

Figura 12.- Proporción del total de lances (a) y éxito de pesca por indicador b) brisa, c) delfín y d) objetos flotantes. 21

Figura 13.- Análisis de las capturas por lance mensual promedio..... 22

Figura 14.- Análisis de las capturas por lance por trimestre. 23

Figura 15.- Análisis de las capturas por tipo de indicador 23

Figura 16.- Análisis de las temperaturas en relación al de indicador de pesca durante febrero de 1996..... 24

Figura 17.- Golfo de Tehuantepec a) Temperatura superficial b) Profundidad de la isoterma de 20° C obtenidos de datos de crucero Altair durante febrero de 1996..... 25



Figura 18.- Perfiles de temperatura superficial del mar con datos de CTD de dos cruceros oceanográficos y su relación con los lances de la flota atunera26

Figura 19.- Actividad mensual de la flota cerquera durante 1996 y temperatura superficial del mar en el Golfo de Tehuantepec.....29

Figura 20 a y b.- imágenes diarias de temperatura superficial del mar y lances efectuados por la flota de cerco durante los primeros días de febrero de 1996.31

Figura 21.- Esquema de los procesos de mesoescala que tiene influencia en las condiciones oceanográficas del Golfo de Tehuantepec33

Figura 22.- Imagen de concentración de clorofila a del día 9 de diciembre de 2003 tomada por el SeaWiFS, donde se aprecian estructuras de mesoescala como giros y surgencias en el Golfo de Tehuantepec.....34

Figura 23.- Altura superficial del mar y corrientes mensuales durante 1996.31



GLOSARIO

Advección: transporte horizontal de masa de agua por corrientes.

Esfuerzo del viento: componente que gobierna la dinámica de la capa de borde del océano y por lo tanto se espera que esté físicamente más relacionado con la formación de olas superficiales, la producción de corrientes superficiales generadas por viento, y el proceso de mezcla que mantiene al océano superficial homogéneo hasta la termoclina.

Frente térmico: diferencia de temperatura por unidad de distancia

Giros: estructuras semipermanentes con características identificables de las aguas que los rodean

Gradiente térmico: Aumento o disminución gradual de la temperatura a lo largo de un espacio geográfico o del tiempo.

Isoterma: Línea que une los puntos con igual temperatura. Una línea sobre una carta hidrográfica que conecta todos los puntos de igual o constante temperatura.

Mesoescala: procesos que tienen una escala espacial menor a mil kilómetros

Oceanografía Pesquera: Es el estudio de los procesos oceanográficos que afectan la abundancia y disponibilidad de peces comerciales

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

Termoclina: Es aquella zona de la capa superficial del océano en la cual la temperatura del agua del mar tiene una rápida disminución en sentido vertical.



RESUMEN

Una de las áreas que tradicionalmente ha sido importante en la captura de atún aleta amarilla es aquella que consiste en las aguas adyacentes al Golfo de Tehuantepec, que por sus características oceanográficas y alta productividad ha sido caracterizado como un centro de actividad biológica. Durante los meses de octubre a marzo vientos fríos atraviesan el Istmo de Tehuantepec procedentes del Golfo de México, los cuales fomentan la formación de intensos frentes térmicos, salinos y de densidad. Estos frentes oceánicos representan ondas dinámicas en las que la actividad pesquera alcanza mayor éxito de pesca y es posible detectar grandes concentraciones de zooplancton que atraen al necton con fines de alimentación, por lo que el estudio de la generación y propagación de giros de mesoescala asociados a eventos de surgencia y mezcla vertical, podría permitir pronosticar la abundancia del recurso bajo ciertas condiciones ambientales. La información consiste en las capturas de atún aleta amarilla registradas por la flota atunera mexicana durante 1996, así como datos oceanográficos de cruceros, los cuales se contrastan con imágenes de satélite AVHRR. Se presenta la distribución mensual de los lances sobre mapas de temperatura superficial del mar. En cuanto a la variabilidad estacional se observa una captura por lance mayor en el segundo trimestre, a pesar de la menor actividad de la flota en el área con respecto al primer trimestre. En el análisis de datos *in situ* de la profundidad de la isoterma de los 20 °C para el mes de febrero con respecto a los lances de la flota, se observa una concertación del esfuerzo entre los 30 y 60 m de profundidad. Las capturas de atún se presentan en su mayoría cercanas a las costas de Oaxaca, muy relacionadas a la intrusión de agua cálida proveniente del norte, delimitadas por las surgencias costeras y el giro anticiclónico



ABSTRACT

One of the fishing areas of traditional importance in the capture of yellowfin tuna is that adjacent to the Gulf of Tehuantepec, which because of its oceanographic characteristics and high productivity level has been qualified as a Biological Action Center. From October to March, cold winds from the Gulf of Mexico blow across the Isthmus of Tehuantepec. These winds are important the formation of intense and dense saline thermal fronts. These oceanic fronts represent dynamic waves where fishing becomes highly efficient, making it possible to detect large concentrations of zooplankton which in turn attracts nekton for feeding purposes. Hence, the study of the generation and propagation of mesoscale eddies associated with events of upwelling and vertical mix, could permit forecasting the abundance of fish under certain environmental conditions. The information used consisted in logbook records of the Mexican tuna fleet during 1996, coupled with oceanographic data provided by cruises, which is contrasted with images from the AVHRR satellite's sensor. We present a monthly distribution of sets over maps of sea surface temperature. Regarding seasonal variability, we have detected a larger catch per set during the second quarter, in spite of the fleet's diminished activity in the area in relation to the first quarter. Upon analyzing *in situ* data on the isotherm depth of 20° for the month of February regarding the fleet sets, one can detect a greater concentration of effort at a depth of between 30 and 60 meters. The majority of Tuna catches take place close to the Oaxaca coastline and are closely related to the intrusion of warm water from the north, which is surrounded by the coastal upwellings and the anticyclonic eddy.



1. INTRODUCCION

El atún aleta amarilla *Thunnus albacares* (Bonnaterre, 1788) se distribuye en el Océano Pacífico desde la península de Baja California, México, en el hemisferio norte hasta las costas de Perú, en el hemisferio sur y desde la costa del continente americano hasta los 150° longitud oeste (Hall *et al.*, 1992). Se estima que el 25% de la producción mundial de atún se captura en esta zona, denominada Océano Pacífico Oriental (OPO) (Joseph, 1994).

México ocupa el primer lugar en capacidad de acarreo de las flotas que operan esta pesquería en el OPO a nivel nacional el segundo lugar en captura y el primero en volumen de exportación (Ortega-García, 1998; CIAT, 2000). El atún aleta amarilla es la especie objetivo de la flota atunera mexicana con aproximadamente el 85%, seguido del barrilete (13%) y 2% en la captura de otras especies (CIAT, 2002b).

La flota atunera la integran en su mayoría barcos cerqueros de diversa capacidad de acarreo y autonomía. Para la captura de esta especie se utilizan básicamente tres indicadores de pesca: cardúmenes de atún cerca de superficie se le denomina "brisa", la detección de delfines que se encuentran asociados a cardúmenes de atún y el avistamiento de objetos flotantes a los cuales también se asocia el atún (Ortega-García y Muhlia-Melo, 1992).

Por su carácter altamente migratorio, el atún aleta amarilla posee una distribución muy amplia, la identificación de zonas de alta concentración que permitan hacer de la pesca una actividad redituable ha sido abordada basándose en diversos factores. Inicialmente, a través de la experiencia de los pescadores se determinaban los lugares y las temporadas en las que el recurso estaba disponible, denominándose "caladeros"; sin embargo, se ha observado que éstos dependen en gran medida de las condiciones ambientales, de sus variaciones estacionales e interanuales, y de la presencia de procesos oceanográficos.



Una de las áreas que tradicionalmente ha sido importante en la captura de atún aleta amarilla son las aguas adyacentes al Golfo de Tehuantepec, el cual por sus características oceanográficas y alta productividad ha sido caracterizado como un centro de actividad biológica (Ortega-García *et al.*, 2000). Esta región está influenciada por los vientos provenientes del norte, las tormentas tropicales, la oscilación cuasi - bianual del Pacífico y por eventos anómalos como El Niño. La circulación a gran escala de las corrientes en la región está determinada por los desplazamientos latitudinales del sistema de vientos Alisios y de la convergencia intertropical, que a su vez afecta la dinámica dentro del golfo (Monreal-Gómez y Salas de León, 1998).

Durante los meses de octubre a marzo los vientos fríos atraviesan el Istmo de Tehuantepec procedentes del Golfo de México. Estos se conocen como "Nortes", "Tehuanos" o "Tehuantepequeros" y son responsables de los eventos de mezcla vertical que ocurren en el Golfo de Tehuantepec. Estos eventos se caracterizan por un intenso enfriamiento superficial, y en muchas ocasiones, han sido erróneamente descritos como surgencias costeras. En el Golfo de Tehuantepec el viento sopla perpendicular a la costa e induce fuertes chorros de viento hacia afuera de la costa. El intenso corte vertical de las corrientes, donde la termoclina es muy somera (50 m), produce el 'abordamiento' de las aguas subsuperficiales y su mezcla con las aguas superficiales (Trasviña *et al.*, 1995; Trasviña y Barton, 1997). Distintos aspectos de este fenómeno son descritos también por Lavín *et al.* (1992) y Barton *et al.* (1993). El resto del año predominan los vientos del norte, a través del Istmo, aunque de menor intensidad y modulados ocasionalmente por el paso de perturbaciones tropicales (A. Trasviña, Com. Pers.¹).

Los vientos de invierno producen corrientes intensas en el golfo central, bajo el chorro de viento y en el golfo occidental, donde la termoclina es más profunda (más

¹ Dr. Armando Trasviña. Centro de Investigación Científica y de Estudios Superiores de Ensenada, Unidad La Paz, B.C.S.



de 100 m), mientras que en el golfo oriental la circulación es lenta y somera (Trasviña, 1991). Esta asimetría en la respuesta del océano es responsable de la generación de grandes giros cálidos, anticiclónicos (giran como las manecillas del reloj) que se propagan hacia el interior del Pacífico oriental tropical. Durante el verano, observaciones recientes de la circulación del Golfo de Tehuantepec muestran la generación de giros dipolares. Estos son pares de giros, anticiclónico en el golfo occidental y ciclónico en el oriental, que son generados por vientos débiles pero persistentes del norte. Los dipolos se propagan hacia fuera de la costa por poco tiempo (un mes) hasta que se debilitan. El anticiclónico es más estable y por varios meses sigue una ruta de propagación similar a la de los giros de invierno (A. Trasviña Com. Pers.).

Entre las fuentes de variación más notorias en el Océano Pacífico Oriental están los eventos El Niño; durante los años El Niño, los centros de alta presión en el Golfo de México responsables de los nortes se desplazan más al sur, debilitando los eventos de enfriamiento del golfo (Monreal-Gómez y Salas de León, 1998).

Además de las altas capturas de atún aleta amarilla (Allen y Punsly, 1984; Ortega-García, 1998), el Golfo de Tehuantepec también está reconocido como la principal área de desove y crianza durante los meses de invierno (González y Ramírez, 1989). Ayala-Duval *et al.* (1988) mencionan la presencia de estadios larvales de muchos peces de importancia comercial y que son motivo de la ocurrencia de peces de mayor tamaño que migran a la zona con fines de alimentación.

2. ANTECEDENTES

El estudio de características oceanográficas que influyen en las capturas de especies de importancia comercial había sido difícil, debido a la limitada cobertura de cruceros oceanográficos y al costo que representaban dichas campañas; con el uso de satélites este aspecto cambió, permitiendo una cobertura mayor en tiempo y espacio, permitiendo incluso el uso de imágenes con fines comerciales.



Se han desarrollado estudios que resaltan la importancia de los frentes como zonas de gran abundancia debido a la intensa mezcla vertical y horizontal, resultando en un incremento de la productividad primaria y secundaria; es decir, la disponibilidad de alimento. También se hace mención de que la temperatura o el color del océano por sí solos no explican del todo la distribución de los recursos pesqueros que concurren en estas zonas (Lauri *et al.*, 1984; Olson y Backus, 1985). Un caso concreto sobre escómbridos es el trabajo de Fiedler y Bernard (1987) en el que documentan la relación de la alimentación de albacora (*Thunnus alalunga*) y el barrilete (*Katsuwonus pelamis*) en relación a zonas de alimentación de acuerdo con las condiciones de temperatura y color. Blackburn (1965) menciona la importancia de los frentes en la ecología de los atunes y otros peces, aunque no especifica claramente las razones de esta relación.

En el caso del atún aleta amarilla del Golfo de México, Power y Nelson (1991) encontraron que no había una relación clara con los frentes térmicos; ya que la gran capacidad de desplazamiento que tiene el atún y la falta de precisión para determinar el lugar de captura cuando se utiliza el palangre dificultan asociarlo a la temperatura. Por otra parte Ortega-García y Lluch-Cota (1996) refieren una diferencia de tres a cinco meses entre los valores máximos de abundancia de atún y concentración de pigmentos. Lo anterior concuerda con lo descrito por Blackburn (1963) el cual menciona de una diferencia similar (3 meses) entre el viento y la cosecha de micronecton (alimento del atún).

Recientemente se han implementado modelos en los que se toman en cuenta factores del medio ambiente como temperatura del agua y claridad, en conjunto con aspectos fisiológicos como evacuación gástrica, costos metabólicos, el sistema sensorial como eficiencia alimentaría visual, abundancia y densidad de energía de las presas. Kirby *et al.* (2000) concluyen que la temperatura por si sola no es determinante para la agregación de los atunes en los frentes. Sin embargo, la influencia que los giros de mesoescala tienen en las capturas, ha sido documentada por diversos autores, ya sea por el aumento de la productividad biológica (Mc



Gillicudy *et al.*, 1998) o por su papel en migraciones de diversas especies (Saitho *et al.*, 1986).

3. AREA DE ESTUDIO

El Golfo de Tehuantepec se localiza en la porción sureste de la República Mexicana, es la frontera sur de la Zona Económica Exclusiva de México en el Océano Pacífico. Es una región aproximadamente de 125,000 km² delimitada al sur por la latitud de 12° N, al norte por la costa mexicana entre Puerto Ángel, Oaxaca y Puerto Madero, Chiapas, al este por el meridiano 92° W y al oeste por el meridiano 97° W (Gallegos-García y Barberán-Falcón, 1998) (figura 1).

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 y 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 Ecuatorial (CCNE) y la Corriente Costera de Costa Rica (CCCR) (Wirtky, 1967). La Corriente de Costa Rica 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 y Martínez-López, 1994).



La CCNE durante verano esta relacionada con el desplazamiento de la Zona Intertropical de Convergencia (ZITC) 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 ZITC empieza su repliegue hacia el ecuador lo que ocasiona el debilitamiento de la CCNE. Durante el invierno la CCNE solo llega hasta los 120° W, lo que ocasiona un debilitamiento de CCCR y flujos costeros toman dirección al sur (Wirtky, 1967).

La batimetría de la zona también juega un papel importante en la dinámica de la zona, el origen del Golfo de Tehuantepec se puede asociar con la actividad de las placas tectónicas de la región. La plataforma continental no alcanza el quiebre a profundidades del orden de 200m, sino del orden de 100m y refleja la importancia de la subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa de América; esta misma subducción parece responsable de la Fractura de Tehuantepec que corre paralela a la línea de costa de Chiapas (Carranza-Edwards *et al.*, 1998).

Tapia-García y Gutiérrez-Díaz (1998) dividen las costas de Oaxaca y Chiapas en dos regiones: una que comprende la mayor parte del Golfo de Tehuantepec (de Salinas del Marqués, Oax., al Río Suchiate, Chis.), que se caracteriza por una plataforma amplia de fondos blandos; y otra de escasa plataforma continental, de litoral rocoso, que comprende la parte oeste de la costa de Oaxaca.

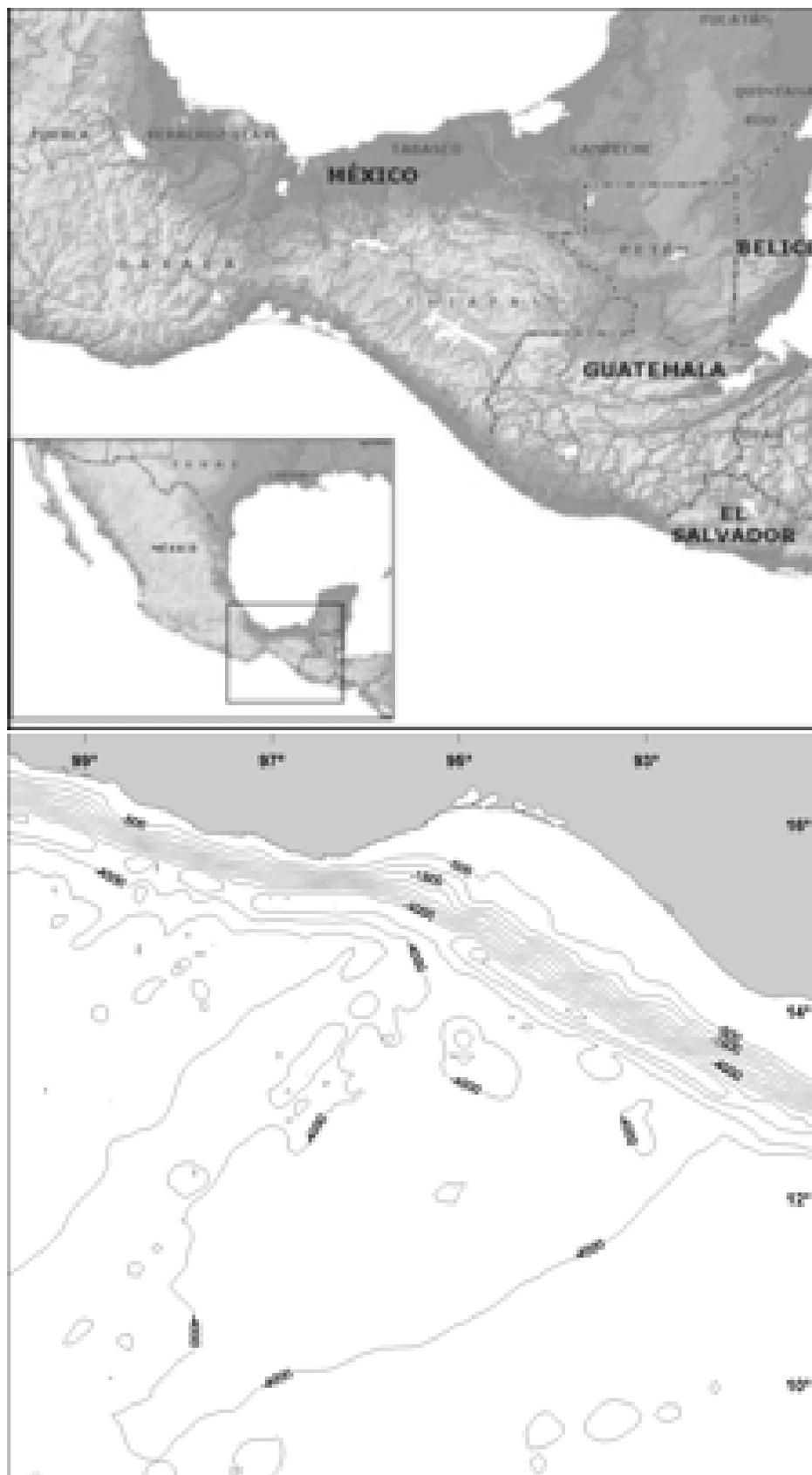


Figura 1. Área de Estudio



4. OBJETIVO

Determinar la relación entre los procesos oceanográficos que ocurren en el Golfo Tehuantepec y aguas adyacentes con la distribución y variabilidad de las capturas de las capturas de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*), durante 1996.

De manera adicional, se pretende determinar un esquema conceptual de los factores físico-biológicos que tienen influencia sobre las capturas en esta región.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar la variación espacio temporal de las capturas de AAA obtenidas por la flota atunera mexicana en el Golfo de Tehuantepec y aguas adyacentes durante 1996.
- Determinar si existe diferencia significativa en los valores de captura por lance mensual, trimestral y por tipo de indicador de pesca.
- Determinar y analizar la relación de las capturas de atún con la TSM y la estructura térmica.
- Relacionar los cambios en la distribución de lances con la presencia de los frentes y giros oceánicos mediante imágenes de satélite.



5. METODOLOGIA

5.1 Bases de datos

Se analizaron las bitácoras de la flota atunera mexicana de cerco correspondientes al periodo 1984-1999 con especial atención en el año de 1996. Durante este periodo se tiene registro de 7,448 lances y de los cuales en 1996 los datos corresponden a 1,045 lances. Todos los lances fueron efectuados en el área definida entre los 9-17° latitud norte y 91-99° longitud oeste, comprenden el Golfo de Tehuantepec y aguas adyacentes. De las bitácoras se utilizó información referente a la captura, tipo de pesca (brisa, delfín u objeto flotante), así como la localización geográfica de cada lance. Estos datos fueron recopilados por el grupo de “Estudios Biológico-Pesqueros de Pelágicos Mayores”, del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN).

Con el fin de describir los procesos oceanográficos que influyen en la distribución de las capturas, se analizaron imágenes de satélite en infrarrojo del Radiómetro Avanzado de Muy Alta Resolución (AVHRR por sus siglas en inglés) en dos escalas temporales. Las primeras son un promedio mensual de la temperatura superficial del mar con resolución de 18 km, provenientes del satélite NOAA/NESDIS. En el caso de las segundas, fueron adquiridas en el Servicio Regional de Información Oceanográfica (SERIO) del Laboratorio de Oceanografía y Manejo Costero (LAOCOS) de la Universidad Nacional de Costa Rica y corresponden a pases diarios de los satélites NOAA - 12 y NOAA - 14 durante el periodo de febrero y marzo de 1996 en resolución de 1.1 km.

Los datos oceanográficos fueron proporcionados por el Centro de Investigación Científica y de Estudios Superiores de Ensenada (CICESE) Unidad La Paz, provenientes de un esfuerzo multi-institucional que comprendió instituciones como la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Universidad de Guadalajara (U de G) y la Secretaría de Marina de México, las instituciones internacionales que intervinieron en este experimento son: Institución Oceanográfica



Scripps de Estados Unidos (SIO, Global Drifter Program). La Universidad de Gales, Gran Bretaña (Escuela de Ciencias Oceánicas-SOS,) y la Universidad Nacional de Costa Rica (Laboratorio de Oceanografía Costera-LAOCOS, C.R.) y la colaboración de David Schultz de la Universidad Estatal de Nueva York en la predicción de vientos fuertes en el área.

En los cruceros realizados durante los meses de febrero y marzo de 1996 participaron tres embarcaciones oceanográficas, por parte de la Secretaría de Marina de México el B.O. Altair, el B.O. Solidaridad del LAOCOS Costa Rica y el B.O. Francisco de Ulloa perteneciente al CICESE. A lo largo de este experimento se utilizaron 24 flotadores ARGOS para seguimiento de corrientes, además de perfiladores convencionales de conductividad y temperatura (CTD) del tipo convencional (SBE9/11), además de un CTD ondulante a SBE19 (ambos tipos de Seabird Electronics). De igual manera se utilizó un perfilador acústico Doppler (ADCP).

Adicionalmente se utilizaron imágenes diarias de la altura superficial de mar y corrientes, puestas a disposición pública por la Naval Research Laboratory.

5.2 Análisis de los datos

5.2.1 Análisis pesquero

Para el análisis pesquero se realizó una revisión del año de 1996 y una breve comparación respecto a los años que comprenden el periodo de 1984 a 1999 para ver el comportamiento de las capturas en la zona, discriminando las capturas por indicador de pesca.

En particular para el año de 1996 se realizó un análisis mensual de las capturas, de la captura por lance y la proporción del éxito de pesca.



5.2.2 Distribución espacio-temporal

Con las imágenes de satélite de 18 km de resolución en conjunto con los lances hechos durante cada mes, se elaboraron mapas de distribución de la actividad de la flota y su comportamiento con la temperatura superficial del mar.

Para determinar la distribución espacio-temporal del esfuerzo pesquero, los lances realizados durante cada mes se posicionaron sobre las imágenes de SST. También se obtuvieron las temperaturas máxima, mínima y promedio del área.

5.2.3 Análisis estadístico

Se usó análisis de variancia de una vía con el fin de determinar la variabilidad entre los valores de captura por lance a escala mensual y trimestral. También se sometió a este análisis la captura por lance y la temperatura con la que se asocian, por tipo de indicador.

5.2.4 Estructura térmica durante febrero de 1996

Esta se determinó mediante los datos de temperatura provenientes de los cruceros oceanográficos realizados por los B.O. Altair y el B.O. Ulloa, realizado durante el periodo 10 - 27 de febrero el primero y del 29 de febrero al 10 de marzo el segundo, se realizaron perfiles hasta una profundidad de 100 m, a estos se les sobrepusieron los lances hechos por la flota atunera que correspondían en tiempo y espacio clasificados por volumen de captura.

Adicionalmente de los datos del B.O. Altair se extrajo la profundidad a la cual se registraba la temperatura de los 20 °C como indicador del inicio de la termoclina (Donguy y Meyers; 1987, Kessler, 1990), esto para caracterizar la topografía de la termoclina durante el mes de febrero y posteriormente sobreponer los lances hechos por la flota durante este periodo.



Con el fin de observar las condiciones que prevalecieron durante los lances efectuados en los meses de febrero y marzo, se revisó la temperatura superficial del mar, la profundidad de la capa de mezcla y el gradiente térmico. Con la ayuda de imágenes de satélite se determinó la existencia de frentes térmicos que en combinación con mapas de distribución de lances permitieron relacionar la influencia de estos fenómenos oceanográficos con el comportamiento de la flota atunera mexicana de cerco.



6. RESULTADOS

6.1 Variabilidad interanual

Las capturas en el Golfo de Tehuantepec son altamente variables; la captura mínima se registró durante 1990 (818 t) y la máxima en 1997 con (16,421 t). El esfuerzo refleja de igual manera esta variabilidad con los valores extremos en los mismos años. La figura 2 muestra esta variabilidad, donde los años de mayores capturas fueron en orden ascendente 1996, 1994 y 1997, coincidiendo con los picos de mayor esfuerzo; mientras que en 1990 se registró la menor actividad en el área y las capturas más bajas. La variabilidad en los valores de captura por lance se observan en la figura 3, los cuales durante 1991 y 1993 sobrepasaron las 20 t; durante 1990 y 1998 la captura por lance registró mas de 15 t, mientras que en el resto de los años, el valor se encontró fluctuando entre 10 y 15 t por lance.

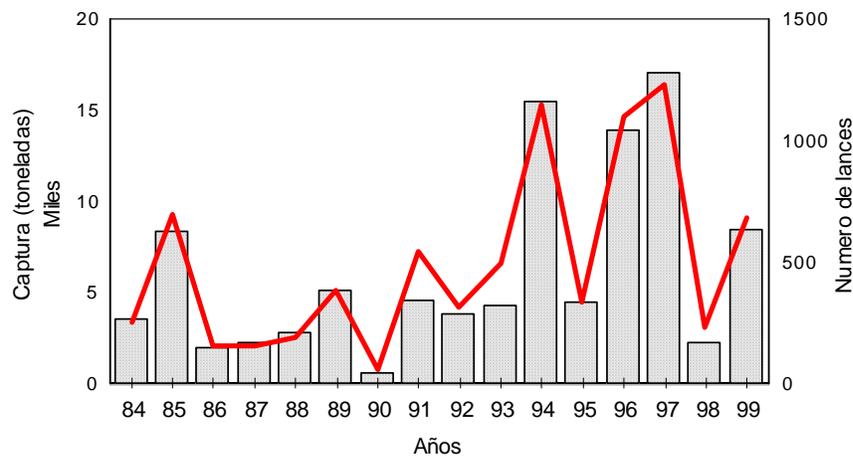


Figura 2.- Capturas (barras) y esfuerzo (línea) aplicado en el Golfo de Tehuantepec durante el periodo 1984 - 1999.

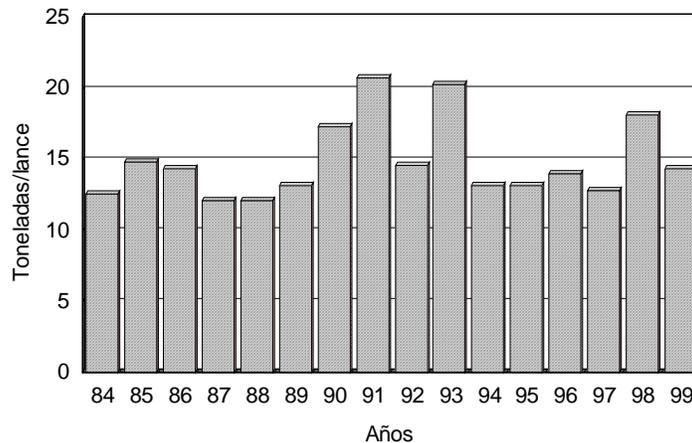


Figura 3.- Captura por lance anual durante el periodo 1984 - 1999.

La capacidad de los barcos que operaron en la zona registró cambios en su frecuencia de aparición a lo largo del periodo. Durante todos los años se registró presencia de barcos de 680 y 1090 t, mientras que barcos de otras capacidades tuvieron actividad sólo en algunos años. Respecto al total de los lances, los años de 1994, 1996 y 1997 registraron más de 1,000 lances, debido principalmente al aumento de embarcaciones mayores de 1090 t en 1994 y menores a 680 t durante los otros dos años (Figura 4).

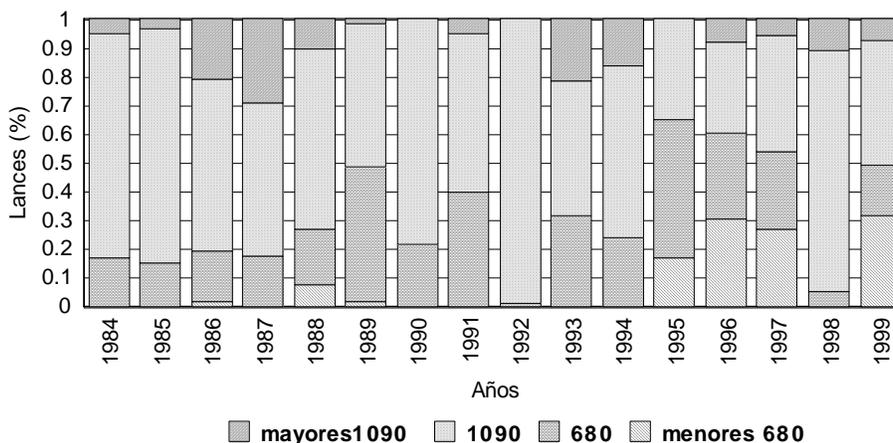


Figura 4.- Porcentaje de lances por capacidad de acarreo durante el periodo 1984 - 1999.



En cuanto al indicador de pesca, durante el periodo de 1984 - 1994 se observó una dominancia de pesca sobre cardúmenes asociados a delfín; esta tendencia se invierte a partir de 1995, con un número mayor en lances sobre cardúmenes libres o brisa alcanzando las mayores capturas del periodo en 1996 y 1997. Durante 1998, el número de lances sobre delfines aumentó, sin embargo, se registró una caída en las capturas. En 1999 las capturas se recuperaron, coincidiendo con la presencia de un mayor número de cardúmenes libres en el área. Los lances sobre objetos flotantes en la zona no representaron capturas de importancia, alcanzando en los mejores años menos de las 500 t (Figura 5).

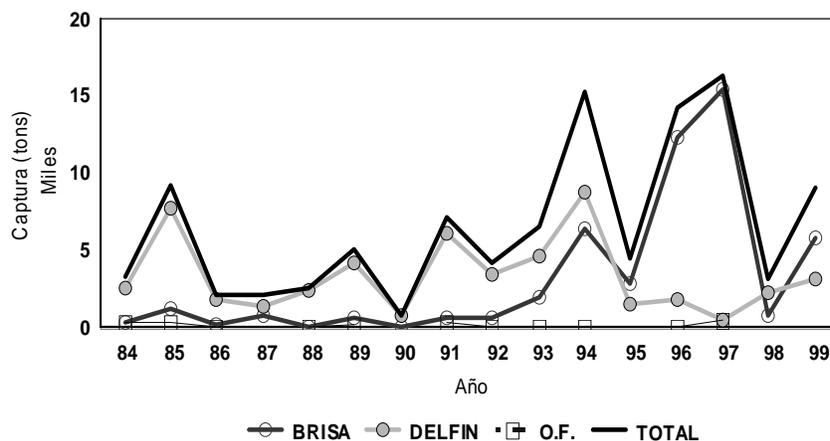


Figura 5.- Captura total y por indicador de pesca.

En la figura 6 se muestra la distribución espacial de los lances según los tres indicadores de pesca que utiliza la flota (brisa o no asociados, asociados a delfines y objetos flotantes). Se observan algunos años en los cuales la actividad en el golfo es intensa y se concentra en determinadas áreas (p ej. 1985, 1988 y 1993); mientras que en otros años es muy dispersa (p ej. 1987, 1991 y 1998), incluso con muy poca actividad como la registrada en 1990 o de total ausencia de alguno de los indicadores como es el caso de los objetos flotantes (p ej. 1990, 1995 y 1999). Además de lo anterior es posible observar la importancia de cada indicador en los diferentes años retomando la figura 5.

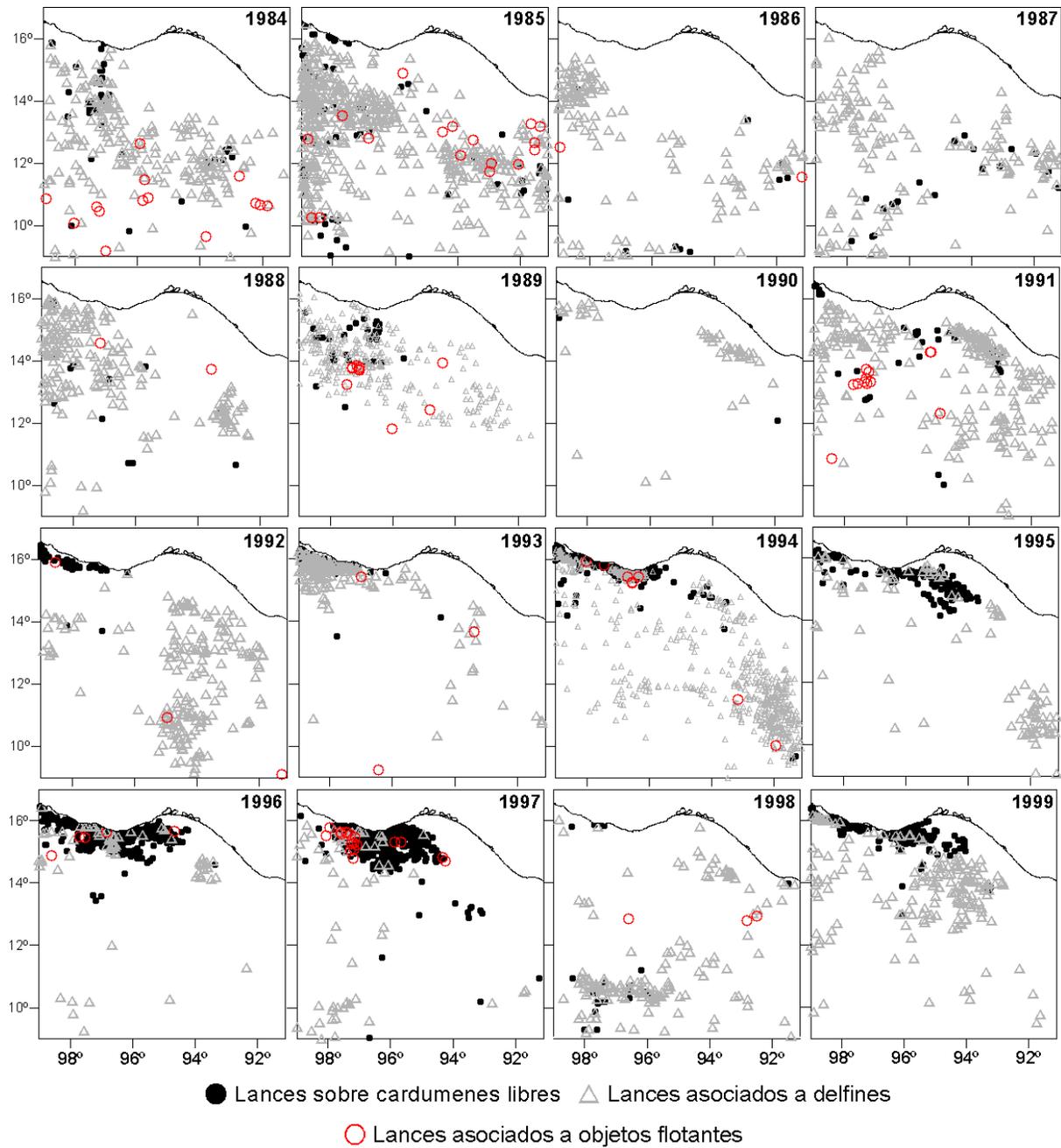


Figura 6.- Distribución de lances por indicadores de pesca.

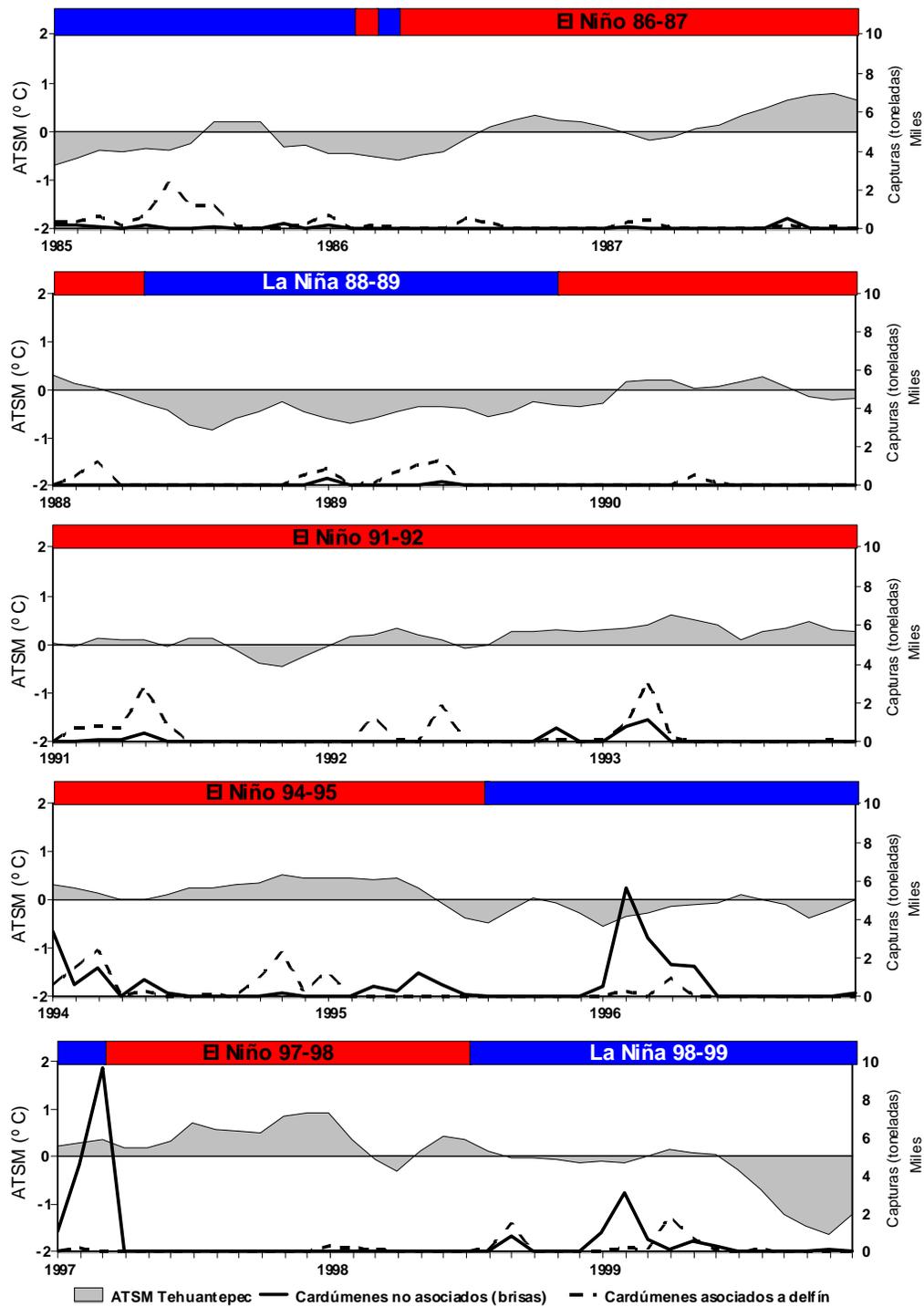


Figura 7.- Anomalías de Temperatura media (ATSM) del área del estudio (entre los 9-17° latitud norte y 91-99° longitud oeste), señalando los periodos cálidos y fríos (según el MEI), en relación con las capturas sobre cardúmenes no asociados y asociados con delfines.



Con el fin de evidenciar si existe un efecto ejercido por diferentes eventos interanuales (El Niño y La Niña) en la Anomalías de Temperatura Superficial del Mar (ATSM) media del GT se presenta la figura 7; en ella se observa como algunos de estos eventos (4 Niños y 2 niñas) no parecen haber influido en las capturas realizadas por la flota. Las mayores capturas registradas durante el periodo de estudio ocurrieron durante 1996 y principios de 1997 señalado por el Índice Multivariado de El Niño (MEI por sus siglas en ingles) como un periodo frío o una Niña moderada, en la figura 7 las ATSM de la zona se muestran negativas pero muy cercanas a condiciones normales y que contrasta con finales 1997 -1998 en que se registró un evento cálido (El Niño) que parece haber repercutido en cierta medida en una baja en las capturas al registrar anomalías cercanas a +1 °C, adicionalmente se muestran las capturas por indicador de pesca para resaltar la ocurrencia de cada uno en relación con la ATSM de la zona en donde se observa poco efecto de los eventos interanuales.

6.2 Variabilidad estacional

El año tipo promedio (1984-1999), se calculó mediante el promedio de capturas de cada mes. En la figura 8 se presenta el resultado de este cálculo. Las capturas presentaron los valores más altos durante los primeros tres meses del año (invierno), con un máximo en marzo de 28,665 t. Durante el resto del año la captura promedio mensual baja a un promedio de 10 mil toneladas en abril, mayo y junio, mientras que en el verano (julio a octubre) las capturas fueron inferiores a 5 mil toneladas (3,500 toneladas en septiembre). En el otoño (noviembre y diciembre) se recuperan un poco para alcanzar un promedio cercano a las 5 mil toneladas.

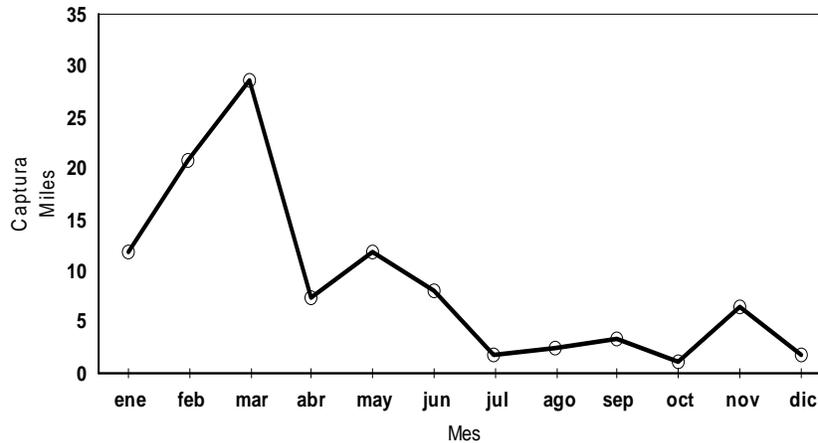


Figura 8.- Captura promedio mensual en el Golfo de Tehuantepec del periodo 1984-1999.

En contraste con lo anterior, los valores de captura por lance fueron mayores durante el segundo trimestre, específicamente en mayo con 20.37 t por lance. Un segundo pico se registró en septiembre con 18.55 t por lance, debido a capturas altas y un mayor esfuerzo aplicado durante este mes en el año de 1998 (figura 9).

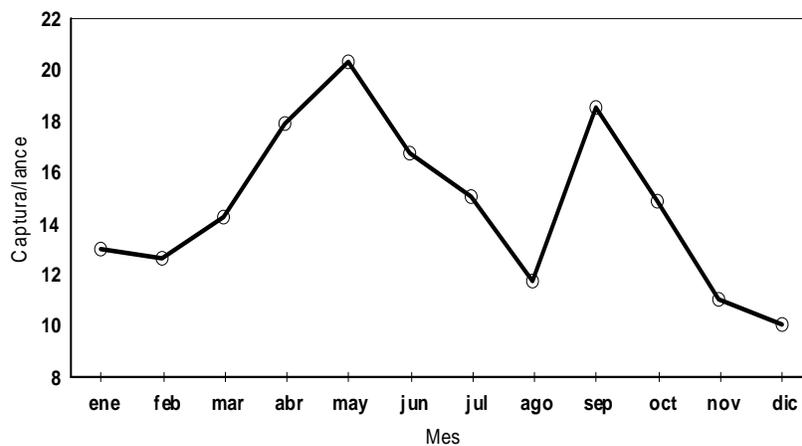


Figura 9.- Captura por lance mensual promedio del periodo 1984-1999.

6.3 Oceanografía pesquera durante 1996

El año de 1996 fue un año de buenas capturas en el Golfo de Tehuantepec, este es un año de comportamiento promedio con las mayores capturas durante los primeros meses del año y prácticamente nulas el segundo semestre. En el caso de la captura por lance también corresponde con el comportamiento promedio del periodo 1984-1999. En particular para febrero 1996 se presentó la mayor captura con



5,979 t, mientras que la mayor captura por lance se registró en mayo con 28.5 t. Los meses en los cuales no se registró captura fueron agosto, octubre y noviembre (Figura 10).

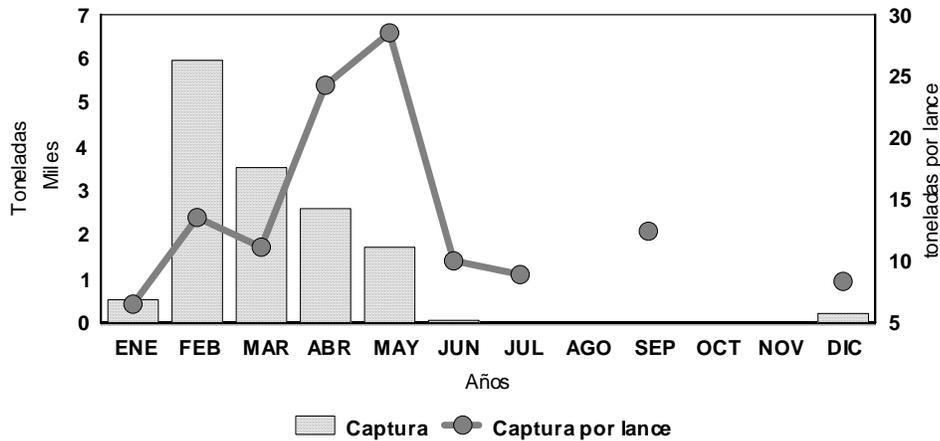


Figura 10.- Captura y captura por lance durante 1996 en el Golfo de Tehuantepec.

Del total capturado en el año sólo el 0.9% correspondió a barrilete y el restante 99.1% a atún aleta amarilla (Figura 11). En este año dominaron los lances sobre cardúmenes libres o brisa, representando el 92.7% del total de los lances, seguido por los realizados sobre cardúmenes asociados a delfín con 6.7% y por último los asociados a objetos flotantes con 0.6% (Figura 12a). Proporcionalmente el éxito de pesca fue mayor en los lances asociados a delfín en comparación con los realizados sobre brisa; sin embargo, hay que recordar que estos últimos fueron los más numerosos (Figura 12a).

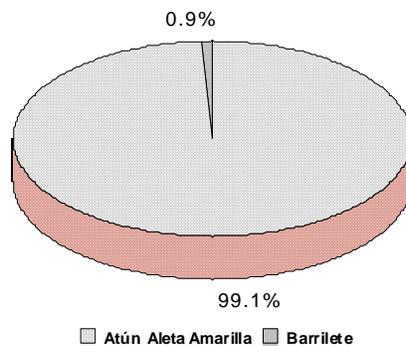


Figura 11.- Proporción de las especies capturadas en el Golfo de Tehuantepec durante 1996

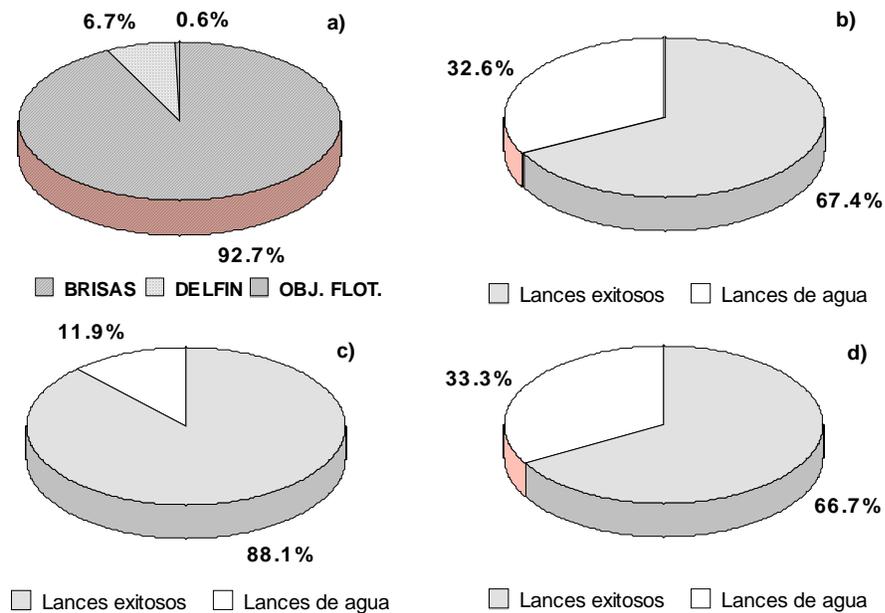


Figura 12.- Proporción del total de lances (a) y éxito de pesca por indicador (b) brisa, c) delfin y d) objetos flotantes.

Los análisis estadísticos de las capturas por mes (Figura 13), muestran diferencias significativas atribuibles a los meses de abril y mayo ($F_{(11,1036)}=7.28$; $p<0.000$). Ambos meses destacan por su captura por lance promedio de 24 y 29 t/lance respectivamente, el resto de los meses registran valores promedio alrededor de 10 t/lance a excepción de agosto, octubre y noviembre donde la flota no opero en el área.

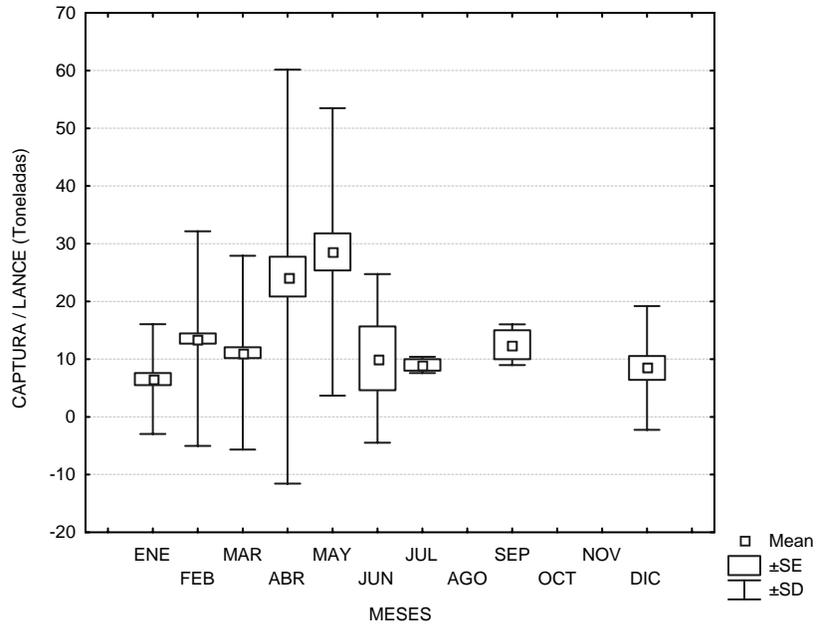


Figura 13.- Análisis de las capturas por lance mensual promedio.

En el análisis por trimestre (Figura 14) se observan diferencias significativas ($F_{(3,1044)}=21.41$; $p<0.000$), registrándose en el segundo trimestre la captura promedio por lance mayor, esto determinado principalmente por los meses de abril y mayo en los que se registraron las capturas por lance promedio mayores, en el caso del primer trimestre se registraron 12 t/lance, siendo este trimestre en el que se aplicó un mayor esfuerzo (número de lances) de pesca logrando las mayores capturas del año. En el caso del tercer trimestre la actividad es poca durante julio y septiembre con apenas dos lances por mes logrando en promedio 9 t/lance en tanto que en agosto en el que no se operó en el área. El cuarto trimestre presenta dos meses sin actividad (octubre y noviembre) y solo durante diciembre se registraron lances en un número considerable con un promedio de 8 t/lance.

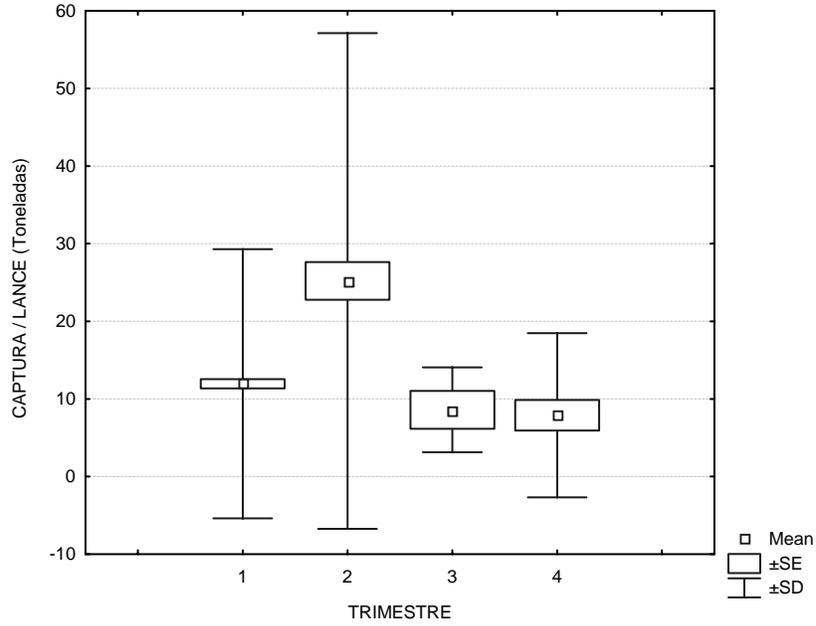


Figura 14.- Análisis de las capturas por lance por trimestre.

En lo que respecta a las capturas por tipo de indicador se encontraron diferencias significativas ($F_{(2,991)}=12.577$; $p<0.000$) (Figura 15) en los lances sobre cardúmenes asociados a delfín se obtuvo la mayor captura por lance (alrededor de 26 t), seguida de los lances sobre cardúmenes libres con un promedio de 13.5 t/lance y por último la captura sobre objetos flotantes de apenas 7 t por lance.

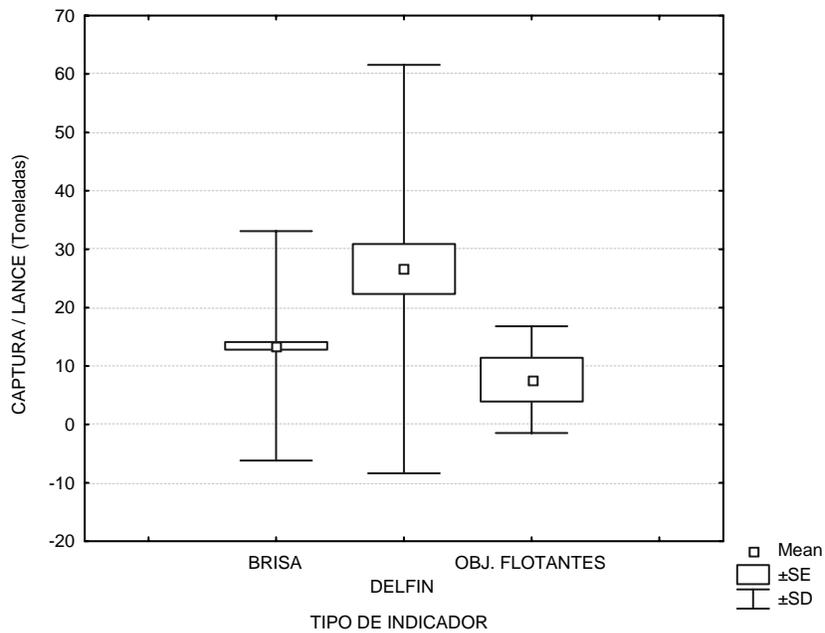


Figura 15.- Análisis de las capturas por tipo de indicador



La temperatura superficial del mar en el lugar del lance en relación al tipo de indicador se observa en la figura 16, las capturas sobre brisa suceden principalmente entre 25 y 27 °C (con un promedio de 25.9 °C), mientras que las capturas sobre delfín suceden a temperaturas entre 27 y 28.5°C, con un promedio de 27.6 °C.

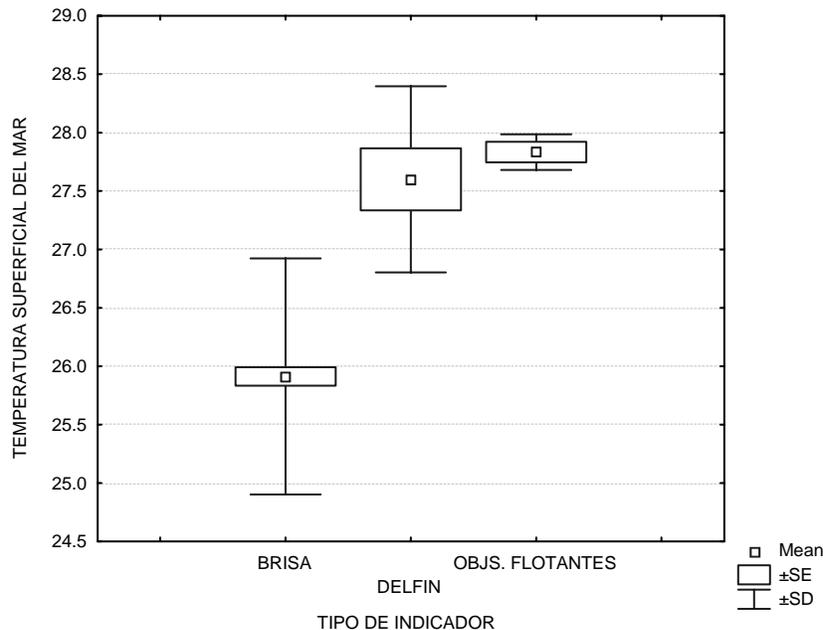


Figura 16.- Análisis de las temperaturas en relación al de indicador de pesca durante el mes de febrero de 1996

En la figura 17 se ilustra la distribución geográfica de lances por indicador en relación a la temperatura superficial del mar (a), se observan los lances sobre brisa muy cercanos a las costas de Pto. Ángel, Oax. donde prevalecieron aguas más frías (<26 °C); en la parte inferior (b) se presenta la posición de los lances en relación a la profundidad de la isoterma de los 20 °C, en la cuál se puede observar que la mayoría de los lances se realizaron cuando esta alcanzó una profundidad entre 30 y 60 m.

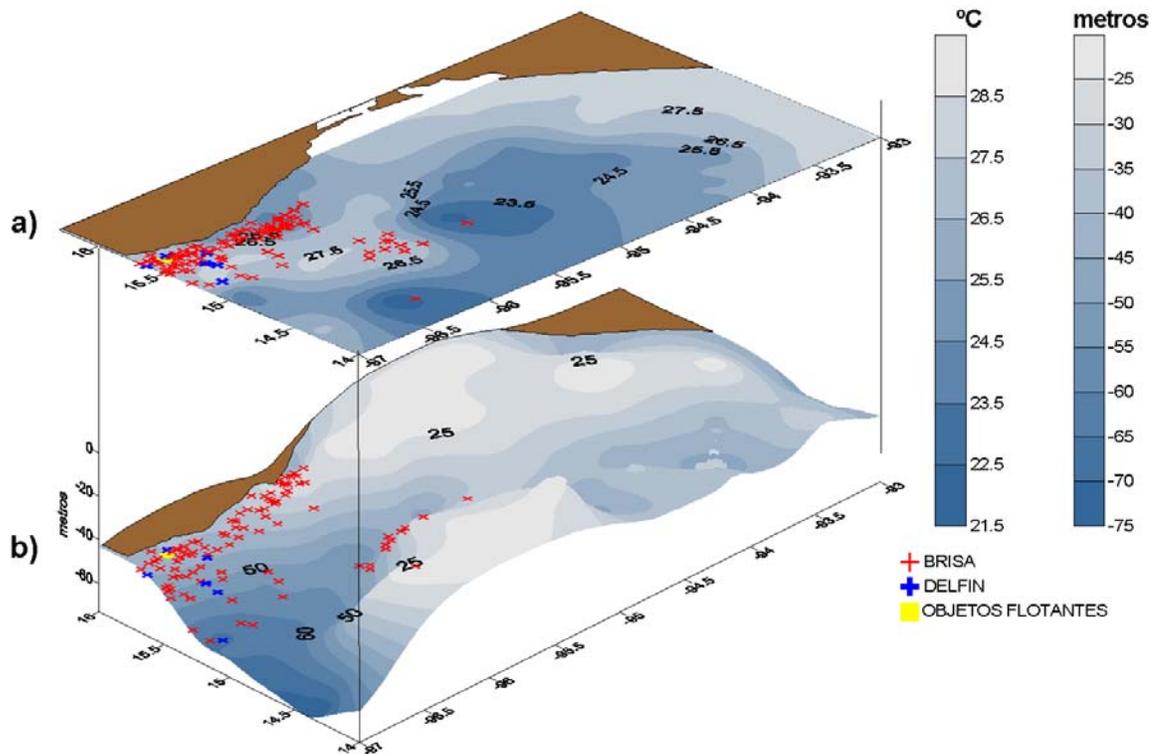


Figura 17.- Golfo de Tehuantepec a) Temperatura superficial b) Profundidad de la isoterma de 20° C obtenidos de datos de crucero Altair durante febrero de 1996

Otra forma de observar la relación que los lances de la flota presentan con la temperatura y la profundidad de la isoterma de 20 °C es la que se presenta en la figura 18, en ella se grafican algunas secciones verticales de los cruceros oceanográficos cercanas a la región donde opera la flota. En esta figura se graficaron superpuestas las estaciones (cruces a cero metros) y las capturas, estas últimas se representan a distintas profundidades por razones prácticas ya que la profundidad que alcanza el paño de la red varía entre 85 y 100 metros.

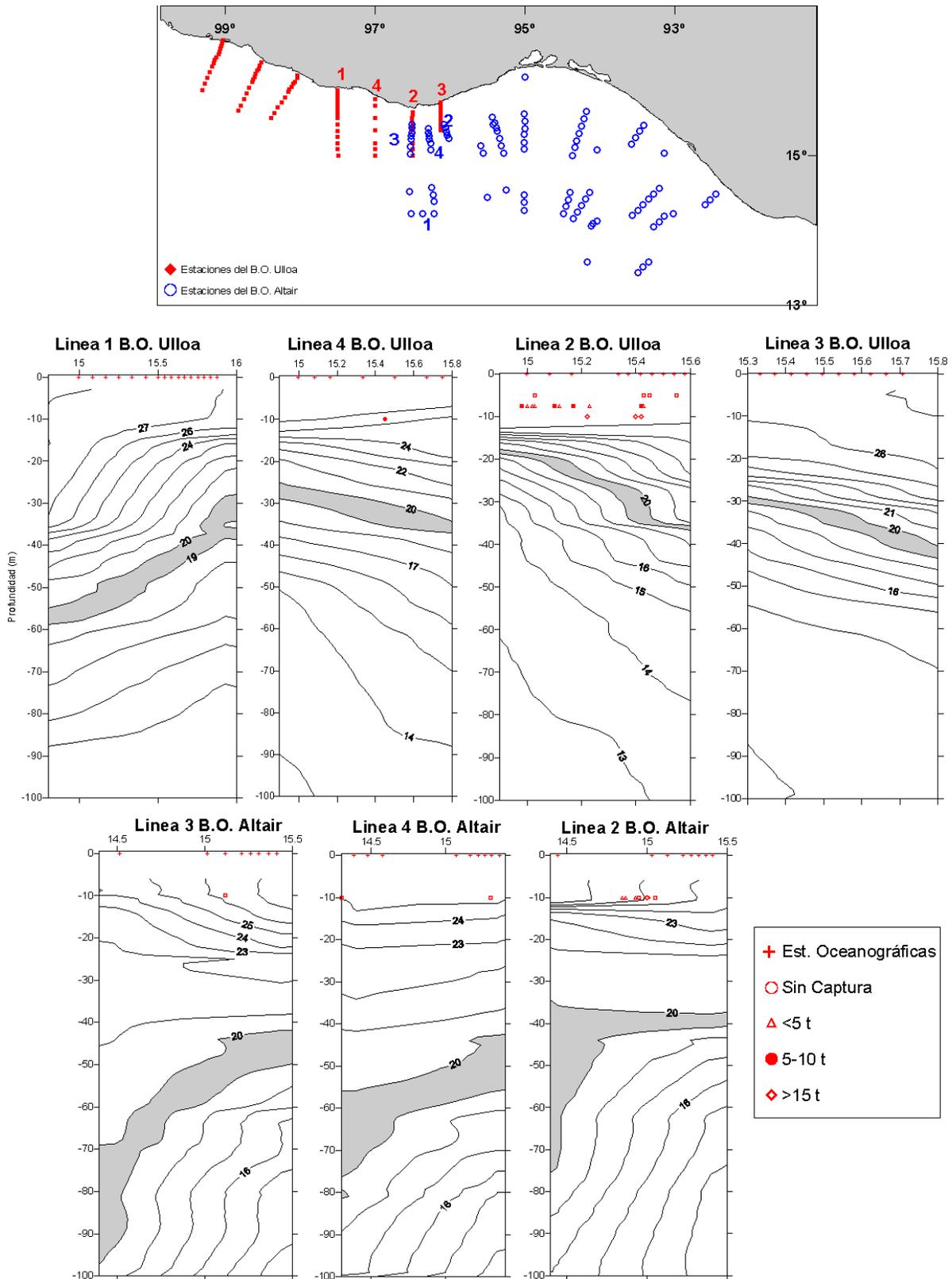


Figura 18.- Perfiles de temperatura superficial del mar con datos de CTD de dos cruceros oceanográficos y su relación con los lances de la flota atunera.



Del crucero oceanográfico realizado por el B.O. F. de Ulloa durante el mes de marzo se analizaron cuatro secciones verticales (Figura 18), de manera general se aprecia que la sección uno, la mas alejada del GT hacia el oeste, presenta la profundidad de la termoclina mayor en comparación a las otras secciones analizadas, la profundidad mínima de la isoterma de los 20 °C fue de 27.8 m cercana a la costa y máxima de 54.8 m en la zona mas alejada, las temperaturas superficiales van de los 26 a los 28 °C en el mismo sentido mostrando la presencia de aguas cálidas provenientes del noroeste, no se presentaron capturas relacionadas con esta sección. En el caso de las restantes tres secciones el comportamiento de la isoterma de los 20 °C es inverso, es decir, las máximas profundidades (<40 m) se registraron en la porción cercana a la costa haciéndose mas someras mientras se alejan hacia mar abierto, esto como resultado de aguas frías provenientes de las surgencias de las costas oaxaqueñas.

Solo las secciones cuatro y dos coinciden con lances de la flota de cerco, en el caso de la línea cuatro solo se observa un lance con capturas. El otro caso es la línea dos, frente a las costas de Pto. Ángel, Oax. la que presenta mayor coincidencia en tiempo y espacio con capturas realizadas por la flota; en esta sección se observa una profundidad de la isoterma de 20 °C a 35 m en su extremo cercano a la costa mientras que en la parte más alejada su profundidad solo alcanza los 17 m, con una TSM menor a los 26 °C a lo largo del sección. Referente a las capturas parece no estar influidas por la profundidad de la termoclina ni por la TSM ya que se registraron lances con capturas variables y otros sin captura, lo que permite pensar que el recurso estaba presente en la zona y que la falta de captura pudo deberse a otros factores como errores de operación al efectuar el lance.

En el caso del crucero realizado durante febrero por el B.O. Altair se analizaron tres secciones (de la 2 a la 4), de oeste a este, la primera sección es la número tres, la isoterma de 20 °C alcanza una profundidad máxima de 69 m en la parte mas alejada de la costa, conforme se aproxima a la zona costera la isoterma es más somera hasta alcanzar los 42 m, es con esta profundidad donde se registra el único lance relacionado a esta sección en el cual no se logro captura. Continuando



en sentido oeste-este, la sección cuatro es la siguiente, en ella la isoterma de los 20 °C se encuentra en su máxima profundidad en la parte mas alejada de la costa (55.8 m) mientras que cerca a la costa presenta una profundidad de 42.5 m. Los lances relacionados a esta sección fueron dos (ninguno con captura), en cuanto a su posición se observan en ambos extremos de la sección por lo que representan los dos extremos de profundidad de la termoclina; en relación a la temperatura las isotermas presentan poca diferencia entre la parte cercana y alejada de la costa con temperaturas superficiales alrededor de los 25 °C disminuyendo con la profundidad. La última de estas secciones verticales es la número dos, en ella se aprecia una mayor actividad de la flota (seis lances) cuatro con capturas y dos de lances de agua, la termoclina se localiza alrededor de los 37 m con muy poca pendiente en dirección de la costa hacia mar abierto, en la parte superficial (10 m) se aprecia una estratificación horizontal más marcada (isotermas de 24 a 27 °C) y una disminución de la temperatura de toda la sección uniforme en la columna de agua a partir de la isoterma de los 23 °C.

La distribución mensual de los lances efectuados por la flota cerquera mexicana durante 1996, se presenta en la figura 19, lo cual permite observar que el desplazamiento de la flota durante los primeros meses del año se hace desde el oeste hacia dentro del Golfo de Tehuantepec. El incremento de la actividad de la flota sigue la lengüeta de agua cálida que entra cercana a la costa.

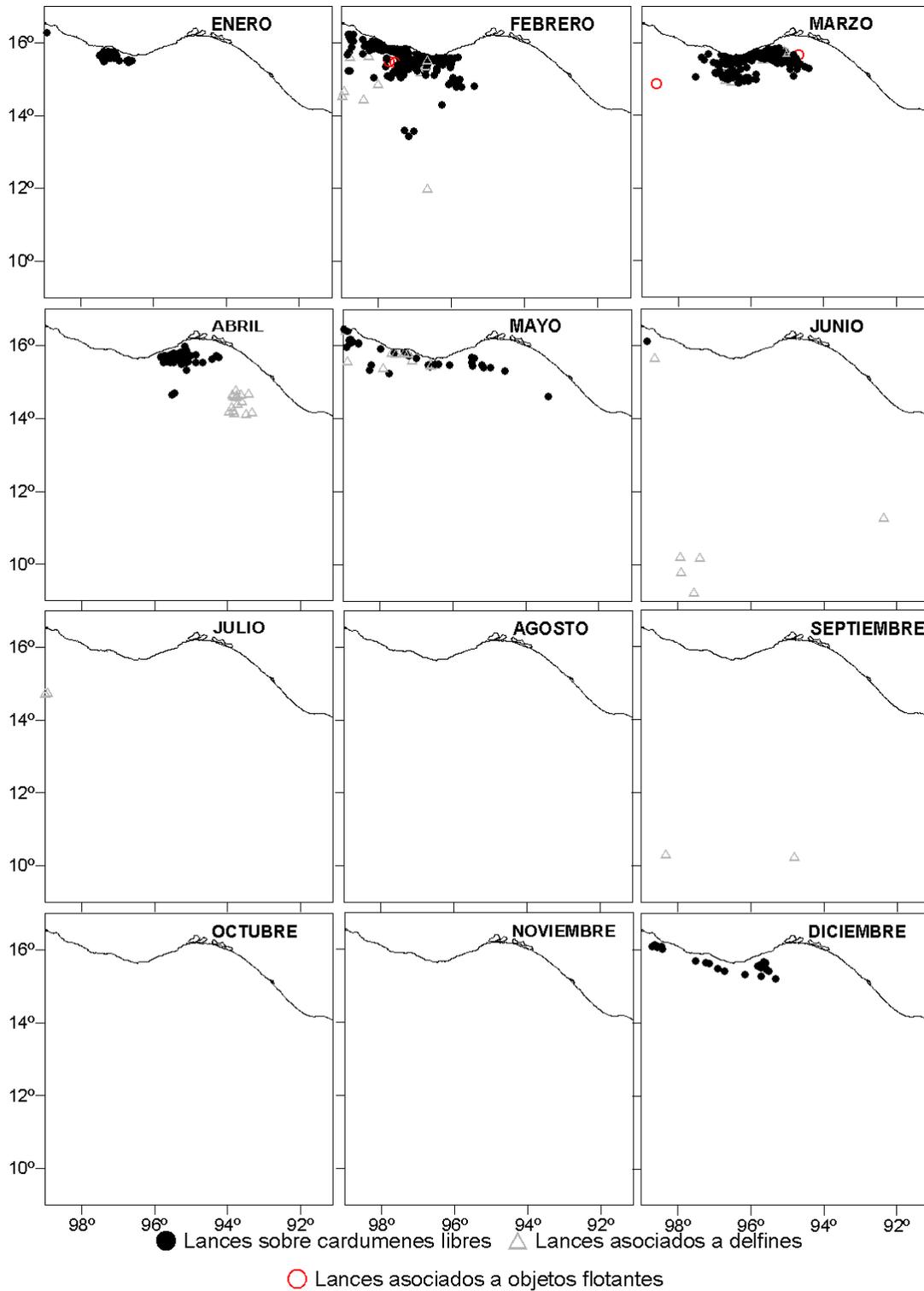


Figura 19.- Actividad mensual de la flota cerquera durante 1996 y promedio mensual de temperatura superficial del mar en el Golfo de Tehuantepec



En la figura 20 (a y b), se presenta un ejemplo con imágenes diarias (del 30 de enero al 07 de febrero). En la columna izquierda se presenta el área del Golfo de Tehuantepec y aguas adyacentes y en la columna derecha se amplían las imágenes del recuadro que se muestra en la imagen izquierda. En ellas se observa el desarrollo de un evento de norte y otros fenómenos oceanográficos como surgencias costeras y giros que influyen en las capturas de la flota atunera. En la figura 20 a, se observa un giro anticiclónico producido de un evento de viento durante enero y que el 3 de febrero alcanza un diámetro de más de 250 km. El siguiente evento de viento del norte inicia el 4 de febrero. Un fenómeno que no se había reportado anteriormente pudo observarse en las imágenes correspondientes al periodo entre el 30 de enero y el 3 de febrero, consiste en franjas de agua fría en la costa de Oaxaca, al oeste de Tehuantepec. Estas, cuando se complementan con las secciones verticales de la figura 18, pueden corresponder a un evento de surgencia costera (según A. Trasviña com. Pers.). Durante el 2 y 3 de febrero, este fenómeno parece ser el responsable de mantener a la flota, en el lado oceánico del frente dentro de aguas más cálidas. El viento del norte empezó a soplar sobre el Golfo de Tehuantepec el día 4 de febrero (Fig. 20 b) y alcanzó su máxima influencia dos días después. Su efecto se distingue en la franja de agua fría del Golfo central que alcanza más de 600 km hacia fuera de la costa.

El comportamiento de la flota también se presenta en la figura 20 a y b. La actividad se desarrolló en zonas con temperaturas hasta de 28 °C, sin embargo, la mayoría de los lances se observan a temperaturas alrededor de los 25.5 °C, es decir, en el lado frío del frente térmico que forman las surgencias costeras de Oaxaca y el agua cálida proveniente del oeste. La mayor captura por lance se obtuvo el día 7 de febrero (24.36 t), cuando empezó a disminuir la intensidad del viento del viento y la flota se pudo acercar a la costa. En los días siguientes las capturas declinaron hasta alcanzar sólo un promedio de 3.14 t/lance el día 18 de febrero cuando empezó un nuevo evento de norte.

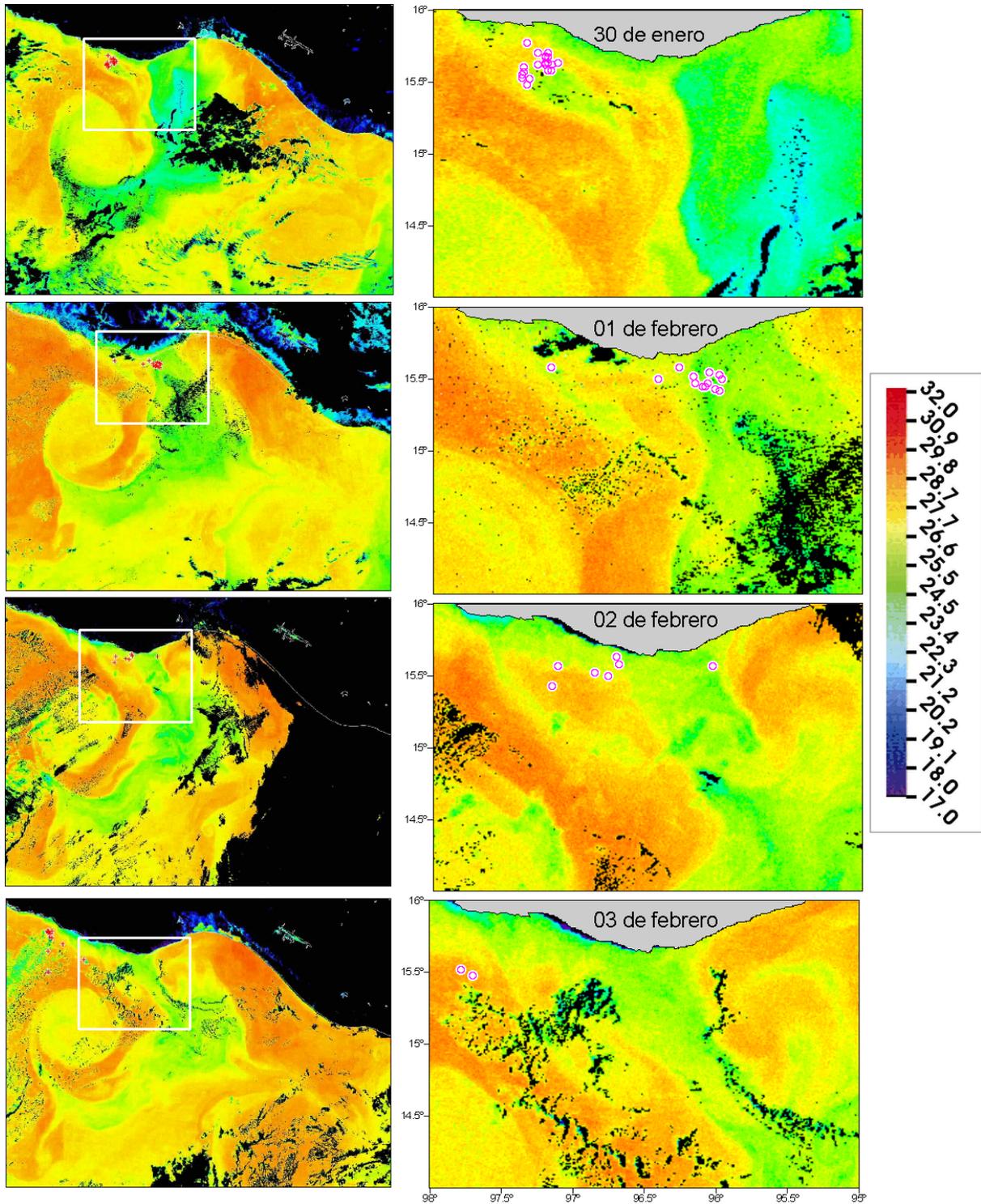


Figura 20a.- Imágenes diarias de temperatura superficial del mar y lances efectuados por la flota de cerco durante los primeros días de febrero de 1996. Columna izquierda Golfo de Tehuantepec y aguas adyacentes y la columna de la derecha muestra un acercamiento de la costa de Oaxaca donde operó la flota.

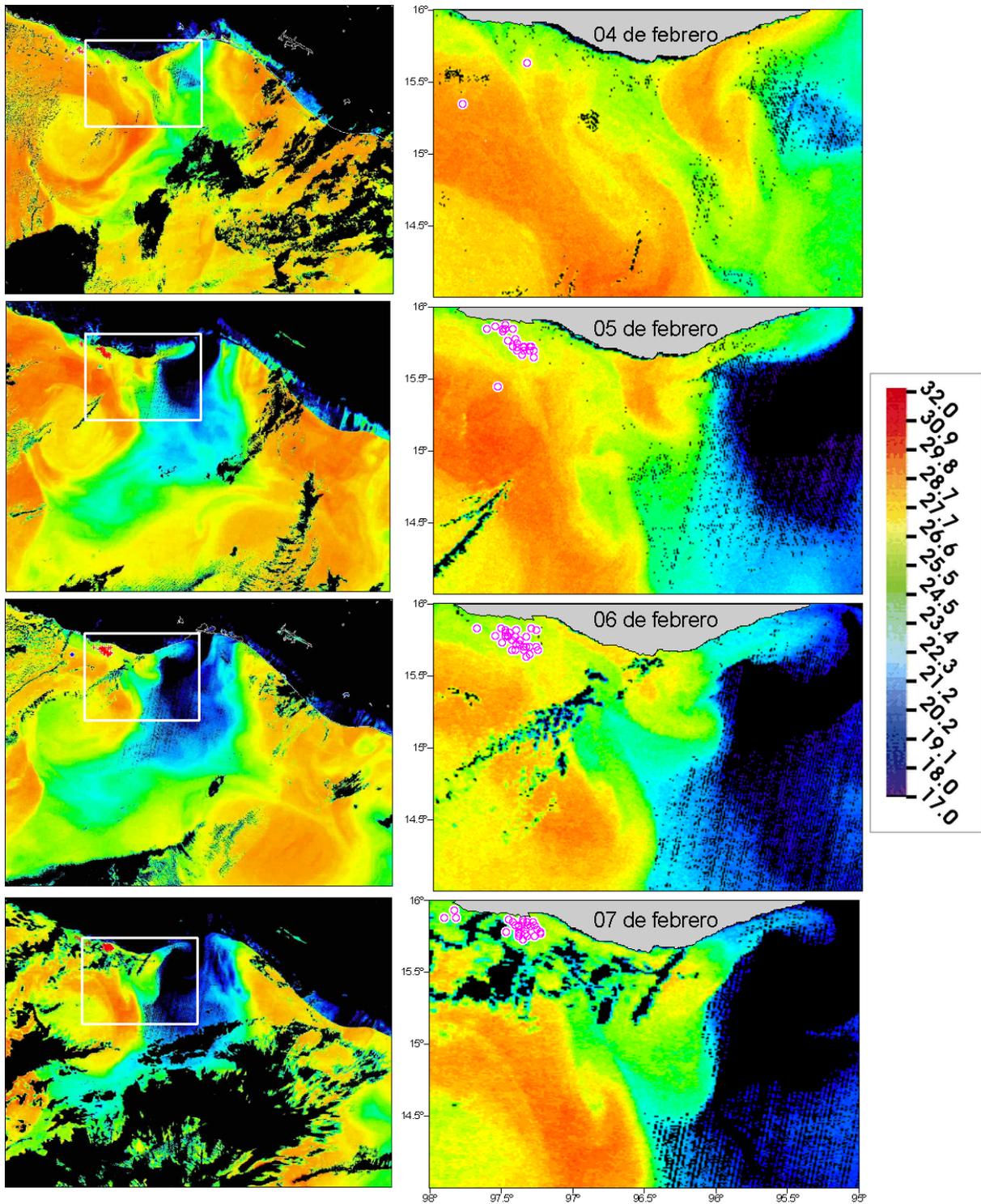


Figura 20b.- imágenes diarias de temperatura superficial del mar y lances efectuados por la flota de cerco durante los primeros días de febrero de 1996. Columna izquierda Golfo de Tehuantepec y aguas adyacentes y la columna de la derecha muestra un acercamiento de la costa de Oaxaca donde operó la flota.

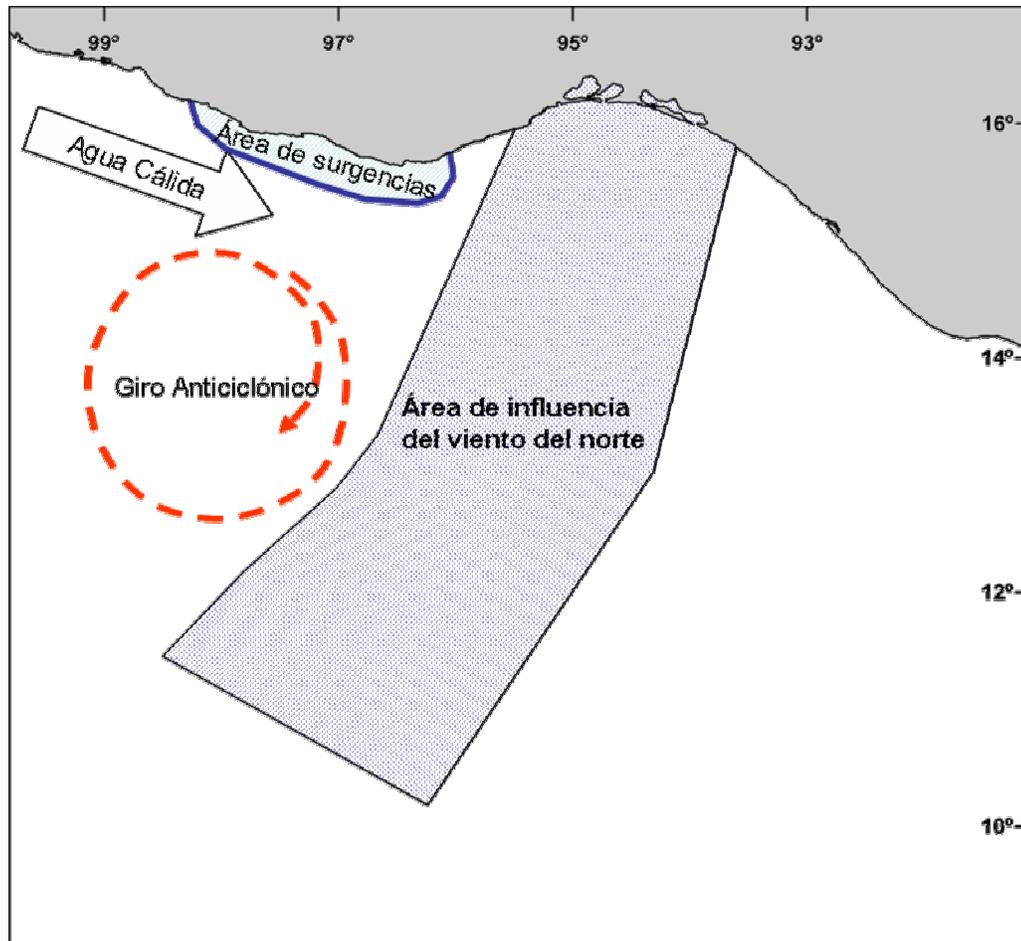


Figura 21.- Esquema de los procesos de mesoescala que tiene influencia en las condiciones oceanográficas del Golfo de Tehuantepec.

Los procesos responsables de alterar las condiciones oceanográficas que se observan en el Golfo de Tehuantepec en invierno se presenta la figura 21. Aquí se observan el área de agua fría producida por la influencia del viento del norte o “Tehuano”, desde la costa hasta varios cientos de kilómetros hacia el océano, el giro anticiclónico cálido que se propaga lentamente hacia el oeste (Trasviña *et al.*, 2003), el chorro de agua cálida que alimenta al giro y las surgencias costeras que aportan nutrientes a la capa superficial.

Es importante destacar que la interacción entre las aguas costeras y el giro son capaces de producir el acarreo de propiedades costeras (clorofilas) a una gran distancia mar adentro. Esto es evidente en la imagen de concentración de clorofila a



del SeaWiFS que corresponde al 9 de diciembre del 2003 y que se ha tomado como ejemplo para destacar este proceso (Fig. 22). La acumulación de propiedades costeras en el interior del giro es reportada por Trasviña (1991).

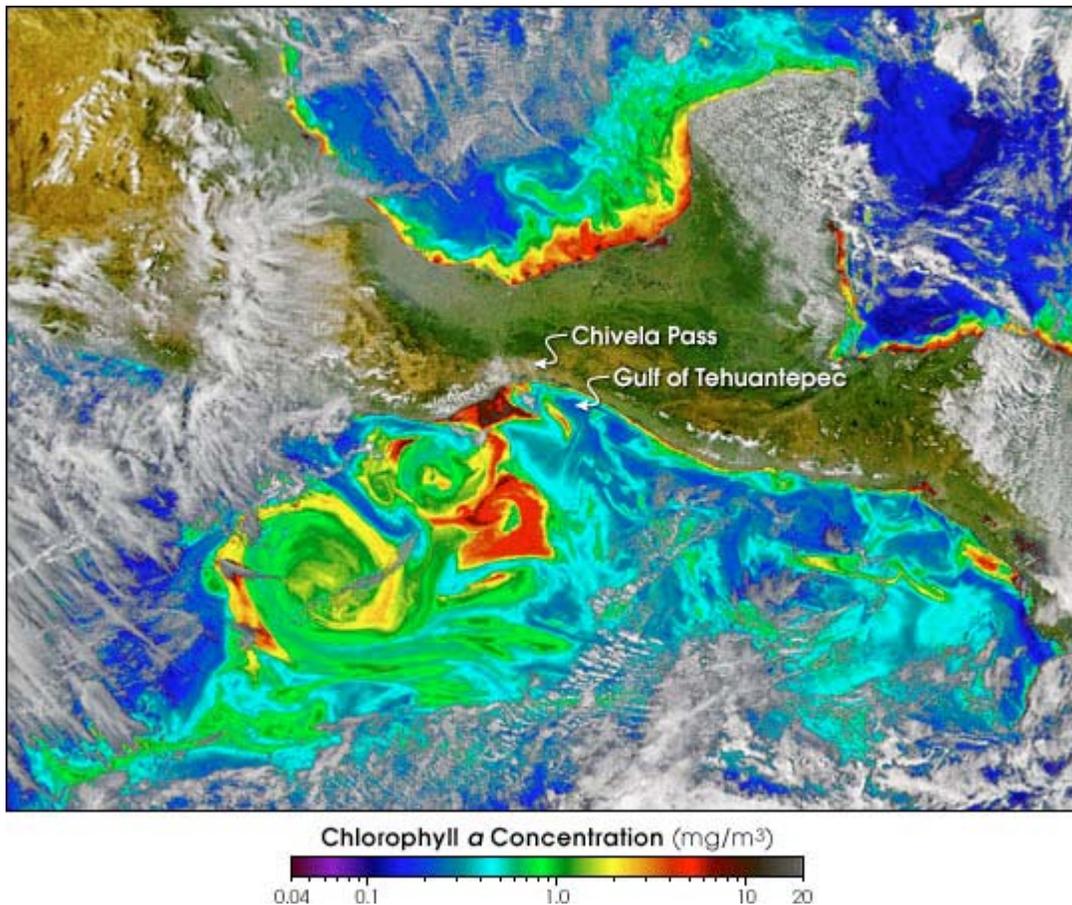


Figura 22.- Imagen de concentración de clorofila a del día 9 de diciembre de 2003 tomada por el SeaWiFS, donde se aprecian estructuras de mesoescala como giros y surgencias en el Golfo de Tehuantepec obtenida de <http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages>

La figura 23 es un mapa de nivel del mar (producidas por: U.S. Naval Research Laboratory) durante los meses de 1996 se puede apreciar el comportamiento de los giros (zonas de color rojo). Estos se generan a principios de año cerca de la costa y se propagan hacia fuera de la costa. En junio se dejan de observar giros nuevos y los existentes se disipan, cerca de los 110° W y 13° N. Es hasta noviembre cuando empiezan a observarse de nuevo cerca de la costa en la parte oeste de Golfo de Tehuantepec. En esta figura también es posible observar un



giro proveniente del Golfo de Papagayo. En los mapas diarios es posible observar que se desplaza al oeste hasta alcanzar uno de los giros que se generan en Tehuantepec, aproximadamente a los 10° N 96° W durante abril y mayo. Trasviña *et al.* (2003) reportan la propagación de giros generados en el Golfo de Tehuantepec hacia suroeste, y el interior del Pacífico.

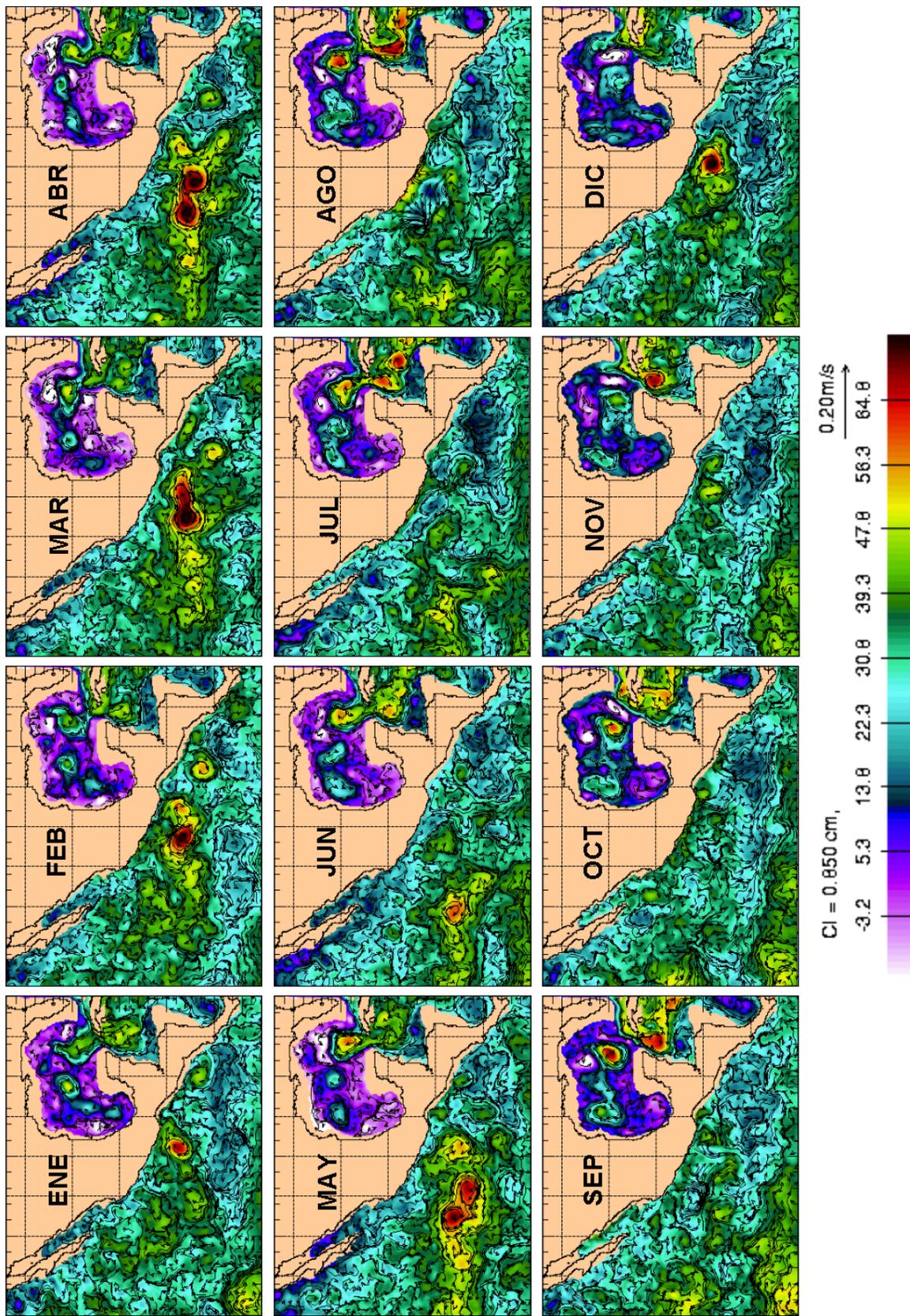


Figura 23.- Altura superficial del mar y corrientes mensuales durante 1996 elaboradas por Naval Research Laboratory.



7. DISCUSIÓN

La posibilidad que actualmente nos brindan los satélites para observar procesos oceanográficos con resoluciones de tiempo y espacio muy finas permite el desarrollo de trabajos de investigación como el presente, en el que se analizan las características oceanográficas del Golfo de Tehuantepec (GT) con una resolución temporal diaria y espacial de 1.1 km para tratar de explicar las capturas de atún aleta amarilla efectuadas por la flota atunera mexicana de cerco, usándolas como variables que afectan la distribución del recurso.

La actividad que desarrolla la flota en el GT es por un periodo corto, se concentra principalmente en los primeros meses del año, a pesar de esto la captura que aporta el área es considerable en relación a la captura total que se obtiene en el OPO. Si bien el esfuerzo (número de lances) que se aplica en el área es tan variable como las capturas, el rendimiento promedio se mantiene entre las 10 y 15 t/lance y con pocos casos en los que se supera este promedio, coincidiendo con una disminución en los lances efectuados esos años. Otro factor que presenta mucha variabilidad, es la composición que la flota ha registrado a lo largo de los años, las embarcaciones que operan en la región son de diversas capacidades de acarreo, si bien algunas de estas categorías (680 y 1090 t) mantienen su presencia a lo largo de los años se han registrado periodos en los que operan algunas embarcaciones mas pequeñas o mas grandes que las categorías habituales.

En el GT la actividad sobre los distintos indicadores varía interanualmente; sin embargo, la tendencia de pesca en la mayoría de los años se inclina hacia la preferencia por cardúmenes asociados a delfines como lo observamos en la figura 5, esto coincide con lo reportado por Bautista-Cortés (1997) y Dreyfus y Robles (2004) para todo el Pacífico Oriental Tropical donde opera la flota de cerco mexicana. La pesca sobre delfines es la de mayor preferencia por parte de la flota, debido a que la talla promedio de los atunes capturados en este tipo de pesca es de 91.8 cm con un peso promedio de 21.45 kg lo que da mayores rendimientos, comparándolos con los atunes capturados mediante otros indicadores de pesca. Los resultados obtenidos en



este trabajo corroboran la importancia de este indicador para la flota mexicana hasta el año de 1995, al menos en el área costera. La variabilidad espacial por tipo de indicador entre años (ver figura 6) se observa también en el trabajo de Watters (1999) que presenta un registro de la distribución geográfica de las capturas de la flota internacional durante el periodo 1965-1998 y que además de mostrar el periodo 1995-1997 con predominancia de pesca sobre brisa muestra otros años (1972, 1975, 1976 y 1977) en los que este indicador cobra importancia, siempre en la zona cercana a la costa oaxaqueña al oeste del GT, evidenciando condiciones especiales del medio ambiente que favorecen la pesca sobre este indicador.

Este cambio de indicador de pesca ha sido atribuido por algunos autores al embargo atunero, sin embargo, este pudo haber influido en una disminución de la presión de pesca sobre cardúmenes asociados a delfines solo al principio, conforme avanzó la implementación de técnicas para la liberación de delfines encerrados esto parece haberse normalizado, persistiendo la preferencia de la flota mexicana en pescar sobre cardúmenes asociados a delfines. En cuanto a la tasa de mortalidad incidental de delfines por lance de la flota atunera mexicana disminuyó significativamente desde 1986 de 15.0 a 0.16 en el 2001 (PNAAPD, 2002). En estimaciones recientes Allen (2003) menciona que la captura de atún aleta amarilla en el OPO se lleva a cabo en un 50-60% asociada a delfines, y que éste ya no es un problema ambiental grave ya que la mortalidad es muy baja con respecto al tamaño de las poblaciones.

Aunque la flota mexicana tiene poca actividad sobre los cardúmenes asociados a objetos flotantes se hace necesario señalar que algunos autores ubican la región oeste del GT y al este en aguas oceánicas como las de mayor ocurrencia sobre este tipo de pesca (Arenas *et al.*, 1992; CIAT 2002a), en este trabajo el número de lances sobre este indicador fue muy variable, incluyendo años en los que se realizaron solo uno o dos lances, en tanto que en años como 1989 y 1991 se observan concentraciones de lances sobre este tipo de indicador, al parecer ligados al desarrollo de los giros anticiclónicos que los transportan hacia mar adentro. Entre los factores que pudieron influir en el desinterés de la flota a pescar en este tipo de



indicador, esta el registro de tallas menores a las que se obtienen con los otros dos indicadores, aunado a los pocos lances que se registran sobre éstos en el suroeste de México durante los eventos de El Niño, (Zarate-Villafranco y Ortega-García, 2000). En este sentido aunque durante el periodo analizado (1984-1999) se presentaron tres de éstos eventos, la disminución de este tipo de lances no fue significativa.

En relación a las anomalías de temperatura superficial mar (ATSM), se puede considerar a la región de Tehuantepec como una región estable, el agua cálida que caracteriza el área solo se ve alterada por los ocasionales eventos de mesoescala (surgencias costeras y el agua fría del centro del golfo) que son de corta duración y que se atenúan en el promedio mensual. En este sentido las anomalías de temperatura superficial registran en promedio variaciones de ATSM menores a ± 1 °C. Los periodos cálidos y fríos presentan variaciones más notorias respecto a su persistencia que a su intensidad. En este último aspecto podemos señalar a El Niño 1997-1998 como el único de los eventos que elevó las ATSM por encima de $+0.5$ °C por un periodo de siete meses (julio 97-enero 98) y que parece haber afectado las capturas durante 1998 al disminuir éstas y alejar el recurso de la costa. El otro evento que resalta por su intensidad es el de La Niña 1998-1999, que presentó ATSM negativas (más de -1 °C) a finales de 1999, este año, aunque las capturas se recuperaron no alcanzaron los niveles de años anteriores (1996-1997), aún cuando en estos las ATSM no sobrepasaron los -0.5 °C.

La variabilidad estacional en el área de estudio es muy marcada, la mayor abundancia del recurso se registra durante los meses finales del invierno y principios de primavera cuando los nortes ya han tenido influencia en el Golfo de Tehuantepec y el desarrollo de los mecanismos de enriquecimiento como surgencias y turbulencia vertical en el centro del golfo han propiciado una alza en la productividad que se ha iniciado dos o tres meses antes. Lo anterior concuerda con lo que ha sido reportado por otros autores (Ortega-García y Lluch-Cota, 1996) en los que el retraso de tres a cinco meses se da entre las mayores concentraciones de pigmentos y las mayores abundancias de atún aleta amarilla.



El periodo de nortes inicia en noviembre y termina en febrero, contrastando lo anterior con la captura promedio mensual se observa que durante los primeros meses del año el recurso es capturado en grandes cantidades aplicando un esfuerzo considerable en comparación con el resto del año, sin embargo, el efecto real de la alta productividad se manifiesta durante el segundo trimestre (primavera) cuando el promedio de captura por lance se incrementa; es a partir de abril que la flota empieza su desplazamiento hacia zonas mas oceánicas disminuyendo su actividad en el GT, el segundo pico de captura por lance que se presenta a finales del tercer trimestre es debido a que hubo buena captura a pesar de la poca actividad que la flota registra durante estos meses.

Es 1996 objeto de este estudio en el que se trata de bosquejar los factores que contribuyeron a esas capturas excepcionales en el GT. De manera general la flota mexicana de cerco reportó capturas por 149,375 t que representó el 37% del total de la captura en el OPO. Si bien durante los primeros meses del año se obtuvieron excelentes capturas, durante el último trimestre fueron bajas, atribuidas a la disminución de la vulnerabilidad del recurso por su desplazamiento a otras áreas o a su presencia a una mayor profundidad (De Alba, 1997), hecho que también se vio reflejado en el GT.

Durante el primer trimestre las condiciones de Anti-El Niño presentes en el OPO, se manifestaron en el GT, Popoca-Arellano (2003) señala TSM anormalmente bajas, específicamente para la zona oeste. Asimismo de acuerdo con la CIAT (1996a) en la zona costera de Pto. Ángel se observaron anomalías negativas ($-1\text{ }^{\circ}\text{C}$), lo cual coincide con la presencia de numerosos cardúmenes de atún no asociados (brisas) en esta área. El resto del año la actividad de la flota disminuyó a pesar de que las temperaturas se mantuvieron por debajo del promedio hasta el tercer trimestre. No obstante que estas bajas temperaturas influyeron en una menor ocurrencia de tormentas tropicales y huracanes (CIAT, 1996 a, c y d) y considerando que a estos fenómenos según algunos autores (Arenas *et al.*, 1992; Popoca-Arellano, 2003) se les atribuye la baja actividad de la flota pesquera en el área, en este estudio se observa que la flota mantuvo un comportamiento similar al de otros años no permaneciendo por más tiempo en el GT.



Los resultados encontrados a lo largo del año, tanto del periodo de mayores capturas como del índice de abundancia relativa coinciden con lo reportado por Ortega-García *et al.* (2000) y por Ortega-García y Lluch-Cota (1996) con las mayores capturas durante los primeros meses del año y el mayor valor de índice de abundancia durante mayo. La presencia de un mayor número de lances y capturas durante los primeros meses del año (enero-marzo) como ya se ha descrito anteriormente está ligada íntimamente al efecto de los nortes, estos vientos fuertes, si bien dificultan la operación de la flota en la parte central del golfo favorecen la productividad en torno a esta área. Durante febrero y marzo de 1996 ocurrieron cuatro y cinco nortes respectivamente, sin embargo, en el análisis de las imágenes diarias del GT solo es posible identificar claramente el efecto de dos de ellos en cada mes, lo que podría deberse a que la intensidad de éstos fue más fuerte, alcanzando el GT para producir un enfriamiento significativo en la superficie del mar en tanto que el resto fueron fenómenos de corta duración o de poca fuerza. En cuanto a la zona donde se realizan las capturas Popoca-Arellano (2003), menciona que en la región noroeste del GT prevalecen condiciones de temperatura adecuadas para el atún y que su presencia en esta región no se ve afectada por la velocidad del viento. Aún así no se hace mención del enfriamiento producido por las surgencias costeras previo a los nortes y su papel para la pesquería tal vez por su corta duración o por la escala temporal (mensual) en la que se centra el estudio.

Aunque la captura de atún sobre un cierto tipo de indicador pudiera estar en función de los resultados que obtiene la flota con respecto al éxito de pesca y a la proporción de atún aleta amarilla en la captura, mucho dependerá del tipo de cardúmenes que se encuentran accesible a la pesca. Durante 1996, como ya se mencionó, la flota parece haber tenido la facilidad de encontrar más cardúmenes no asociados (brisas), que asociados a delfines, al menos en aguas cercanas a la costa del Pacífico mexicano esto se corrobora con el trabajo de Torres-Orozco (2004) que señala el mismo fenómeno en la boca del Golfo de California. En este estudio los valores de captura promedio entre cardúmenes no asociados y los asociados a delfines coinciden con lo descrito por otros autores (Edward y Perkins, 1998; Hall *et al.*, 1999; CIAT 2002b; Dreyfus y Robles, 2004), es decir el menor rendimiento



(captura/lance) se obtuvo en lances sobre cardúmenes no asociados, mientras que los cardúmenes asociados a delfines logran mayor rendimiento; esto se puede atribuir al mayor tamaño de los organismos y al mayor éxito de pesca que registra este indicador.

Respecto a que la temperatura es un factor que determina el tipo de indicador, en general se determinó que los lances asociados a delfines se registraron en la porción influenciada por el agua cálida (27.6 °C) proveniente del noroeste, mientras que los lances sobre brisa se localizan principalmente en la parte fría del frente correspondiente a la influencia de la surgencia costera (25.9 °C) de la zona de Pto. Ángel, esta masa de agua fría que es desplazada hacia el interior del Golfo sigue siendo un lugar donde la flota opera hasta que el viento del norte se lo permite.

La estructura térmica vertical determinada por medio de los datos *in situ* tomados durante febrero de 1996, permite observar la influencia del viento en la parte central del GT al elevar la isoterma de los 20 °C a solo 25 m de profundidad, mientras que en las zonas que no reciben la influencia del viento la termoclina se profundiza alcanzando hasta 70 m. Es difícil determinar el efecto de la estructura térmica en el éxito de pesca ya que la zona donde los lances se hicieron, comprende profundidades de termoclina entre los 30 y 60 m, estas profundidades son fácilmente alcanzadas por la red de cerco haciendo al recurso mas vulnerable, Bautista-Cortés (1997) afirma que en el caso de los cardúmenes asociados a delfín, el éxito de pesca está más relacionado con temperaturas superficiales más cálidas, lo que se confirma en este trabajo a pesar del bajo número de lances sobre este indicador, en tanto que las temperaturas mas frías están relacionadas con la presencia de cardúmenes libres.

Al comparar trabajos como el de Bistrain-Meza (2004) y el de Ortega-García *et al.* (en prep.), análisis de 1998 y 2001 respectivamente, con los meses de febrero y marzo que se analizan en este estudio no se observan diferencias significativas en la parte noroeste del golfo, registrándose profundidades máximas de 60 a 70 m; sin embargo, en la parte central la profundidad mínima estimada fue de 25 m, mucho



menor a la reportada en los otros estudios (40 - 50 m); esto puede atribuirse a la resolución más fina de los datos utilizados en el presente estudio. En cuanto al resto del año ambos trabajos (Bistrain-Meza, 2004; Ortega-García *et al.* en prep.) señalan profundidades en el GT que oscilan entre los 40 y los 70 m, lo que lo caracteriza como un área de mucha estabilidad en cuanto a la estructura térmica, restándole importancia a este factor como determinante de una mayor vulnerabilidad del recurso.

Desde el punto de vista oceanográfico el giro ha sido descrito por Trasviña *et al.* (1995 y 2003) mencionando la formación de un corredor de giros desde la costa hasta los 110° W con dirección oeste - suroeste, mismos que se disipan al intensificarse la Contracorriente Norecuatorial durante los meses de verano. Trasviña (2001) hace mención de un flujo proveniente del norte que llegando al golfo de Tehuantepec se integra a la circulación dentro del giro de mesoescala; en este trabajo se pudo apreciar este flujo, con la variante de la presencia de surgencias costeras que se generan en la costa de Pto. Ángel, Oaxaca y que alejan el agua cálida de la costa por periodos de dos a tres días previos a la entrada del norte. En el análisis de altimetría hechas por el Naval Research Laboratory de Estados Unidos se puede observar el desplazamiento hacia mar abierto de los giros que se generan en el GT y la posterior incorporación de los giros provenientes de Papagayo cerca de los 10° N - 96° W como lo menciona Trasviña (2001) esto ocurrió en 1996 durante los meses de abril y mayo.

Este tipo de giros han sido reportados por varios autores (Barton *et al.*, 1993; Gallegos y Barberán, 1998; Manzo-Monroy, 2003) y catalogados como de gran importancia para diversos organismos pelágicos por ser lugares propicios para la alimentación (Blackburn, 1965; Sund *et al.*, 1981). Así, la presencia de diferentes especies de túnidos en los bordes de los giros ha sido documentada, en el caso del atún aleta azul y la albacora se presentan en la zona fría y el barrilete en las zonas frontales del lado cálido.



Manzo-Monroy (2003) afirma que la flota sigue por un tiempo los giros, ubicándose en los extremos este y oeste en su desplazamiento hacia aguas oceánicas del Pacífico Oriental; sin embargo, en el presente estudio, cerca de la costa, esto no ocurre y las capturas parecen estar más relacionadas a eventos de surgencia que se registraron en la costa previos a la mezcla vertical producida por los vientos del norte. En años recientes las imágenes de concentración de clorofila *a* muestran la zona de Pto. Ángel, Oaxaca, como generadora de alta productividad tanto con flujo hacia el interior del GT como hacia el Océano Pacífico por medio del giro anticiclónico, lo cual confirma lo encontrado en este estudio. Al parecer la disminución de los vientos del norte y el desplazamiento del giro lejos de la costa dan la estabilidad necesaria a la zona para que la flota obtenga buenas capturas, además que el diámetro del giro se incrementa, lo que amplía el área de frente, esto antes de que un nuevo evento de viento de inicio.

Estas surgencias son las que parecen favorecer la presencia de cardúmenes en la zona, ya sea con fines de alimentación o reproducción. En una región como el GT donde el viento desencadena procesos oceanográficos importantes como son las surgencias y la mezcla vertical. La llamada hipótesis de la ventana ambiental óptima (Cury and Roy, 1989) tiene relevancia; al favorecer los reclutamientos que pueden ser favorecidos por efecto de turbulencias débiles y de mediana intensidad y en el caso contrario ser afectados negativamente por turbulencias de mayor intensidad, afectando así la supervivencia de larvas y alterando la presencia de organismos que recurren a la zona para alimentarse, como es el caso del atún y otros recursos que son de interés económico potencial. A este respecto Ayala-Duval *et al.* (1998) mediante un estudio del ictioplancton en el GT mencionan la abundancia de larvas de peces (familia Clupeidae y orden Pleuronectiformes entre otros) que se distribuyen en todo el GT pero que registran sus mayores densidades en las costas de Pto. Ángel lo que la convierte en un área importante de desove y generadora de productividad para enriquecer otras partes del golfo donde se explotan recursos como el camarón y la lisa (Tapia-García y Gutiérrez-Díaz, 1998), y en la porción de altamar al capturar varias especies de tiburón (Reyna-Cabrera, y Ramos-Cruz, 1998; Tapia-García, *et al.*, 1994).



8. CONCLUSIONES

1. La variabilidad interanual de las capturas de atún aleta amarilla es evidente, sin embargo, los mecanismos que determinan su variación no son muy claros.
2. Las capturas muestran una marcada variación estacional, siendo el primer trimestre el de mayores capturas y el segundo el de mayores rendimientos.
3. La variación espacio-temporal de las capturas de atún aleta amarilla están determinadas por las surgencias que ocurren desde Puerto Escondido hasta Puerto Ángel, Oaxaca y el giro anticiclónico que delimitan la entrada de agua cálida proveniente del noroeste.
4. Se encontraron diferencias significativas en la captura por lance promedio mensual siendo abril y mayo los meses sobresalientes, esto da como resultado que el segundo trimestre tenga en promedio, el más alto rendimiento.
5. Se encontraron diferencias significativas por tipo de indicador con los cardúmenes asociados a delfines como los de mayor rendimiento promedio (26 t/lance).
6. Se confirman diferencias significativas en la temperatura superficial del mar asociada al tipo de indicador, esto es a temperaturas mas frías (25.9 °C) se pesca mas sobre cardúmenes no asociados, mientras que con temperaturas mayores a 27.5 °C las capturas se dirigen hacia cardúmenes asociados a delfines y objetos flotantes.
7. La mayoría de las capturas durante febrero de 1996 se realizaron en zonas donde la profundidad de la termoclina se localizo entre 30 a 60 m. A pesar de que la profundidad máxima de la termoclina fue de 70 m.



8. La distribución de los lances está relacionada con los frentes térmicos las capturas fueron superiores cuando cesan los vientos “tehuanos” y el giro se aleja de la costa.



9. RECOMENDACIONES

Es necesario el análisis del área en escalas espacio temporales más finas y durante mayor número de años, que permitan definir con una mayor resolución las estructuras de mesoescala, su duración y efecto. Asimismo, se podría determinar la influencia de fenómenos como las surgencias costeras de corta duración en las costas de Pto. Ángel, Oax. de tal forma que pueda pronosticarse la mayor o menor abundancia del recurso en el área con la presencia de ciertas condiciones oceanográficas. Se considera que conforme la tecnología provea las herramientas necesarias para la observación continua de áreas específicas y la disponibilidad de los datos sea mayor se podrán realizar estudios con una mayor resolución que permitan un mayor conocimiento de cómo el medio ambiente afecta la distribución y abundancia de los recursos de mayor importancia comercial.



10. LITERATURA CITADA

Allen, R.L. 2003. Atún: flota e industria. Situación y perspectivas en la Union Europea y en el mundo. El Vigía-PNAAPD. P 11-15.

Allen, R. L. y R. Punsly. 1984. Proporciones de captura como índices de abundancia del atún aleta amarilla, *Thunnus albacares*, en el Océano Pacífico Tropical. *Boletín de la Comisión Interamericana del Atún Tropical*. 18(4):303-379.

Arenas, P., M. Hall y F. Miller. 1992. The association of tunas with floating objects and dolphins in the Eastern Pacific Ocean I: Environment and fishing areas. CIAT. 55p.

Ayala-Duval, E., M. del C. Maldonado-Monroy, J.A. Becerril-Martínez, D.T. García-Tamayo, C. Juárez-Ortiz, J. Blas-Cabrera, V. Barrios-Orozco, J.A. Huerta-González y A. Almaraz-Gómez. 1988. Distribución de algunos componentes del ictioplancton y su relación con la biomasa zooplanctónica. Cap. 8: 93-102. 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.

Barton, E.D., M.L. Argote, J. Brown, P.M. Kosro, M. Lavin, J.M. Robles, R.L. Smith, A. Trasviña y H.S. Vélez. 1993. *Supersquirt: Dynamics of the Gulf of Tehuantepec, Mexico*. Oceanography, 6(1): 23-30.

Bautista-Cortés, L. F. 1997. Análisis de la pesquería mexicana de atún, con énfasis en tres tipos de indicadores de cardúmenes. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S., México. 69 p.

Bistrain-Meza, E. 2004. Variación espacio-temporal de los lances de atún asociados a delfines y su relación con la temperatura del mar. Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S., México. 71 p.



- Blackburn, M. 1962. An oceanographic study of the Gulf of Tehuantepec. U.S. Fish and Wildlife Service Special Scientific Report. *Fisheries*. 404:1-28.
- Blackburn, M. 1963. Distribution and abundance of tuna related to wind and ocean conditions in the Gulf of Tehuantepec, México. FAO Fish. Rep., No. 6: 1557-1582.
- Blackburn, M. 1965. Oceanography and ecology of tunas. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*. 3:299-322.
- Carranza-Edwards, A., E. Morales de la Garza y L. Rosales-Hoz. 1998. Tectónica, sedimentología y geoquímica. 1:1-12. 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.
- CIAT. 1996a. Primer trimestre 1996. Informe trimestral de la Comisión Interamericana del Atún Tropical. La Jolla, Cal. 45 p.
- CIAT. 1996c. Tercer trimestre 1996. Informe trimestral de la Comisión Interamericana del Atún Tropical. La Jolla, Cal. 45 p.
- CIAT. 1996d. Cuarto trimestre 1996. Informe trimestral de la Comisión Interamericana del Atún Tropical. La Jolla, Cal. 51 p.
- CIAT. 2000. Informe anual de la Comisión Interamericana del Atún Tropical. 1998. Annu. Rep. I - ATTC, 357 p.
- CIAT. 2002a. Informe anual de la Comisión Interamericana del Atún Tropical. 2000. Annu. Rep. I - ATTC. 171 p.
- CIAT. 2002b. Informe anual de la Comisión Interamericana del Atún Tropical. 2001. Annu. Rep. I - ATTC. 148 p.



Cury, P. and C. Roy. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, Vol. 46. Num. 4. 670-680.

De Alba P. C., 1997. Captura de la flota atunera mexicana durante 1996. *El Vigía. PNAAPD. Ene-Mar año 2 Num 5.* 10-11p.

Dreyfus, M. y H. Robles. 2004. Distribución de tallas de atun aleta amarilla (*Thunnus albacares*) de la flota atunera mexicana en el Océano Pacifico Oriental (OPO) durante 2003. *El Vigía. PNAAPD. Abr-Jun. año 9 num. 21.* 2-3 p.

Edwards, E. F. and P. C. Perkins. 1998. Estimated tuna discard from dolphin, school, and log sets in the eastern tropical Pacific Ocean, 1989 - 1992. *Fish. Bull.* 96:210 - 222.

Fiedler, P. C., and H. J. Bernard. 1987. Tuna aggregations and feeding near fronts observed in satellite imagery. *Continental Shelf Research* 7:871–881.

Gallegos-García, A. y J. Barberán-Falcón, 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, 1998. ISBN 970-654-348-1.

González, P. G. y 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.

Hall, M., P. Arenas y 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. A., M. García, C. Lennert, P. Arenas y M. Forrest. 1999. The association of tunas with floating objects and dolphins in the eastern Pacific Ocean: A review of the current purse-seine fishery. 87 - 194. In: Scott, M. D., W. H. Bayliff, C. E. Lennert-Cody y K. M. Schaefer (eds). Proceedings of the workshop on the ecology and fisheries for tunas associated with floating objects. Inter - American Tropical Tuna Commission. Special Report 11. La Jolla, California. 479 pp.
- Joseph, J. 1994. The Tuna-Dolphin controversy in the Eastern Pacific Ocean: Biological, economic, and political impacts. *Ocean Development and International Law*. 25:1-30.
- Kirby, D.S., O. Fiksen and P.J.B. Hart. 2000. A dynamic optimization model for the behavior of tunas at ocean fronts. *Fisheries Oceanography*. 9:4, 328-342.
- Laur, R.M.; P.C. Fiedler and D.R. Montgomery. 1984. Albacore tuna catch distributions relative to environmental features observed from satellites. *Deep-Sea Research*. 31(9): 1085-1099.
- Lavin, M.F., J.M. Robles, M.L. Argote, E.D. Barton, R. Smith, J. Brown, M. Kosro, A. Trasviña, H.S. Vélez and J. García. 1992. *Física del Golfo de Tehuantepec*. Revista Ciencia y Desarrollo. Marzo/abril, Vol. XVIII, No 103, pp 97-108.
- Manzo-Monroy, H.G. 2003. Sobre la influencia de giros de mesoescala en las capturas de atun aleta amarilla (*Thunnus albacares*) en el océano Pacífico Tropical Este. Tesis de Doctorado. UABC. 173 p.
- Mc Gillicuddy, D.J., A.R. Robison, D.A. Siegel, H.W. Jannash, R. Johnson, T.D. Dickey, J. Mc Neil, A.F. Michaels and A.H. Knap. 1998. Influence of mesoscale eddies on new production in the Sargasso Sea. *Nature*. 394:263-266.



Molina-Cruz, A. y 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. y 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.

Olson, D.B. and R.H. Backus. 1985. The concentrating of organisms at fronts: a cold-water fish and warm-core Gulf stream ring. *Journal of Marine Research*. Vol. 43:113-137.

Ortega-García, S. y A. Muhlia-Melo, 1992. Análisis del poder relativo de pesca de la flota atunera mexicana de cerco. *Ciencias Marinas*. 18(1): 55-78.

Ortega-García, S. y 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 de atún en el Océano Pacífico Oriental. Tesis Doctoral, Fac. de Ciencias, UNAM, México. 67 p.

Ortega-García, S., J.A. Trigeros-Salmerón, R. Rodríguez-Sánchez, S. Lluch-Cota y H. Villalobos. El Golfo de Tehuantepec como un Centro de Actividad Biológica y su importancia en las pesquerías. Cap. 22: 335-356. En: D. Lluch-Belda, J. Elorduy-Garay, S.E. Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz (Eds.) *BAC: Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano*, 362 p. CIBNOR-CICIMAR-CONACYT, México. 2000. ISBN970-18-6285-6



Ortega-García S., M. Albañez-Lucero y J.P. Arias-Aréchiga. En Prep. Atlas 2001 de parámetros ambientales en el Océano Pacífico Oriental. CICIMAR-IPN

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. and 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.

Reyna-Cabrera, I.E. y S. Ramos-Cruz. 1998. La pesquería de camarón de alta mar, Cap. 12:163-178. 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.

Saitho, S.I., S. Kasoka and J. Iisaka. 1986. Satellite infrared observations of kuroshio warm-core rings and their application to study of Pacific saury migration. Deep-Sea Res. 33:1601-1615.

Sund, P. N., M. Blackburn and F. Williams. 1981. Tunas and their environment in the Pacific Ocean: A review. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 19:443-512.

Tapia-García, M. y B. Gutiérrez-Díaz. 1998. Recursos pesqueros de los estados de Oaxaca y Chiapas, Cap. 11:149-162. 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.

Tapia-García, M., M. C. García-Abad, G. González-Medina., M.C. Macuitlmones y G. Cercenares L. de Guevara. 1994. Composición, distribución y abundancia de la



comunidad de peces demersales del Golfo de Tehuantepec, México. *Trop. Ecol.* 35 (2):229-252.

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. 1991. Offshore wind forcing in the coastal ocean: observations and modeling of the gulf of Tehuantepec, México. Ph. D. Thesis, University of Wales, 91 p.

Trasviña, A., E.D. Barton, J. Brown, H.S. Vélez, M. Kosro and R.L. Smith. 1995. *Offshore Wind Forcing in the Gulf of Tehuantepec, Mexico: the asymmetric circulation.* *Journal of Geophysical Research, OCEANS*, Vol. 100, No. C10, pp.20649-20663,

Trasviña, A. y E.D. Barton. 1997. Los 'Nortes' del Golfo de Tehuantepec: la circulación costera inducida por el viento. Cap. 2: 25-46 En: M.F. Lavín (Ed). *Contribuciones a la Oceanografía en México, Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana*, 272 p.

Trasviña-Castro, A. 2001. La circulación costera y la Alberca cálida Mexicana. Reunión anual de la UGM. Pto. Vallarta México. Noviembre del 2001.

Trasviña, A., E.D. Barton, H.S. Velez and J. Brown. 2003. Frontal subduction of a cool surface water in the Gulf of Tehuantepec, México. *Geofísica Internacional*. 42(1): 101-114 p.

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.



Wirtky, K. 1967. Circulation and water masses in the Eastern equatorial Pacific Ocean. Int. J. Oceanol. and Limnol. 1(2):117-147.

Zarate-Villafranco, A. y S. Ortega-García. 2000. Spatial and seasonal distribution of the tuna on floating objects in the eastern Pacific Ocean during 1992-1993. Mar. Fresh. Behav. Physiol. Vol. 34, 53-72 pp.