

00381

33

29.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

ANÁLISIS DE LAS FLUCTUACIONES ESPACIO TEMPORAL  
EN LA ABUNDANCIA DE ATÚN EN EL OCÉANO PACÍFICO  
ORIENTAL

TESIS  
PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS (BIOLOGÍA)  
QUE PRESENTA  
SOFÍA ORTEGA GARCÍA

265196

Director de Tesis: Dr. Daniel Lluch Belda

1998

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PAGINACION

DISCONTINUA

## *Dedicatoria*

*A Rubén, Mariel y Roberto por su comprensión y sobre todo por su amor.*

*A mi Mamá y mi hermana Alba porque su recuerdo es mi fuerza para seguir adelante.*

*A mi Papá y hermanos por su apoyo de siempre.*

*A toda mi familia por alimentarme con su cariño.*

*A mis amigos (as) y compañeros (as) por sus ánimos para seguir adelante.*

## *Agradecimientos*

*A la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de México por brindarme la oportunidad de estudiar el doctorado.*

*Al Instituto Politécnico Nacional y en particular al CICIMAR por su apoyo en mi superación académica.*

*Al Dr. Daniel Lluich Belda por dirigir esta investigación, por su tiempo e interés y por vertir en ella su experiencia.*

*Al Dr. Pablo Roberto Arenas Fuentes por su apoyo a lo largo del desarrollo de esta investigación, sus sugerencias y entusiasmo en el conocimiento de los atunes.*

*Al Dr. Michael Laurs por su ayuda desde el inicio de este trabajo, su paciencia, sus comentarios y sugerencias.*

*A los Doctores Virgilio Arenas, Xavier Chiappa, Luis Soto y Adolfo Gracia por la revisión de este trabajo, por enriquecerlo con sus sugerencias y por su siempre dispuesta ayuda.*

*Al Dr. Pierre Kleiber por su introducción a los modelos generalizados aditivos, su paciencia y ayuda.*

*Al Dr. Forrest Miller porque su experiencia y ayuda fueron parte importante en este trabajo.*

*Al Dr. Pat Tomlinson por sus comentarios y su ayuda de siempre.*

*Al Dr. Sergio Hernández Vázquez por sus acertadas sugerencias, su ayuda en la programación y apoyo logístico en el desarrollo de esta investigación.*

*Al M. en C. Salvador Lluich Cota por su ayuda en el proceso de las imágenes de satélite.*

*Cuando una investigación se inicia desde la búsqueda de la información, se elaboran programas para el manejo de los mismos, se aprenden nuevos métodos para su análisis y se invierte en ella mucho más que algunos años, las personas que de alguna u otra forma ayudan a que esto pueda concluir son sin duda numerosas, por la omisión quizá de algunas de ellas mis disculpas.*

*Al personal del departamento de pesquerías del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste por su ayuda y su amistad de siempre.*

*Al Lic. Manuel Pacheco, M. en c. Guillermo Martínez, Lic. Mirtha Albañez, y a Susy del centro de cómputo del CICIMAR por su asesoría en el manejo y elaboración de los programas.*

*Al Dr. Elis Glazier por su ayuda en la revisión del texto en inglés.*

*Al Dr. Enrique Cantoral por su invaluable ayuda en los trámites administrativos en la UNAM.*

*Al "Tuna group" del CICIMAR: Felipe, Andrés, Fernando, Alejandro, Pascual, Raquel, Jose Angel, y Salvador por las amenas discusiones al tratar de conocer mas de los atunes.*

*Al M. en C. Arturo Tripp Quezada, Jefe del Depto. De Pesquerías y Biol. Marina por el apoyo brindado.*

*A todos mis amigos y compañeros del CICIMAR y en especial al departamento de pesquerías.*

*A Gloria Romero por su ayuda en los trámites administrativos del IPN.*

*A la ANUIES por su ayuda para concluir esta investigación.*

**INDICE**

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABLAS.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
INTRODUCCION.....	1
ANTECEDENTES.....	3
La pesquería y su administración.....	3
El Océano Pacífico Oriental Tropical.....	5
El recurso y su ambiente.....	12
Índices de abundancia.....	15
OBJETIVOS.....	19
MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
Origen de la información.....	20
Determinación de la abundancia relativa.....	21
a) Normalización del esfuerzo pesquero.....	22
b) Distribución espacial y temporal de la abundancia relativa.....	25
c) Isolíneas de abundancia.....	26
Relación de la CPDNP con las variables ambientales.....	27
a) Relación con la temperatura superficial.....	27
b) Relación con la temperatura superficial, profundidad de la capa de mezcla, profundidad de la isoterma de 20°C, profundidad de la isoterma de 15°C, Fuerza y velocidad del viento.....	27
i) Modelo de regresión múltiple.....	27
ii) Modelo generalizado aditivo.....	28
c) Relación con la estructura térmica.....	29
d) Relación con la productividad primaria.....	30
RESULTADOS.....	31
DISCUSION.....	36
CONCLUSIONES.....	52
BIBLIOGRAFIA.....	54

## **Lista de figuras**

*Figura 1. Diagrama de los sistemas de corrientes en el Océano Pacífico Oriental*

*Figura 2. Red de cuadrantes (asignados a la esquina sureste) en los que se operó en más del 25% del total de los meses considerados en el análisis de las isolíneas de abundancia*

*Figura 3. Zonación del área de operación de la flota atunera mexicana. 1) Al norte de los 15° N, comprende la zona vestibular del Golfo de California, costa occidental de Baja California, Islas Revillagigedo e Islas Marías. 2) Área del Golfo de Tehuantepec. 3) Costas de Centroamérica y Domo de Costa Rica. 4) Área intermedia entre los 0° y 15°N al oeste de los 93°W y al este de los 120°W en su parte norte y de los 110°W en su parte sur. 5) Área oceánica al oeste de los 120°W entre los 0°-15°N.*

*Figura 4. Área bajo la curva calculada para cada perfil térmico*

*Figura 5. Captura por día normal de pesca anual promedio de la flota atunera mexicana y de la flota internacional que operó en el Océano Pacífico Oriental durante 1984-1990.*

*Figura 6. Distribución de la abundancia relativa promedio mensual del atún aleta amarilla en cuadrantes de 1° para el periodo 1984-1990.*

*Figura 7. Distribución de la abundancia relativa promedio anual del atún aleta amarilla en cuadrantes de 1° para el periodo 1984-1990.*

*Figura 8. Distribución de frecuencias promedio de los cinco niveles de abundancia relativa del atún aleta amarilla en el Océano Pacífico Oriental durante 1984-1990.*

*Figura 9. Captura por día normal de pesca promedio mensual durante 1984-1990.*

*Figura 10. Anomalías mensuales eliminando la estacionalidad de la captura por día normal de pesca en el Océano Pacífico Oriental durante 1984-1990.*

*Figura 11. Variación latitudinal y longitudinal de la CPDNP promedio mensual. Media y variancia en el recuadro superior.*

*Figura 12. Isolíneas de abundancia promedio mensual del atún aleta amarilla para el periodo 1984-1990.*

*Figura 13. Anomalías de temperatura superficial promedio anual considerando como promedio el periodo 1984-1990.*

*Figura 14. Frecuencia relativa de la temperatura superficial total y anual (temperatura asociada a la captura de atún aleta amarilla/ temperatura del Océano Pacífico Oriental).*

*Figura 15. Frecuencia relativa promedio de temperatura superficial Total: referente a la temperatura superficial del Océano Pacífico Oriental y Asociada: temperatura en los cuadrantes donde se aplicó esfuerzo pesquero para la captura de atún aleta amarilla.*

*Figura 16. Perfil térmico promedio para cada zona.*

*Figura 17. Modelo lineal que representa la relación entre la captura por día normal de pesca y la profundidad promedio de la capa de mezcla para las cinco zonas establecidas.*

*Figura 18. Modelo exponencial modificado que representa la relación entre la captura por día normal de pesca y la profundidad de la capa de mezcla, usando los 7,200 cuadrantes agrupados en 12 intervalos con incrementos constantes..*

*Figura 19. Modelo lineal que representa la relación entre la captura por día normal de pesca y el área promedio bajo el perfil térmico para las cinco zonas establecidas.*

*Figura 20. Relación entre la captura por día normal de pesca y el área bajo el perfil térmico usando los 7,200 cuadrantes agrupados en 66 intervalos con incrementos constantes.*

*Figura 21. Variación de la abundancia relativa del atún aleta amarilla promedio mensual y su concentración de pigmentos asociada, para el Golfo de Tehuantepec. (tomada de Ortega-García y Lluch-Cota, 1996).*

*Figura 22. Distribución promedio mensual de la concentración de pigmentos (CZCS) y captura por día normal de pesca del atún aleta amarilla durante 1984-1986. (tomada de Ortega-García y Lluch-Cota, 1996).*

*Figura 23. Variación de la abundancia relativa del atún aleta amarilla promedio mensual y su concentración de pigmentos asociada, para la costa occidental de Baja California.*



## Lista de tablas

- Tabla 1. Eigenvalores de las variables de cada barco consideradas en el análisis y el porcentaje de variancia explicada por los componentes asociados a ellas.*
- Tabla 2. Eigenvectores de los componentes principales cuya contribución fue significativa.*
- Tabla 3. Captura por día de pesca promedio y poder relativo de pesca de cada una de las embarcaciones consideradas en el análisis de normalización del esfuerzo pesquero.*
- Tabla 4. Captura por día normal de pesca promedio trimestral (en toneladas) para cada uno de los años analizados.*
- Tabla 5. Resultados del análisis de regresión múltiple entre la CPDNP y las variables ambientales considerando los 7200 cuadrantes.*
- Tabla 6. Niveles de significancia de cada una de las variables obtenidos al aplicar el modelo generalizado aditivo.*
- Tabla 7. Porcentajes de frecuencia de cuadrantes para los 5 diferentes niveles en cada uno de las zonas establecidas.*
- Tabla 8. Valores promedio por estrato de captura por día normal de pesca, temperatura superficial, profundidad de la capa de mezcla y gradiente térmico.*

## RESUMEN

La pesquería de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) ocupa a nivel mundial el segundo lugar en volúmenes de captura de las especies de túnidos explotadas comercialmente, en tanto que para México esta pesquería representa el primer lugar en volúmenes de exportación y segundo lugar en cuanto al valor de la producción. México cuenta con la flota más grande y de mayor capacidad de acarreo de las flotas que participan en esta pesquería en el Océano Pacífico Oriental (OPO) por lo que resulta de gran interés el determinar la abundancia del recurso y las variaciones que ésta tenga en el tiempo, conocimiento que nos permitirá pronosticar el comportamiento del recurso bajo condiciones similares, de tal forma que se pueda lograr una mejor administración y aprovechamiento óptimo del mismo. Este trabajo tiene como objetivo determinar la abundancia del atún aleta amarilla en el OPO, analizar sus variaciones en espacio y tiempo, y establecer hipótesis sobre las relaciones causales entre ésta y las variables ambientales; para ello se analizó la información de bitácoras de la flota atunera mexicana de cerco que operó durante 1984-1990. Las variables ambientales consideradas fueron: temperatura superficial, temperatura a cada 10 m de profundidad hasta los 150 m, profundidad de la isoterma de 20°C, profundidad de la isoterma de 15°C, profundidad de la capa de mezcla, fuerza y velocidad del viento y concentración pigmentaria derivada de imágenes de satélite. La unidad de esfuerzo elegida fue el día de pesca, la cual se normalizó mediante la aplicación de la técnica de componentes principales; en base a su significancia el modelo resultante considera los tres primeros componentes. La captura por unidad de esfuerzo como índice de abundancia relativa fue estimada en cuadrantes de un grado promedio mensual para toda el área de operación de la flota y representada en mapas con diferentes niveles de abundancia. Considerando los cuadrantes donde se llevó a cabo un mayor esfuerzo pesquero (>25%) se elaboraron mapas con isolíneas de abundancia. La abundancia estacional fue significativamente diferente presentando su valor máximo en el segundo trimestre, en promedio en el mes de junio se obtuvo la mayor abundancia. La abundancia anual fue significativamente diferente con un mínimo en 1984 y un máximo en 1986, por lo que se considera que el evento de El Niño (1986-1987) no tuvo efecto en la abundancia del recurso. La menor abundancia del recurso se presentó en el noroeste de México (12 t/día normal de pesca) coincidiendo con el mayor porcentaje de pesca no exitosa (16%), en tanto que la mayor abundancia se encontró en la zona oceánica (al oeste de los 120° W) con 18.5 t. acorde con el menor porcentaje de pesca no exitosa (2.5%). La relación de la abundancia relativa con la temperatura superficial se presenta en forma gráfica en mapas con las isotermas promedio mensual y los niveles de abundancia. El recurso se distribuye entre los 17° y 31°C con una moda en los 28°C. La relación de las variables ambientales con la abundancia del atún aleta amarilla se determinó mediante: a) un análisis de regresión lineal múltiple b) un modelo generalizado aditivo, en los cuales las profundidades de las isotermas de 20°C y 15°C así como la temperatura superficial fueron significativas. Debido a que el análisis por estratos mostró una marcada relación entre la abundancia relativa y el perfil térmico; se estimó el área bajo el perfil térmico como una variable que involucra la temperatura superficial, profundidad de la capa de mezcla, profundidad y fuerza de la termoclina. El modelo de mejor ajuste fue el parabólico, que nos indica mayores abundancias a profundidades intermedias. Mediante análisis de correlación cruzada se estimó la relación de la abundancia relativa con la concentración pigmentaria en dos zonas de surgencia muy importantes: la parte sur de la costa occidental de Baja California (Punta Eugenia) y el Golfo de Tehuantepec. Se encontró un retraso de tres meses entre la mayor abundancia y la concentración pigmentaria en la primera área y de cuatro meses en la segunda, retraso que se atribuye al tiempo en que se llevan a cabo los procesos tróficos que ponen a disposición el alimento del atún.

## ABSTRACT

The yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) fishery occupies second place in the world catch of the principal commercial kinds of tuna, whereas for Mexico this fishery represents the first place for export and second with respect to value of the production. Because of the importance that this species has for the fleets in the tuna fishery in the Eastern Pacific Ocean (ETP), and because the Mexican fleet has great autonomy and carrying capacity, it is interesting determine the tuna abundance and the seasonal fluctuations, knowledge that is going to predict the behavior of the resource in some conditions, to reach a better management and maximum sustainable catches. This work has an objective to determine the yellowfin tuna abundance in the ETP, analyze its spatial and seasonal fluctuations, and to establish hypotheses on the causal relationship among these and the environmental variables; for this the logbook records of the Mexican tuna purse-seine fleet that operated during 1984-1990 were analyzed. The environmental variables considered were sea surface temperature, temperature each 10m depth to 150m, 20 °C isotherm depth, 15 °C isotherm depth, mixed-layer depth, wind stress, wind speed, and phytoplankton concentration derived from satellite images. The unit of effort used was fishing day, which was standardized using the principal component technique. The first three components in the model were meaningful. The catch-per-unit-effort monthly average as an index of abundance was estimated in quadrants of one degree area for the total fleet operation area and classified into five levels of abundance for graphic presentation. Taking account those quadrants in which the fleet applied a greater fishing effort (>25%), maps with isolines of abundance were made. The variation of seasonal relative abundance was meaningful, with its maximum during the second quarter. On average June had the highest abundance. The variation of annual relative abundance was meaningful with a minimum during 1984 and a maximum in 1986, which is why I considered the El Niño (1986-1987) did not have an effect on the abundance of the resource. The lowest tuna relative abundance (12 tons per fishing day) coinciding with a greatest percentage of unsuccessful fishing (16%), was found northwest of Mexico and the greatest abundance was found in the oceanic area (west of 120°W) (18.5 tons per fishing day) agreeing with the low percentage of unsuccessful fishing (2.5%). The relation between the relative abundance and the surface temperature is represented by overlapping them on the isotherm maps. The resource is distributed between 17 and 31 °C with a mode at 28 °C. The relation between the yellowfin relative abundance was determined using two models: a) multiple linear regression and b) a generalized additive model; the 20 °C and 15 °C isotherm depths and sea surface temperature being meaningful in both models. Because the stratum analysis showed a strong relation between the relative abundance and the thermal profile, I determined the average area for each thermal profile as a variable that considered the sea surface temperature, mixed-layer depth, and the strength of thermal gradient. The best adjustment model was quadratic ( $r^2 = 0.74$ ), which indicated that the greatest abundance is found at intermediate depths. Through cross-correlation analysis, the relation between the relative abundance and the pigment concentration was estimated at two important upwelling areas; the gulf of Tehuantepec and the western coast of Baja California (Punta Eugenia). A four month lag between the highest abundance was found for the first area and three months for the second, the time that is needed in the food chain for phytoplankton to pass through to be food for tuna (micronekton).

## **INTRODUCCION**

El atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) ocupa el segundo lugar en volúmenes de captura de las principales especies comerciales de atún a nivel mundial con 1,076,000 toneladas anuales, de las cuales el 63% proviene del Océano Pacífico; del total capturado en el Pacífico, el 33% lo aporta el Pacífico Oriental (IATTC, 1997).

A nivel nacional esta especie es una de las más importante tanto por el volumen capturado como por las divisas que genera con su exportación; y si bien éstas disminuyeron durante varios años a consecuencia del establecimiento del embargo atunero, cuando consideramos las especies de importancia comercial, el atún ocupa el primer lugar en volumen de exportación y el segundo en cuanto al valor de la producción (SEMARNAP, 1996). Las capturas de atún aleta amarilla realizadas por la flota atunera mexicana constituyen en promedio el 38% del total capturado en el Océano Pacífico Oriental (IATTC, 1997).

Aunque existen estudios sobre estimación de la abundancia y la definición de áreas donde ésta es más alta, la mayoría de ellos se han enfocado más al problema metodológico de estimar abundancia que a tratar de explicar los cambios de la misma y la manera en que ésta es afectada por el ambiente.

La importancia que el ambiente tiene sobre los recursos pesqueros ha quedado de manifiesto en diversos estudios (Shimada, 1958; Blackburn, 1968; Fosbergh, 1989; Mullen, 1992; Cushing, 1995), por lo que en la actualidad la mayoría de las investigaciones y en especial aquellas de recursos comercialmente explotables, aplican gran parte de su esfuerzo para tratar de entender la relación recurso-ambiente.

En el caso del atún existen diversos estudios que relacionan los cambios de la captura o en menores casos la abundancia de esta especie con variables climáticas; de las cuales la temperatura superficial ha sido la más comúnmente utilizada (Broadhead y Barrett, 1964; Blackburn, 1963, 1965; Fosbergh, 1989). Sin embargo, muchos de estos trabajos lo han sido para un área particular del Océano Pacífico Oriental y en su mayoría han utilizado información de variables ambientales proveniente de cruceros de investigación, lo cual limita en gran medida la cobertura. Hoy en día se cuenta con una gran cantidad de información oceanográfica que ha sido recopilada de diversas fuentes, tales como: barcos oceanográficos y comerciales, boyas con equipo especial para la toma de datos, información proveniente de satélite, etc. por lo que se tiene la oportunidad de llevar a cabo investigaciones sobre la relación recurso-ambiente con una cobertura y profundidad mayor.

Dada la importancia que esta especie tiene para las flotas que participan en la pesquería de atún en el Océano Pacífico Oriental, de las cuales México cuenta con una de gran capacidad y autonomía (Ortega-García *et al.*, 1996); se consideran de gran relevancia los estudios que conlleven a un mejor conocimiento del recurso y en especial la influencia que el ambiente tiene sobre su distribución y abundancia. En particular se ha demostrado que la estructura térmica del océano tiene un efecto importante sobre la vulnerabilidad de los atunes a la captura de los barcos cerqueros, lo cual que se ha manifestado claramente en eventos como el ENSO (IATTC, 1988; Sharp, 1978). El presente trabajo proporciona elementos que permiten comprender el efecto que el medio ambiente tiene sobre la abundancia del recurso en ciertas áreas del OPO, así como su variación estacional e interanual.

## ANTECEDENTES

### LA PESQUERIA Y SU ADMINISTRACION

La pesquería de atún en el Océano Pacífico Oriental (OPO) se lleva a cabo desde Baja California (33°N) hasta Perú (20°S) y desde la costa hasta los 150°W, es decir casi exclusivamente en el Pacífico Oriental Tropical (POT) considerando a este último como el área comprendida entre los 30°N a los 20°S y de los 70°W a los 160°W (Fiedler, 1992). Las principales especies capturadas son el atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) y el barrilete (*Katwsuwonus pelamis*) con un 71% y 26% respectivamente; otras especies como el patudo (*Thunnus obesus*), el atún aleta azul (*Thunnus thynnus*), el barrilete negro (*Euthynnus lineatus*) y el bonito (*Sarda orientalis*) son también capturadas, aunque en cantidades menores (IATTC, 1995). En esta pesquería participan flotas de diversos países entre los que se encuentran Ecuador, Estados Unidos, Vanuatu, Venezuela y México.

La flota atunera mexicana de cerco ocupa desde 1986 el primer lugar en capacidad de acarreo, y desde 1988 en volúmenes de captura con relación a todas las flotas que participan en esta pesquería en el OPO (Ortega-García *et al.*, 1996). Durante 1994 su captura correspondió al 36% del total (IATTC, 1995).

En México el mayor desarrollo en esta pesquería se observó a partir de 1980 con la adquisición de grandes barcos cerqueros con capacidad de acarreo de más de 1000 toneladas métricas (tm), y es hoy en día una de las más importantes para el país desde el punto de vista comercial. Ocupa el segundo lugar en captura y el primero en volumen de exportación, a pesar de que ha sufrido situaciones que podrían haber afectado su desarrollo, tales como los dos embargos atuneros y la devaluación de la moneda mexicana.

La flota mexicana está dirigida principalmente a la captura de atún aleta amarilla (85%) y en menor proporción al barrilete (13%). Aunque la captura de otras especies ha sido casi incidental, en años recientes las especies como el bonito (*Sarda chiliensis*) y el patudo (*Thunnus obesus*) han tenido una tendencia al incremento (IATTC, 1995).

La captura de atún en el OPO se realiza con artes de pesca de superficie, de las cuales el cerco y la vara son los más utilizados. La flota atunera mexicana tuvo en activo entre 1990 y 1994, 55 barcos cerqueros y 7 vareros con una capacidad de acarreo promedio de 49,250 y 970 tm respectivamente (IATTC, 1992a, 1992b, 1993, 1994, 1995).

La pesca de atún con red de cerco hace uso de tres indicadores principales para detectar la presencia del recurso:

a) La pesca de cardúmenes “puros” o libres, detectados a través de signos de su presencia en la superficie del mar (observación de una ligera turbulencia en la superficie del mar a lo que se denomina “brisa”, lo que frecuentemente es debido a que el atún se encuentra alimentándose) que pueden ser observados ya sea desde el barco o con la ayuda de helicópteros.

b) La pesca que incide sobre cardúmenes asociados a delfines, en la cual los atunes son detectados por el avistamiento de manadas de delfines; las especies más importantes por su frecuencia de asociación son el delfín manchado (*Stenella attenuata*), el delfín tornillo (*S. longirostris*) y el delfín común (*Delphinus delphis*).

c) La pesca sobre cardúmenes asociados a objetos flotantes (maderas o partes de árboles, ballenas muertas, pedazos de red, bambú, algas, etc.), bajo los cuales es común encontrar concentraciones de atún.

En la pesca con vara o carnada, después de detectar un cardumen el atún es atraído al arrojar al mar carnada viva (sardina, anchoveta, etc), creando una excitación alimenticia que es aprovechada por los pescadores para lanzar sus anzuelos y capturar el atún.

Desde hace varios años las capturas mundiales de atún aleta amarilla han superado a las de todas las demás especies de atunes excepto al barrilete. En el OPO, la Comisión Interamericana del Atún Tropical (IATTC) ha sido la institución que se ha encargado de recomendar medidas de conservación del recurso. La IATTC se integró en 1950 y mantiene una afiliación abierta para los países que capturen atunes y especies afines en el OPO. México se afilió a esta Comisión en 1964 y se retiró en 1978 por no estar de acuerdo con los mecanismos de asignación de cuotas de captura las cuales eran definidas bajo dos criterios principales: a) el índice de captura, y b) la potencialidad de la flota de cada país; la cuota que le correspondía a México era muy baja, pues en aquel entonces sólo contaba con 12 embarcaciones y con una capacidad de acarreo total de 2,500 tm (Páez-Delgado, 1997; Ortega-García, 1989).

La IATTC tiene como responsabilidades principales: 1) estudiar la biología de los atunes y especies afines en el OPO para determinar los efectos de la pesca y los factores naturales sobre su abundancia, y 2) recomendar las medidas de conservación apropiadas para que los stocks de atunes y especies afines puedan mantenerse a niveles que permitan las capturas máximas sostenibles. La IATTC recomendó por primera vez en 1962 una cuota de captura para el atún aleta amarilla en el Área Reglamentaria del Atún Aleta Amarilla (ARCAA), pero ésta no fue aplicada hasta 1966;

a partir de este año y hasta 1979 la pesca fue reglamentada mediante cuotas. Posteriormente (con excepción de 1987 en que se estimó una abundancia extraordinaria del recurso por lo que se consideró no necesaria la recomendación), aunque se han aprobado cuotas recomendadas, éstas no han entrado en vigor (IATTC, 1994, 1995).

## **EL OCÉANO PACIFICO ORIENTAL TROPICAL**

El Océano Pacífico oriental tropical es una de las áreas más productivas de los océanos del mundo (Chávez y Barber, 1987) y soporta importantes pesquerías como las de clupeidos y atunes; es también una región de variabilidad interanual significativa, entre otras la asociada con el Niño-Oscilación del Sur (ENSO). Se encuentra bajo la influencia de grandes e importantes sistemas de corrientes que lo hacen mantener una estructura física compleja y una alta variabilidad estacional, interanual y espacial.

Los valores de temperatura y salinidad se han utilizado para definir las tres principales masas de agua del POT: 1) *Agua Superficial Tropical* (AST), la más cálida, de baja salinidad porque la lluvia excede la evaporación y la menos variable estacionalmente. Se localiza en el centro del POT a lo largo de los 10°N. Esta agua puede ser identificada por el área donde la temperatura superficial es siempre mayor de 25°C. Dentro de esta área la salinidad es usualmente menor de 34‰ y la precipitación mayor de 50 cm/año; 2) *Agua Superficial Ecuatorial* (ASE); se encuentra entre las masas de agua tropical y subtropical del sur y aparece como una lengüeta de agua fría, moderadamente salina (34.5‰ -35‰) que se extiende hacia el oeste a lo largo del ecuador desde la costa Peruana. Sus propiedades están determinadas por la advección estacional del agua más fría de la corriente del Perú y por las surgencias ecuatoriales. De agosto a noviembre, rara vez excede los 25°C excepto durante eventos El Niño. En general el Agua Superficial Ecuatorial es más fría durante el verano del sur u otoño del norte, cuando los vientos alisios australes son más fuertes; y 3) *Agua Superficial Subtropical* (ASS), está formada en regiones donde la evaporación excede a la precipitación hasta por 100 cm/año. Se caracteriza por una salinidad alta (>35‰) pero su temperatura puede variar entre 15° y 28°C. El centro del Agua Superficial Subtropical coincide aproximadamente con el centro del giro anticiclónico del Pacífico Sur (cerca de los 20°S), donde salinidades mayores a los 36‰ se encuentran hasta en profundidades de 200 m durante invierno (Blackburn, 1965; Wyrki, 1966, 1967; Fiedler, 1992).

La circulación en el POT esta dominada básicamente por cuatro corrientes que convergen hacia el oeste: la Corriente de California (CC) y la Corriente Nor-Ecuatorial (CNE) en el hemisferio norte; la Corriente de Perú (CP) y la Corriente Sud-Ecuatorial (CSE) en el hemisferio sur; y dos corrientes en sentido opuesto: la Contracorriente



Ecuatorial (CCE) y la corriente subsuperficial conocida como Corriente de Cromwell (CCr, figura 1; Wyrcki, 1965; Fiedler, 1992).

La CC es una corriente de naturaleza geostrofica, con flujo de norte a sur. Se origina en la zona templada del Pacífico de Norteamérica, transporta aguas frías (15°-20°C) relativamente bajas en salinidad (33.5‰), con gran contenido de oxígeno disuelto y ricas en fosfatos (Wyrcki, 1967; Lynn y Simpson, 1987). Durante su paso frente a la península de Baja California, constituye generalmente un flujo lento (25 cm/seg) y débil en dirección sur entre la superficie y los 300 m, que se extiende hasta los 850 o 900 km de la costa (Reid y Schwartzlose, 1962). Superficialmente la CC experimenta una desviación hacia el oeste en su extremo sureño, que va desde los 20° a los 15°N. Cuando su influencia se presenta aún más al sur es posible identificar un flujo divergente de baja escala en comparación con el flujo normal, que fluye hacia el sureste a lo largo de la costa de México (Wyrcki, 1965).

Durante primavera la CC tiene su máxima extensión hacia el sur, pero es en verano cuando es más fuerte que en otras épocas, alcanzando su descarga máxima (Lynn y Simpson, 1987; De La Lanza, 1991).

En su formación la CNE es alimentada en proporciones diferentes por dos fuentes principales: el agua originada en la CC (en su trayecto al oeste) y el agua de la CCE, la contribución de ambas varía estacionalmente. La influencia de la CCE es mayor cuando la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) está en su posición más norteña (Wyrcki, 1965, 1967). La CNE se presenta de manera definida y constante sólo al oeste de los 120 °W (Wyrcki, 1967; Lluch-Cota *et al.*, 1994).

La CCE fluye en una banda relativamente estrecha (300-700 km) entre los 4°N y 10°N. El esfuerzo que los vientos alisios ejercen sobre la superficie del mar, además de contribuir a mantener las corrientes ecuatoriales, ocasiona también un acumulamiento de agua en los límites occidentales; como resultado la superficie del mar hacia el oeste se eleva, causando una fuerza de gradiente de presión horizontal hacia el este. Debido a que entre las dos regiones de vientos alisios existe un cinturón ecuatorial de calmas denominada Zona de Convergencia Intertropical, el agua fluye hacia abajo de la fuerza de gradiente de presión en una corriente que es contraria al sentido del viento. Así, el agua se mueve de oeste a este formando la CCE a baja velocidad (1 a 2 nudos; Sverdrup, 1941; Anónimo, 1993).

De julio a diciembre la CCE está bien desarrollada y se extiende hasta la costa de América Central, en tanto que de marzo a mayo está ausente o es marcadamente débil (Wyrcki, 1967).

Frente a la costa de Costa Rica la CCE se divide en dos ramas, una (generalmente más fuerte) da vuelta hacia el norte alrededor del Domo de Costa Rica, formando la Corriente Costera de Costa Rica (CCCR), que alimenta a la CNE, en tanto que la otra da vuelta hacia el sur y oeste entrando a la CSE. El transporte de la CCE está casi completamente concentrado en los 200 m superiores (Wyrтки, 1967; Arenas *et al.*, 1992a).

La CCr es una corriente subsuperficial que fluye hacia el este a profundidades de entre 50 y 300 m, con una velocidad máxima de 120-150 cm/seg. Cuando la corriente se aproxima a las Islas Galápagos pierde velocidad y desaparece al este de éstas, descargando su agua hacia el norte y sur (Wyrтки, 1966; Anónimo, 1993).

Los cambios en la circulación de las corrientes están claramente relacionados con las variaciones en la intensidad y localización de los principales sistemas de vientos. De diciembre a abril, los vientos del noreste son más fuertes con un máximo entre los 10° -15°N. Durante esta época la CC llega más al sur, tiene más fuerza y alimenta casi exclusivamente la CNE. De julio a octubre los vientos alisios del sureste son más fuertes y en este período hay un flujo uniformemente fuerte hacia el noroeste, frente al Perú, sin que sea interrumpido por ninguna contracorriente (Wyrтки, 1965).

Así la circulación en el POT, se puede definir de manera general en tres patrones típicos que se presentan a lo largo del año:

- 1) De agosto a diciembre tanto la CCr como la CSE son fuertes y completamente desarrolladas, especialmente al norte del ecuador. La mayor parte del agua de la CCE fluye alrededor del Domo de Costa Rica, juntándose con la CNE entre los 10°N y 20°N. La CC es relativamente débil y se aleja de la costa de Baja California a los 25°N. Esta situación se presenta cuando la ZCIT se encuentra al norte del los 10°N y es más estable; en enero, cuando se mueve hacia el ecuador, la CCE se debilita y se corta en varios segmentos en tanto que la CC se torna más fuerte.
- 2) De febrero a abril, cuando la ZCIT está en su posición más al sur (3°N) se desarrolla un segundo patrón: la CC presenta su máxima extensión hacia el sur y alimenta en su mayor parte a la CNE. Frente a la costa mexicana, entre los 10°N y 20°N hay un giro anticiclónico, por lo que el agua fluye al sureste y hacia el oeste del Golfo de Tehuantepec. Fuera de la costa de América Central se desarrollan dos remolinos: uno ciclónico alrededor del domo de Costa Rica y el otro anticiclónico y centrado alrededor de los 5°N-88°W. La CCE desaparece durante este periodo y la CSE es menos fuerte que en el periodo que le precede.

3) De mayo a julio, cuando la ZCIT está otra vez en los 10°N, la CCE se forma otra vez pero no a plenitud debido a que la CC es todavía relativamente fuerte. Aunque la mayor parte del agua de la CCE fluye en la CCCR tan al norte como Cabo Corrientes, la principal fuente de suministro de la CNE es la CC. De julio a agosto cuando la CC se debilita, la CNE recibe un mayor aporte del agua de la CCE (Wyrcki, 1966, 1967).

De todos los patrones mostrados, es el de la CCE el que determina la naturaleza cálida del POT. Las CP, CSE y CC son frías; la CCE, aunque estrecha, es persistente a lo largo del Pacífico y afecta la mayoría de las áreas costeras en el POT (Arenas *et al.*, 1992a).

### **ESTRUCTURA TÉRMICA DEL POT**

Las más importantes características térmicas del POT han sido descritas por Cromwell (1958), Wyrcki (1964), Robinson y Bauer (1971); mapas recientes se encuentran en Hansen y Herman (1988), Halpert y Ropelewski (1989) y Fiedler (1992).

La estructura térmica del POT se caracteriza por una capa de mezcla en que la temperatura es casi constante, una termoclina con un cambio térmico muy fuerte y una capa subsuperficial en la cual la temperatura continua disminuyendo pero de forma más lenta (Wyrcki, 1966). Particularmente en el área correspondiente al agua superficial tropical, donde la temperatura superficial es cálida y poco variable, se tiene como resultado un alto grado de estratificación térmica y una termoclina fuerte y somera (Fiedler, 1992).

La isoterma de los 20°C se localiza en medio de la termoclina en la mayor parte del Pacífico tropical y su profundidad se usa convencionalmente para representar la profundidad de la termoclina en el Pacífico tropical (Donguy y Meyers, 1987; Kessler, 1990). La profundidad de la termoclina indica el espesor de la capa de mezcla dentro de la cual pueden fluir las corrientes superficiales dirigidas por el viento. Esta representa la termoclina permanente, no la termoclina secundaria somera que se desarrolla durante el verano en los extremos subtropicales del POT y en la Corriente del Perú (Wyrcki, 1966).

La isoterma de los 15°C está cerca del fondo de la termoclina y su profundidad ha sido utilizada para representar la profundidad final de la termoclina (Sharp, 1978).

La topografía de la termoclina está relacionada con las corrientes de la capa superficial y caracterizada por crestas o domos (<100 m) y valles (>100 m) (Arenas *et al.*, 1992a). La profundidad de la termoclina se incrementa de 40 a 60 m a lo largo de la

costa a >150 m en los giros subtropicales. De acuerdo con la teoría geostrófica en el hemisferio norte la termoclina será más profunda a la derecha del flujo de la corriente, mientras en el hemisferio sur sucede lo contrario. En el POT ésto se refleja por una elevación de la termoclina a lo largo del los 10°N y una depresión de la misma a los 4°N por el efecto del flujo de la CCNE; otra elevación se presenta a lo largo del ecuador por la influencia de la CSE (Fiedler *et al.*, 1992; Fiedler, 1992).

Cerca de la costa, desde el Golfo de Tehuantepec hasta el ecuador incluyendo las Islas Galápagos, la profundidad de la termoclina es menor de 50 m y frente a Costa Rica puede ser tan somera como 10 m. La variación de la profundidad de la termoclina a lo largo de la costa entre México y Panamá es menor de 20 m, así que se puede considerar que el área es térmicamente estable, mientras que fuera de la costa la variación puede ser mayor de 50 m, particularmente en los límites norte y sur de la contracorriente ecuatorial (Arenas *et al.*, 1992a). En el Domo de Costa Rica, la termoclina es muy somera (10 m en el centro del domo) y las isotermas tienden a comprimirse cerca de la superficie debido al movimiento ciclónico que se presenta (Wyrki, 1964). Este domo es casi una estructura permanente con centro entre los 9°N y 90°W y un diámetro entre los 130 y 300 km (IATTC, 1985).

La termoclina es más fuerte por debajo de la masa de agua superficial tropical y algo más débil por debajo de la masa de agua superficial ecuatorial especialmente a lo largo del ecuador, donde la CCr está directamente sobre la termoclina (Fiedler, 1992; Picaut *et al.*, 1989).

La capa de mezcla se ha definido como la capa de agua superficial del océano que es mezclada por la acción del viento. La definición mas ampliamente usada es la profundidad a la cual la temperatura es 0.5°C menos que la temperatura superficial (Wyrki, 1964; Levitus, 1982; Fiedler, 1992).

La profundidad de la capa de mezcla generalmente es análoga a la de la termoclina permanente, pero ésta fluctúa más debido a la formación de la termoclina secundaria de verano (arriba de la termoclina permanente) en regiones donde la capa de mezcla es profunda. La capa de mezcla se incrementa desde 20 a 30 m a lo largo de la costa, a 70 m en los giros subtropicales (Fiedler, 1992).

## **SURGENCIAS**

El proceso físico que provoca las surgencias ha sido descrito por Mann y Lazier (1991) de la manera siguiente: cuando el viento sopla sobre la superficie marina, el agua superficial empieza a moverse en la misma dirección; el efecto de Coriolis modifica la dirección del flujo, causando que la corriente derive hacia la derecha (en el

hemisferio norte); cuando se mantiene la fuerza del viento durante algún tiempo, el movimiento neto del agua es en ángulo recto a la dirección del viento, y esto se conoce como transporte de Ekman; cuando la dirección del transporte de Ekman es hacia fuera de la costa, las aguas superficiales se mueven en el mismo sentido y su lugar es tomado por aguas profundas, que normalmente son ricas en nutrientes.

En el POT se presentan tanto surgencias costeras como oceánicas. Las primeras a lo largo de la costa occidental de Baja California y Perú, así como particularmente a lo largo de América Central (Golfos de Tehuantepec, Papagayo y Panamá), donde la topografía continental tiene un efecto importante en el desarrollo de las surgencias (Fiedler *et al.*, 1991).

Las surgencias oceánicas se presentan a lo largo del ecuador y entre la CCE y la CNE en los 10°N, aunque en esta última las temperaturas cálidas y las bajas concentraciones de nutrientes sugieren que su efecto no alcanza la superficie. Las surgencias ecuatoriales son el resultado de una divergencia geostrofica de la corriente surecuatorial. El componente hacia el oeste de los vientos alisios del sur causa transporte de Ekman de agua superficial hacia los polos a ambos lados del ecuador. Los efectos de surgencia son evidentes en la elevación de la termoclina en el ecuador y en la temperatura anómalamente fría del agua superficial (Fiedler *et al.*, 1991; Fiedler *et al.*, 1992).

Estudios físicos tanto de surgencias ecuatoriales como costeras, han demostrado que el agua de éstas proviene comúnmente de una profundidad de 40-80 m y siempre menor de 100 m (Smith, 1982; Halper y Freitag, 1987).

Asociado al desarrollo de las surgencias está el proceso de fertilización de su área de influencia; las aguas profundas ricas en nutrientes (fosfatos, nitratos) y que afloran a la superficie tienen un efecto importante en los ciclos de producción orgánica y en el desarrollo de la cadena alimenticia de los pelágicos marinos (Lalli y Parson, 1991). Algunos estudios han demostrado la presencia de concentraciones grandes de atún en estas áreas aunque involucrando un desplazamiento del área de influencia de la surgencia o un retraso en tiempo atribuible al desarrollo de la cadena alimenticia del atún (Murphy y Shomura, 1958; Blackburn, 1965, 1973; Ortega-García y Lluch-Cota 1996).

## FRENTE

Los frentes son líneas de convergencia entre aguas superficiales de diferentes densidades, reconocidas por fuertes gradientes de temperatura y/o salinidad, donde una amplia variedad de organismos marinos suelen concentrarse y se presentan tanto

en áreas oceánicas como costeras (Wyrcki, 1966; Sund, *et al.*, 1981). En ambos lados del frente suelen observarse concentraciones grandes de zooplancton, las cuales son aprovechadas por el necton, que se desplaza para alimentarse de ellas (Blackburn, 1965).

Convergencias de pequeña escala son algunas veces detectadas por acumulación de basura, algas u objetos flotantes. Los frentes son por sí mismos altamente productivos; sin embargo, esta producción se incrementa porque generalmente están relacionados a procesos de surgencia y mezcla vertical (Cushing, 1995). La mayoría de los frentes son reconocidos a través de registros continuos de temperatura mediante termógrafos, aunque también pueden detectarse visualmente por diferencias en color o turbulencia entre las aguas (Sund *et al.*, 1981). Uno de los frentes oceánicos más pronunciados es el ecuatorial, que se extiende desde la costa del Ecuador hacia las Islas Galápagos el cual separa el agua tropical de alta temperatura y baja salinidad en el norte del agua fría de alta salinidad de la corriente de Perú; durante verano-otoño, cuando el frente está más marcado, la diferencia de temperatura es de 5°C o 6°C (Wyrcki, 1981; Fiedler *et al.*, 1992).

Otra área de convergencia importante en el POT es el frente localizado justo al sur de Cabo San Lucas durante primavera y verano; en él se encuentran el agua de la Corriente de California (de temperatura y salinidad bajas) con la del Golfo de California, de temperatura alta y una salinidad mayor a los 35‰, (Griffiths, 1963; Roden, 1972).

## PRODUCTIVIDAD BIOLÓGICA

En el POT tanto el zooplancton como el fitoplancton presentan patrones de densidad que decrecen de este a oeste (Blackburn *et al.*, 1970). Aunque la mayor parte de las aguas superficiales del POT son pobres en nutrientes, existen áreas que normalmente tienen una alta productividad biológica como las aguas ecuatoriales y las costeras (especialmente en el sistema de Corriente de Perú) y el Domo de Costa Rica y su extensión hacia el oeste (King, 1986; Chavez y Barber, 1987; Barber y Kogelschatz, 1990; Fiedler *et al.*, 1992). La termoclina es somera en estas regiones, así que la surgencia y mezcla vertical por viento traen agua fría rica en nutrientes de abajo de la termoclina a la capa superficial. Estos nutrientes mantienen concentraciones elevadas de nitrógeno en la superficie, dando como resultado altos niveles de producción nueva, pero no suficiente para terminar con los nitratos (Chavez y Barber, 1987). Se ha demostrado que la disponibilidad del nitrógeno es el factor limitante para el crecimiento de fitoplancton en estas áreas (King, 1986), por lo que la depresión de la termoclina como la que ocurre durante el fenómeno de El Niño reduce la entrada de nitrógeno nuevo a la capa superficial, limitando la productividad.

El ciclo estacional del fitoplancton depende de las variaciones en la topografía de la termoclina, así como del suministro de nutrientes proporcionado por las surgencias en el domo de CR, Golfo de Tehuantepec, Bahía de Panamá, costa de Colombia y Ecuador, la Corriente de Perú, su extensión hacia el oeste y la Corriente de Cromwell; en estas áreas la producción de fitoplancton es máxima durante marzo y abril y mínima en octubre; la productividad primaria varía de 127 a 318 mg C·m<sup>-2</sup>·yr<sup>-1</sup>, con un promedio de 75 mg C·m<sup>-2</sup>·yr<sup>-1</sup> (Owen y Zeitzchel, 1970).

En la zona oceánica se presentan valores altos de productividad en el área comprendida entre los 5°N y 5°S hasta los 150°W por el efecto de las surgencias ecuatoriales (Arenas *et al.*, 1992a). Se ha demostrado también la presencia de una lengüeta de alta concentración de fitoplancton a lo largo de los 10°N (límite norte de la contracorriente norecuatorial) desde la costa a los 150°W, al parecer debida a la elevación estacional de la termoclina, que ocasiona que la zona eufótica se extienda por abajo de ésta y permita la entrada de nutrientes de la capa subsuperficial (Fiedler *et al.*, 1992; Fiedler, 1994).

Otra área de alta productividad es la costa occidental de Baja California, originada por el desarrollo de eventos de surgencia, siendo las principales: Bahía San Cristóbal (al sur de Punta Eugenia) y la Isla Santa Margarita (en Bahía Magdalena). En general para estas áreas, las surgencias máximas se presentan durante primavera y principios de verano (Hernández-Vázquez, 1995). Concentraciones altas de fitoplancton (medido como concentración de clorofila "a"), langostilla (*Pleuroncodes planipes*), sardina (*Sardinops sagax caerulea*), anchoveta (*Engraulis mordax*) y atunes han sido registradas en estas zonas (Blackburn, 1969; Parrish *et al.*, 1983)

## **EL RECURSO Y SU AMBIENTE**

El atún aleta amarilla es una especie epipelágica, que se encuentra en aguas tropicales y subtropicales de todos los océanos y mares del mundo excepto en el Mar Mediterráneo (Cole, 1980). Blackburn (1965) menciona que en el Océano Pacífico Oriental (OPO) se distribuye desde los 35°N a los 33°S, mientras que en otros estudios se ha registrado su presencia desde los 40°N a los 40°S (Calkins y Chatwin, 1967; Shingu *et al.*, 1974; Susuki *et al.*, 1978). Su distribución, al igual que la de otros túnidos, parece depender principalmente de dos propiedades oceánicas: la temperatura, que limita la distribución total de cada especie, y la concentración de alimento dentro del espacio limitado por la temperatura (Blackburn, 1965). Según Mullen (1992), la distribución del atún aleta amarilla a gran escala está determinada por el ambiente, siendo probablemente la temperatura su principal factor limitante.

Allen y Punsly (1984) mencionan que aunque la temperatura no es necesariamente el factor más importante de los que influyen en el comportamiento de los atunes, sí se relaciona estrechamente con otras que tienen una mayor influencia, como el perfil térmico. Por lo mismo, se correlaciona con la magnitud de las capturas.

Los límites de temperatura entre los que se encuentra distribuido el atún aleta amarilla han sido discutidos por Uda (1957); Blackburn *et al.*, (1962); Laevastu y Rosa (1963); Broadhead y Barrett (1964); Blackburn (1965), Cole (1980); Sund *et al.*, (1981) entre otros. De acuerdo a los resultados encontrados es evidente que rara vez se encuentra por abajo de los 20°C en concentraciones comerciales. En el hemisferio norte se ha observado que exhibe movimientos relacionados con la posición de las isothermas de 20° y 21°C (Blackburn *et al.*, 1962; Broadhead y Barrett, 1964). En un estudio específico para la costa occidental de Baja California, se encontró que el movimiento del atún es similar al que presenta la isoterma superficial de los 21°C y que aún en áreas de alta concentración de alimento prefiere congregarse en lugares con temperaturas superficiales mayores de 20°C (Blackburn, 1969).

Broadhead y Barrett (1964) y Blackburn (1963,1965) al relacionar la distribución de la abundancia de atún con algunas propiedades oceánicas como el viento, la salinidad y la temperatura superficial, encontraron que esta última juega un papel muy importante. Para esta especie, Castro y Quiñonez (1987), analizaron su distribución y abundancia en el OPO en relación con la temperatura superficial del mar para el periodo 1982-1985, encontrando que las variaciones en la distribución de las capturas del atún se relacionan con cambios a gran escala de las condiciones normales de circulación y con cambios ocurridos durante el fenómeno del El Niño de 1982-1983, de tal manera que definieron que las capturas se encuentran limitadas a las áreas comprendidas entre las isothermas de los 18° y 28°C.

En algunos estudios se ha determinado que la estructura térmica vertical de los océanos también influye en la distribución del atún aleta amarilla, y que el hecho de que el OPO presente una termoclina muy somera a lo largo del año es una característica que facilita que la pesquería de superficie se lleve a cabo con éxito. Green (1967) encontró que el mayor número de lances exitosos de aleta amarilla se obtuvieron en capas de mezcla con un espesor menor de 18.4 m y en áreas con un gradiente térmico más pronunciado (>0.55°C/m). Sharp (1978), al considerar la isoterma de los 23°C como el punto medio de la termoclina y la isoterma de los 15°C como el fondo de la misma, demostró una alta correlación entre estas variables y la vulnerabilidad del atún aleta amarilla a la captura por cerqueros, encontrando que la vulnerabilidad óptima ocurre cuando la profundidad de la isoterma de los 23°C es menor de 45.72 m y la isoterma de 15°C es más superficial que 73.15 m.



La temperatura también tienen un efecto importante en el aspecto reproductivo del atún aleta amarilla; Ueyanagi (1978) menciona que las áreas de desove están limitadas a las isotermas superficiales de 26°-30°C y que 26°C es probablemente la temperatura más baja a la cual se puede presentar desove.

Estudios enfocados al análisis de los indicadores de pesca en la captura de atún aleta amarilla han demostrado que los lances sobre cardúmenes asociados a delfín son más frecuentes a los 28°C, mientras que lances sobre cardúmenes no asociados se realizan en mayor proporción a los 23°C (Gómez-Muñoz *et al.*, 1992). Particularmente para el caso de los cardúmenes asociados a objetos flotantes, Arenas *et al.* (1992b) señalan que las capturas fueron bajas a temperaturas bajas.

En otros estudios también se ha sugerido la relación entre la distribución del atún y la transparencia del agua, la productividad primaria, salinidad, fuerza del viento y corrientes (Nakamura, 1965; Blackburn, 1965; Seckel, 1972; Williams, 1972; Sund *et al.*, 1981). La transparencia del agua podría ser una característica importante si se toma en cuenta que hay considerable evidencia de que los atunes localizan a sus presas visualmente, por lo que podría no ser capaz de alimentarse en aguas turbias; por otra parte, en aguas muy claras el alimento es escaso (Blackburn, 1965). Las capturas de atún sobre objetos flotantes son mayores en aguas con mayor claridad, mientras que la captura promedio por lance disminuye ligeramente con el incremento de la velocidad del viento (Arenas *et al.*, 1992b).

Diversos estudios han demostrado que la densidad relativa del atún aleta amarilla parece seguir la distribución de la producción primaria, coincidiendo su presencia con áreas de surgencia, frentes oceánicos y otras áreas de convergencia y divergencia (Blackburn, 1965; Murphy y Shomura, 1972; Sund *et al.*, 1981; Power y Nelson, 1991; Mullen, 1992).

Blackburn (1963), al relacionar la abundancia del atún aleta amarilla con las condiciones del viento en el Golfo de Tehuantepec encontró un retardo medio de tres meses entre la acción del viento (invierno) y la cosecha de micronecton (primavera); para esta misma área y con el uso de información sobre pigmentos fotosintéticos derivada de imágenes de satélite, Ortega-García y Lluch-Cota (1996), calcularon un retraso de cuatro meses de la abundancia relativa del atún aleta amarilla respecto a la concentración de pigmentos fotosintéticos. Para el área comprendida entre 100° 30' - 121°30'W y de los 3°20'S -16°00'N, Blackburn (1973) encontró una correlación significativa entre la concentración de clorofila "a" y la presencia de zooplancton, en tanto que un retraso de 4 meses se presenta entre la abundancia del zooplancton y la del micronecton (peces-cefálopos).

Los atunes tienden a localizarse en forma abundante alrededor de montañas submarinas, islas y bancos. Diversos estudios han demostrado que las montañas influyen de forma determinante en la circulación de las grandes masas de agua, al presentar obstáculos en su libre paso, provocando zonas de surgencia, convergencia, vórtices y frentes. Uda e Ishino (1958) mostraron que en la cercanía de las islas pueden generarse corrientes de agua semi-permanentes (remolinos), que permiten la concentración de plancton. Bennet y Schaefer (1960) en un estudio específico para la Isla Clarión encontraron que la producción primaria (clorofila "a") se incrementa en las inmediaciones de la isla en tanto que los volúmenes de zooplancton fueron bajos, por lo que el hecho de que el barrilete y el atún aleta amarilla estuvieran frecuentemente cerca de las islas les permitió sugerir que se alimentan de organismos que no dependen tróficamente del zooplancton; es decir que subsisten alimentándose de organismos herbívoros, los cuales a su vez se alimentan del fitoplancton disponible en el área. Esto fue comprobado posteriormente por Alverson (1963) y Galván-Magaña (1988), al encontrar que en esta zona la principal especie alimento del atún es la langostilla. Estudios recientes demuestran que un mayor éxito de pesca para el atún aleta amarilla en el Pacífico oriental, se presenta en las inmediaciones de las montañas submarinas, islas y bajos (Fonteneau, 1991; Merlín-Pérez y Ortega-García, 1996).

Las corrientes superficiales pueden afectar la distribución de los atunes en forma más directa, detectándose patrones de distribución que han sugerido asociaciones de especies particulares con corrientes determinadas. Generalmente se considera que los atunes se distribuyen a lo largo del eje de la corriente y en mayor abundancia que en aguas adyacentes (Tiews, 1963; Sund *et al.*, 1981).

## **INDICES DE ABUNDANCIA**

Se ha reconocido ampliamente que el uso de datos de captura y esfuerzo podría presentar diversos problemas para su utilización como índices de abundancia, ya sea de naturaleza técnica referentes al método empleado o al hecho de si pueden considerarse como un buen índice cuando la pesca comercial trata de mantener captura altas. Hasta la fecha, la administración del atún aleta amarilla en el POT se ha basado en el uso de esta información para el cálculo de la abundancia relativa, así como su posterior aplicación en los modelos de producción. Aunque en la última década la IATTC ha combinado estos resultados con los modelos de cohortes y rendimiento por recluta para la evaluación del recurso (IATTC, 1994), los métodos que utilizan los datos de captura y esfuerzo se continúan usando, en parte debido a la incertidumbre sobre los métodos usados para asignar edades a los peces así como a la dificultad que se presenta en aquellos métodos como el de análisis de las generaciones en una situación en que hay una estructura poblacional compleja y de la que no se tiene el conocimiento suficiente (Allen y Punsly, 1984).

La eficiencia de las embarcaciones no permanece constante; los pescadores están en una búsqueda continua para mejorar sus métodos de pesca y tecnologías, lo cual normalmente involucra cambios en el arte de pesca así como en su conocimiento (Hilborn y Walters, 1992). Particularmente en esta pesquería, en la cual intervienen barcos con diferente eficiencia ya sea por sus dimensiones físicas, arte de pesca, ayuda aérea, etc., el uso de las unidades de esfuerzo pesquero requiere de una normalización; es decir, la eliminación de las diferencias en los índices de captura debidas a sus características físicas y a las circunstancias que son el resultado de otros factores no aleatorios o a la abundancia de la especie (Allen y Punsly, 1984).

Con la finalidad de que estos índices sean un reflejo más confiable de la abundancia del recurso se han llevado a cabo una serie de métodos y estimaciones. Los primeros ajustes realizados fueron hechos por Shimada y Schaefer (1956); desde entonces se han llevado a cabo varias investigaciones que tratan sobre los métodos para usar los datos de captura y esfuerzo en esta pesquería (Beverton y Holt 1957; Griffiths, 1960; Calkins, 1961 y 1963; Martin, 1962; Broadhead, 1962; Pella y Psaropulos, 1975; Allen y Punsly, 1984; Punsly, 1987; Ortega-García y Muhlia-Melo, 1992; Ortega-García y Gómez-Muñoz, 1992).

Shimada y Schaefer (1956) y Beverton y Holt (1957) normalizaron el esfuerzo mediante el cálculo de factores al comparar el promedio de los índices de captura de una clase particular de barcos con aquellos de una clase estándar. Variaciones de este procedimiento aparecen en Joseph y Calkins (1969), Campos-Rosado (1971), Uchida (1976) y en otros estudios.

Otra opción ha sido el uso de modelos lineales con estimaciones de los mínimos cuadrados o del máximo de verosimilitud de los parámetros. Esto fue usado por Gulland (1956) y más tarde por Robson (1966) y Joseph y Calkins (1969). Estrechamente relacionado a este enfoque es el uso de la regresión lineal para estimar los cambios en el poder de pesca que se relacionan a una variable continua como la eslora, potencia del motor, etc. Las primeras aplicaciones de los modelos lineales se emplearon para la estimación de "factores de poder" o la eficacia relativa de las diferentes clases de embarcaciones y estos se usaron después para estimar el esfuerzo normalizado de pesca (Allen y Punsly, 1984).

Paloheimo y Dickie (1964), Gulland (1968) y Pella (1969) indican que las tasas de captura son estimaciones sesgadas de la abundancia cuando se emplea el tiempo total de pesca (tiempo de búsqueda más el tiempo de maniobra) como medida de esfuerzo, ya que una vez localizado el cardumen, el esfuerzo dedicado a llevar la captura a bordo no refleja un cambio en la abundancia, por lo que es recomendable considerar sólo el tiempo de búsqueda en las estimaciones.

Pella y Psaropulos (1975) aplicaron un modelo lineal con la finalidad de obtener mejores cálculos de los indicadores de abundancia en la pesca con red de cerco enfocándose principalmente a: 1) normalizar los efectos de la velocidad del barco, capacidad y tipos de pesca y 2) solucionar los problemas de separar el tiempo de búsqueda y de la faena.

Vázquez (1981) desarrolló un método para calcular el poder de pesca usando un modelo multiplicativo, supone que la variancia de la captura es proporcional al poder de la captura promedio.

Allen y Punsly (1984) utilizaron el tiempo de búsqueda como unidad de esfuerzo y desarrollaron un modelo lineal generalizado para la normalización del esfuerzo de pesca, considerando que la probabilidad de encontrar un cardumen en una unidad de tiempo en un estrato dado dependerá de las características del barco, del comportamiento de los peces, de las condiciones ambientales y de otros eventos dentro de esta área.

En la mayoría de estos métodos se han agrupado las embarcaciones en clases o categorías, generalmente sobre la base de la capacidad de acarreo o características relacionadas al tonelaje; Ortega-García y Gómez-Muñoz (1992), proponen la normalización del esfuerzo de pesca de la flota atunera mexicana mediante el uso de la técnica de componentes principales con la ventaja de que al utilizar esta metodología no se requiere eliminar *a priori* ninguna de las variables a considerar en el modelo y de que para cada embarcación se determina su poder relativo de pesca sin necesidad de definir categorías.

La unidad de esfuerzo que la IATTC ha usado a la fecha son los días de pesca y aunque a partir de 1984 se ha utilizado también el tiempo de búsqueda, ya que se cuenta con información más detallada de las operaciones de pesca gracias al programa de observadores a bordo de las embarcaciones, en general se puede considerar que la tendencia en las dos unidades de esfuerzo ha sido prácticamente la misma. La IATTC desde hace más de 10 años utiliza como un índice de abundancia la captura por día de pesca de todas las embarcaciones de clase 6 (mayores de 400 tc o 363 tm de capacidad de acarreo); no toma en cuenta a las embarcaciones menores de esta capacidad (considerando su poca participación en la pesquería), por lo que al asumir una sola categoría de barcos no requiere normalizar el esfuerzo de pesca.

En particular para la flota atunera mexicana las embarcaciones de cerco de la denominada "clase 6" por la IATTC varían entre 450 a 1270 tm de capacidad de acarreo, por lo que el hecho de asignarles el mismo poder de pesca para un intervalo tan grande, da como resultado una estimación sesgada del índice de abundancia. Esto fue comprobado por Ortega-García (1989) en un análisis de la eficiencia de la flota en

el cual, al usar días de pesca como unidad de esfuerzo, definió dos categorías de embarcaciones; menores a 680 toneladas y mayores de esta capacidad.

En la administración de un recurso es sin duda importante el contar con un indicador adecuado de su abundancia, ya que a partir de esta información se pueden inferir aspectos tan importantes como el estado poblacional y de explotación del mismo, áreas de mayor abundancia, variaciones interanuales y estacionales, entre otras. El atún aleta amarilla ha sido explotado por más de 70 años en el OPO, y estimaciones de su abundancia relativa se han calculado durante más de 50 años, a partir de las cuales se observa que la población se ha mantenido con una abundancia por encima del óptimo aunque el esfuerzo se ha incrementado sustancialmente (IATTC, 1997). Sobre esta especie se han generado un gran número de estudios en los cuales se reconoce el papel que el ambiente tiene en la ecología de los atunes; se sabe que su reproducción, crecimiento, migraciones y concentraciones son afectadas por la variación de las propiedades de su hábitat; por lo que el entendimiento de las relaciones entre el ambiente y el recurso permitirá conocer y comprender en mayor medida el comportamiento del mismo, así como predecir cambios en su abundancia que conlleven a una mejor administración del mismo.

**OBJETIVO:** Establecer hipótesis sobre las relaciones causales entre las variables ambientales y la abundancia del atún aleta amarilla.

**OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

I Definir la unidad de esfuerzo pesquero y determinar la captura por unidad de esfuerzo de la flota atunera mexicana durante 1984-1990.

II Normalizar el esfuerzo de pesca y estimar la captura por unidad normalizada de esfuerzo por cuadrantes de un grado.

III Determinar la distribución espacio-temporal de la captura por unidad normalizada de esfuerzo como un índice de abundancia y analizar sus variaciones.

IV Relacionar los cambios en la abundancia con temperatura superficial, profundidad de la isoterma de 20°C, profundidad de la isoterma de 15°C, velocidad y fuerza del viento y productividad primaria.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

### **ORIGEN DE LA INFORMACIÓN**

La información utilizada proviene de los datos de bitácoras de pesca de la flota atunera mexicana de cerco, la cual se obtuvo a través de la Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) y mediante colectas realizadas por el personal del Proyecto "ATUN-CICIMAR" del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN en los puertos de Mazatlán Sin., La Paz B.C.S., San Carlos B.C.S., y Ensenada B.C. En las bitácoras para cada lance de pesca se registra la fecha, la posición geográfica, la hora en que inicia y termina el lance, la cantidad estimada de los peces capturados por especie, el tipo de cardumen o señales mediante las cuales se localizó el cardumen, la temperatura superficial del agua y si recibieron o no ayuda aérea. El Proyecto "ATUN-CICIMAR" mantiene una base de datos actualizada de esta información, de la cual se extrajo la correspondiente a la actividad de la flota atunera mexicana que operó en el Océano Pacífico Oriental de 1984 a 1990, años en los que se contaba con un mayor número de registros al iniciar el planteamiento de esta investigación. aproximadamente 40,000 lances de pesca. También se contó con la información de catastro (año de construcción, tonelaje bruto, tonelaje neto, eslora, manga, puntal, capacidad de acarreo y potencia del motor) de las 61 embarcaciones que operaron durante el periodo analizado.

Se utilizaron tres bases de datos de parámetros ambientales: la primera de temperatura superficial obtenida mediante la digitalización de las isotermas promedio mensuales presentes en el Océano Pacífico Oriental; publicadas por la IATTC y editadas por Forrest Miller (IATTC, 1984-1990). El origen de la información y la forma en que estas isotermas son elaboradas se presenta con detalle en Ortega-García *et al.*, 1997.

La segunda es la denominada base de datos de batitermógrafos, proporcionada por personal del National Marine Fisheries Service (NMFS), la cual está integrada por varias fuentes de información: NODC=National Oceanographic Data Center CD-ROM NODC-03: Global Ocean Temperature and Salinity Profiles, Vol. 2, Pacific Ocean; MOODS= Navy Master Oceanographic Observations Data Set; SOP=French-American ship-of-opportunity observations obtenidos por NOAA/ERL/Pacific Marine Environmental Laboratory (Kessler, 1990); y datos del NRIFSF= National Research Institute of Far Seas Fisheries of Japan. Estas bases de datos fueron colectadas por pescadores, barcos comerciales, militares y de investigación y fueron editadas por personal del NMFS para uniformar la información en una sola base con promedios mensuales en cuadrantes de 2°x2° , a partir de la cual se extrajo la información correspondiente al

periodo 1984-1990 de las siguientes variables: temperatura superficial ( $TS$ ), temperatura cada 10 m de profundidad hasta 150 m, profundidad de la capa de mezcla ( $Mx$ ), profundidad de la isoterma de 20°C ( $T20$ ) y profundidad de la isoterma de 15°C ( $T15$ ). También se ha incorporado a esta base de datos información de fuerza ( $W_1$ ) y velocidad del viento ( $W_2$ ), proporcionada por la Universidad del Estado de Florida (Fiedler, com. pers.).

La tercera fuente de información comprende productos derivados de imágenes de satélite del sensor CZCS del satélite *NIMBUS-7* mantenido en órbita de octubre de 1978 a julio de 1986. Los datos se obtuvieron de la base MCSST/Pigment Concentration PODAAC VI (Tran *et al.*, 1993). La estimación de la concentración pigmentaria del océano a partir de observaciones de satélite se basa en que las características ópticas de la masa están determinadas por ciertos componentes, entre los que destacan los pigmentos del fitoplancton (principalmente la clorofila "a", por su concentración), la materia orgánica disuelta con color, el detritus y el agua misma (Lluch-Cota, 1995).

Debido a que la operación del sensor fue de noviembre de 1978 a junio de 1986, sólo se analizó la información para el periodo para el que se contó con información de abundancia relativa del atún aleta amarilla (1984-1986).

El límite del Pacífico Oriental Tropical para este estudio fue el definido por Fiedler (1992), de los 30°N - 20°S y de los 70°- 160°W. Dado que la información de bitácoras no presentó operaciones de pesca mas allá de los 146°W, el límite utilizado para la elaboración de los mapas de distribución de los índices de abundancia, fue el de 147°W.

## **DETERMINACIÓN DE LA ABUNDANCIA RELATIVA**

La mayoría de los estudios sobre abundancia relativa del atún aleta amarilla en el OPO han empleado como estratos áreas de 5°X5° y promedios anuales o trimestrales (Allen y Punsly, 1984; Punsly, 1987). Con la finalidad de realizar un análisis más detallado de la información, en este estudio se consideró como unidad mínima de área-tiempo a estimar, cuadrantes de 1°X1° promedio mensual, para lo cual se calcularon la captura y el esfuerzo a partir de las posiciones de cada uno de los lances dentro de esa área y para cada mes de 1984-1990, asignando su valor a la esquina sureste de cada cuadrante.



### a) Normalización del esfuerzo pesquero

Tomando en cuenta que la mayor parte de la flota atunera mexicana esta conformada por barcos de más de 600 toneladas de capacidad de acarreo y cuya objetivo de pesca es la captura del atún aleta amarilla (Ortega-García *et al.*, 1992; Ortega-García *et al.*, 1996; Páez-Delgado, 1997), para la determinación del índice de abundancia se consideraron como lances de atún aleta amarilla aquellos en los cuales la captura total era de esta especie, o al menos un 70% de la misma en la captura sobre cardúmenes mixtos de atún aleta amarilla y barrilete.

No todos los lances producen capturas, en muchos casos se presentan problemas en el desarrollo de la maniobra de pesca o el cardumen logra escapar, en este análisis se consideró como lance exitoso aquel cuya captura fue mayor de 0.5 toneladas.

Considerando que: la flota atunera mexicana es la más importante en cuanto al número de embarcaciones y capturas de las que operan en el Océano Pacífico Oriental, la Zona Económica Exclusiva Mexicana ha estado prácticamente cerrada a la captura de barcos extranjeros desde hace más de 15 años y que en ella se obtiene en promedio cerca del 40% de la captura total del aleta amarilla en el OPO (Páez-Delgado, 1997), en este estudio se supone que la información de captura y esfuerzo obtenida a través de sus registros es una submuestra de la flota internacional y a su vez, que los resultados que se obtengan de su análisis serán un reflejo del comportamiento de la población.

Con la finalidad de estimar para cada embarcación su poder relativo de pesca sin definir categorías, se decidió usar para la normalización del esfuerzo de pesca la metodología propuesta por Ortega-García y Gómez-Muñoz (1992). Para hacer comparables nuestros resultados con otros estudios realizados en el área, se decidió utilizar como unidad de esfuerzo los días de pesca. El esfuerzo se determinó como el tiempo transcurrido entre el tiempo final de un lance y el inicial del lance siguiente, no considerando el tiempo de maniobra; es decir, aquel que es utilizado en la realización del lance. El tiempo resultante fue expresado en días.

Dado que en un mismo día un barco puede efectuar más de un lance, se calculó inicialmente el tiempo de maniobra total que utilizó el barco en un día particular, para después restarlo a los días de pesca nominales:

$$T_m = \sum_{i=1}^n T_2 - T_1$$

donde:

$T_m$  = tiempo total de maniobra (expresado en fracción de día)

$T_2$  = tiempo final del lance

$T_1$  = tiempo inicial del lance

Debido a que en la mayoría de las bitácoras no se describe lo que sucede entre un lance y el siguiente (en lo referente a si sufren una avería, descompostura de algún equipo, la hora en que quedan a la deriva y no se dedican a buscar el recurso, si tienen que guarecerse en puerto por factores climatológicos, etc), tiempo que debería no considerarse por no tener relación con la abundancia del recurso, cuando los días de pesca estimados entre ellos eran más de 15 no se consideraron en el análisis, ya que es la estimación máxima que se tiene de que un barco se encuentre buscando el recurso (Punsly, Com. pers.).

Aunque es sabido que en esta pesquería la colaboración entre embarcaciones es frecuente, en este estudio se supone que este efecto es constante y que no altera la estimación de la abundancia relativa.

Los días nominales de pesca fueron calculados de la forma siguiente:

$$DP = (F_{i+1} - F_i) - T_m$$

donde:

$F_i$  = fecha del lance  $i$

$T_m$  = tiempo total de maniobra (expresado en fracción de día)

$DP$  = esfuerzo nominal de pesca expresado en días y asignado a la fecha del lance  $i+1$

Para cada embarcación se estimó la captura de atún aleta amarilla por día de pesca (CPDP) promedio para el periodo 1984-1990.

$$CPDP = \frac{C_{ijk}}{DP_{ijk}}$$

donde:

$i$  =  $i$ -ésima área de un grado

$j$  = j-ésimo mes

$k$  = k-ésimo año

$C$  = captura total de aleta amarilla en el cuadrante  $ijk$

$DP$  = número de días de pesca totales en el cuadrante  $ijk$ .

Las variables de cada embarcación consideradas para la normalización del esfuerzo de pesca fueron: año de construcción, tonelaje bruto, tonelaje neto, eslora, manga, puntal, capacidad de bodega, potencia del motor, porcentaje de ayuda aérea, porcentaje promedio de lances sobre brisa, sobre atún asociado a delfines y sobre atún asociado a objetos flotantes.

La metodología propuesta por Ortega-García y Gómez-Muñoz (1992), plantea la aplicación de la técnica de componentes principales, por lo que una vez establecida la matriz de información, estos fueron calculados mediante un paquete estadístico comercial (Statistical Graphic System, 1991).

Para definir el número de componentes significativos en la explicación de la CPDP, se utilizó la prueba de significación de regresión múltiple para la adición de variables independientes a un modelo (Sokal & Rohlf, 1981:633). El estadístico empleado fue:

$$F_s = \frac{(R_{Y.1..k_2}^2 - R_{Y.1..k_1}^2) / (k_2 - k_1)}{(1 - R_{Y.1..k_2}^2) / (n - k_2 - k_1)}$$

Donde:

$n$  = Número total de datos dentro del componente principal

$k_1$  = Número total de variables independientes antes de la incorporación de nuevo componente ( $k_1 < k_2$ )

$k_2$  = Número total de variables independientes al incorporar otro componente

$R_{y.1..k_1}^2$  = Coeficiente de determinación con  $k_1$  variables

$R_{y.1..k_2}^2$  = Coeficiente de determinación con  $k_2$  variables

$F_s$  = Estadístico de prueba con distribución  $F$  y  $(k_2 - k_1, n - k_2 - k_1)$  grados de libertad

Una vez determinado el modelo y considerando como unidad estándar aquella cuyos valores de componentes principales fueran “cero”; es decir, aquellas con características promedio, se estimó el poder relativo de pesca de cada embarcación.

$$PP = CPUE_k / CPUE_s$$

donde:

PP= poder relativo de pesca

CPUE<sub>k</sub>= captura por unidad de esfuerzo de la k-ésima embarcación

CPUE<sub>s</sub>= captura por unidad de esfuerzo de la unidad standard

La normalización del esfuerzo se obtuvo multiplicando el poder relativo de pesca de cada embarcación por su esfuerzo de pesca nominal (días de pesca).

$$DNP = PP * DP$$

DNP=esfuerzo normalizado expresado en días normales de pesca

PP= poder relativo de pesca

DP=esfuerzo nominal expresado en días de pesca

Se estimó la captura de aleta amarilla, el esfuerzo normalizado, así como la captura por día normal de pesca promedio mensual para cada uno de los cuadrantes de un grado comprendidos en el área de distribución total del recurso.

### b) Variación espacial y temporal de la abundancia relativa

Con la finalidad de comparar los resultados de abundancia relativa obtenidos utilizando esta metodología y la información de la flota mexicana, con los valores de Captura por Día de Pesca (CPDP) promedio anual calculados por la IATTC con la información de todas las flotas que operan en el OPO, se obtuvieron los promedios anuales de abundancia relativa para todo el periodo.

$$CPDNP_k = \frac{\sum C_{ij}}{\sum DNP_{ij}}$$

Donde:

$k$  =  $k$ -ésimo año (1984, 1985..... 1990)

$C_{ij}$  = captura en el  $i$ -ésimo cuadrante en el  $j$ -ésimo mes

$DNP_{ij}$  = días normales de pesca en el  $i$ -ésimo cuadrante en el  $j$ -ésimo mes

Por medio del análisis de un diagrama de frecuencia de los valores de la captura por día normal de pesca (CPDNP) promedio mensual, se determinaron cinco niveles de abundancia para su representación gráfica: 1) cuadrantes en los que se aplicó esfuerzo pero no se obtuvo captura; 2) cuadrantes con menos de 5 toneladas de atún aleta amarilla por día normal de pesca; 3) de 5 a 10 toneladas por día normal de pesca; 4) de 10 a 20 toneladas por día normal de pesca 5) más de 20 toneladas por día normal de pesca.

Los valores de CPDNP se representaron gráficamente en mapas mensuales, para determinar su variación espacial y temporal. Para comprobar la existencia de variaciones estacionales e interanual se aplicaron análisis de variancia.

Para analizar el comportamiento general de la CPDNP en el área de estudio se calcularon las anomalías mensuales, determinando un ciclo promedio anual para toda la serie de datos, con el objetivo de eliminar la estacionalidad y hacer más evidentes las variaciones interanuales. Las series fueron sometidas a un suavizado cúbico de curvas (Anónimo, 1990).

### **c) Isolíneas de abundancia**

Con la finalidad de determinar isolíneas de abundancia mensual que permitieran detectar en promedio las áreas de abundancia más importantes y con la mayor confiabilidad, se elaboró una matriz de información con aquellos cuadrantes en los que la flota había operado en más del 25%, es decir en más de 21 meses; por lo que el área de operación se redujo sustancialmente (figura 2).

Para que cada cuadrante tuviera la serie de los 84 meses y tener la matriz de información completa, se calculó en cada uno de ellos una serie de meses promedio a partir de los cuales se cubrieron los huecos de información.

La determinación de las isolíneas de abundancia se realizó usando un método geoestadístico de interpolación (Cressie N.A.C., 1990), utilizando un paquete comercial (Golden Software, 1995).

## RELACIÓN DE LA CPDNP CON LAS VARIABLES AMBIENTALES

### a) Relación con la temperatura superficial

Con la finalidad de representar en forma visual las variaciones espacio-temporales de la abundancia relativa del atún aleta amarilla y su relación con la temperatura superficial del mar, la base de datos proveniente de la digitalización de isotermas de temperatura superficial fue representada gráficamente; los valores de CPDNP se superpusieron a estas cartas. En estas gráficas el nivel más alto de abundancia considerado fue mayor de 15 toneladas por día normal de pesca, el cual es aproximadamente el promedio obtenido por la flota en este periodo. En el anexo 1 se presenta gráficamente el patrón promedio mensual de estas dos variables durante 1984-1990. Cabe aclarar también que la latitud máxima de estos mapas fue de 30°N, ya que es la que tienen los mapas de temperatura editados por la IATTC.

Por otra parte, con la finalidad de determinar la frecuencia de captura respecto a las temperaturas superficiales presentes en el POT, con la base de datos ambientales se calcularon las anomalías anuales de temperatura superficial por cuadrantes de un grado para toda el área, y la frecuencia relativa en las que se capturó atún aleta amarilla.

$$FR = \frac{FA_{asoc}}{FT}$$

donde:

FR= frecuencia relativa

FA<sub>asoc</sub>= frecuencia de temperatura superficial asociada a las capturas de atún aleta amarilla

FT= frecuencia de temperatura superficial total en el POT.

b) Relación con la temperatura superficial, profundidad de la capa de mezcla, profundidad de la isoterma de 20°, profundidad de la isoterma de 15°, fuerza y velocidad del viento.

### i) Modelo de regresión lineal múltiple

Con el objetivo de explorar el efecto que estas variables ambientales ( $TS$ ,  $Mx$ ,  $T20$ ,  $T15$ ,  $W_1$ ,  $W_2$ ), tienen sobre la CPDNP se aplicó un análisis de regresión lineal múltiple, utilizando un programa estadístico comercial (StatSoft, 1995).

Este análisis se realizó con los datos de CPDNP crudos y transformados [ $Y = (\log(CPDNP + 0.5))$ ] considerando que este proceso podría ayudar a estabilizar la variancia y hacer los datos cercanos a una distribución normal.

Las variables fueron seleccionadas usando un análisis de regresión por pasos (stepwise regression).

## ii) **Modelo Generalizado Aditivo (GAM)**

Debido a que la relación de la CPDNP con las variables ambientales puede ser no lineal, se optó por la aplicación de un modelo generalizado aditivo que permitiera evaluar, en caso de existir, de qué tipo es tal relación.

GAM es una generalización no paramétrica del modelo de regresión múltiple; sin embargo, en un GAM el predictor lineal [ $\alpha + \sum_j X_j \beta$ ] es reemplazado por un predictor aditivo [ $\alpha + \sum_j f_j(X_j)$ ]. En GAM las funciones de suavizado (promedios móviles, suavizadores "kernel", regresiones de cimas, regresión de ranuras (spline), etc.) reemplazan al ajuste de mínimos cuadrados en regresión. A diferencia del modelo de regresión lineal múltiple donde se supone que los valores de  $y$  están normalmente distribuidos, en GAM los datos pueden provenir de cualquier distribución de la familia exponencial (Gaussiana, exponencial negativa, Poisson, Gamma, log-normal y binomial) (Hastie y Tibshirani, 1990; Swartzman *et al.*, 1992).

Tomando en cuenta que los cuadrantes en los que sólo se opera ocasionalmente, podrían sesgar el modelo estructural que permita explicar las variaciones de la CPDNP en términos de las variables ambientales, se decidió aplicar el modelo a la matriz que se utilizó para las isóneas de abundancia; es decir, aquella formada solamente por los cuadrantes en los que se realizaron maniobras de pesca en más del 25% del tiempo analizado.

Para la aplicación se utilizó un modelo de regresión local (local regression) y se consideró una distribución gaussiana. Como una variable más se incluyó el gradiente térmico, determinado como la diferencia entre la profundidad de la isoterma de los 20° y la de los 15°; es decir, entre menor sea la diferencia, el gradiente será mayor y viceversa. Este análisis se llevó a cabo con un paquete estadístico comercial (STATISTICAL SCIENCES, 1994).

## **ZONIFICACION**

De manera general la flota opera al oeste de los 115°W a finales de primavera y durante el verano, por lo que los cuadrantes comprendidos en esta zona, no quedaron

considerados en el análisis de las isolíneas de abundancia. Con la finalidad de no excluir esta área ya que aunque de manera estacional representa una zona importante de capturas, se llevó a cabo un análisis para todo el OPO, pero realizando una zonificación del mismo que, aunque de manera arbitraria, consideró varios aspectos como son: distribución espacial del recurso, áreas de mayor abundancia relativa, corrientes superficiales, áreas de mayor productividad biológica, etc. (figura 3).

Se establecieron cinco zonas:

*ZONA 1: al norte de los 15°N, comprende la zona vestibular del Golfo de California, costa occidental de Baja California, Islas Revillagigedo e Islas Mariás.*

*ZONA 2: Área del Golfo de Tehuantepec*

*ZONA 3. Costas de Centroamérica y Domo de Costa Rica*

*ZONA 4. es un área intermedia al oeste de los 93°W y al este de los 120°W en su parte norte y de los 110°W en su parte sur.*

*ZONA 5. corresponde al área oceánica al oeste de los 120°W entre los 0°-15°N donde la flota se desplaza generalmente durante el verano.*

Cabe hacer notar que el límite sur del área zonificada fue el ecuador, ya que el número de días de pesca que la flota mexicana operó al sur de esta latitud fue mínima y sólo durante 1984.

### **c) Relación con la estructura térmica**

Para cada zona se determinaron los porcentajes de cada uno de los niveles de abundancia relativa utilizados, así como el promedio de la CPDNP, temperatura superficial, profundidad de la capa de mezcla y el gradiente térmico. También para cada una se determinó su perfil térmico promedio hasta una profundidad de 150 m, considerando que generalmente las dimensiones comunes de las redes de pesca se encuentran entre las 80 a 90 brazas y que la profundidad a la que normalmente llegan es menor debido a las corrientes.

Como una variable que considera en su conjunto el valor de la temperatura superficial, la profundidad de la capa de mezcla y el gradiente térmico, se determinó para cada zona el área promedio bajo la curva para cada perfil térmico (figura 4), tomando como límite inferior 80 m de profundidad porque la temperatura a esta



profundidad corresponde aproximadamente al límite de distribución en que se ha reportado el atún aleta amarilla (17°C).

Los modelos que representaran la tendencia de los datos de CPDNP promedio por zona, respecto a la profundidad de la capa de mezcla y al área bajo el perfil térmico, fueron determinados teniendo como base la minimización de los residuales. Estos ajustes se realizaron tanto con los valores promedio por zona como usando los 7,200 cuadrantes, estimando la CPDNP promedio para 12 intervalos con incrementos constantes en el caso de la profundidad de la capa de mezcla y con 66 intervalos con incrementos constantes para el área bajo el perfil térmico.

#### **d) Relación con la productividad primaria**

Para este análisis se tomaron en cuenta dos áreas de surgencias costeras: la del Golfo de Tehuantepec y la costa Occidental de Baja California; en ambas zonas regularmente se presentan altas capturas de atún. Mapas con la distribución de la abundancia relativa del atún aleta amarilla fueron sobrepuestas a imágenes de composiciones mensuales de concentración pigmentaria derivadas del CZCS. Las imágenes fueron transformadas a matrices numéricas con valores agrupados en siete intervalos (de dos en dos décimos de  $\text{mgCl}_a/\text{m}^3$  desde 0 hasta mayor de 1.0). Para el análisis estadístico y con la finalidad de tener todos los meses representados se utilizaron los valores interpolados de concentración pigmentaria (Rumelhart *et al.*, 1985).

Para el área del Golfo de Tehuantepec, parte de los resultados son presentados en Ortega-García y Lluch-Cota (1996), por lo que sólo se utilizarán como referencia para la comparación con la zona de surgencias a lo largo de la costa occidental de Baja California. Para esta última área no se pudieron utilizar las imágenes de satélite debido a que durante la mayor parte del periodo analizado la presencia de nubosidad en toda o parte de ella no permitió que fuera registrada por el sensor del satélite, por lo que para determinar la relación de la concentración de pigmentos de fitoplancton con la abundancia de atún se utilizaron únicamente los valores interpolados de concentración pigmentaria, usando para ello la técnica de correlación cruzada.

## RESULTADOS

### ABUNDANCIA RELATIVA

#### a) Normalización del esfuerzo pesquero

Con la aplicación de la técnica de componentes principales se obtuvo el porcentaje de variancia explicada por cada uno de los componentes y la acumulada (Tabla1). Aunque los primeros cuatro componentes explican el 86% de la variancia total, sólo la contribución de los primeros tres fue significativa, por lo que el modelo se puede expresar de la siguiente forma:

$$\text{CPUE} = 11.1295 + 1.2675 C_1 + 0.2485 C_2 + 1.0952 C_3$$

Considerando al barco estándar como aquél cuyos valores de sus componentes sean cero, el modelo para determinar el poder relativo de pesca es:

$$\text{PP} = 1 + 0.1138 C_1 + 0.0223 C_2 + 0.1711 C_3$$

Los eigenvectores de los tres primeros componentes se presentan en la tabla 2.

Los valores de captura por día de pesca promedio para el periodo 1984-1990, así como el poder relativo de pesca de cada una de las embarcaciones, calculado con el modelo anterior, se presentan en la tabla 3.

El número total de cuadrantes con valores de abundancia relativa promedio mensual para el periodo analizado fue de 7,200.

#### b) Distribución espacial y temporal de la abundancia relativa

Los valores de CPDNP promedio anual obtenidos en este trabajo y la Captura por Día de Pesca calculada por la IATTC ( $r=0.92$ ), se presentan en la figura 5.

La variación estacional e interanual de la CPDNP fue significativa  $F(3,7196)=12.61$ ;  $P<0.000$ ;  $F(6,7193)=6.17$ ;  $P<0.000$ ; ( $\alpha=0.05$ ). Considerando todo el periodo, la abundancia más alta se presentó durante el segundo trimestre, este comportamiento se presentó en todos los años con excepción de 1984 y 1986 en los cuales la abundancia más alta se obtuvo en el cuarto trimestre (tabla 4). En lo que respecta a la abundancia promedio anual, durante 1984 se presentó el valor de CPDNP

más bajo (11.93 t) mientras que el más alto fue en 1986 (18.25 t), el promedio para 1984-1990 fue de 14.73 toneladas por día normal de pesca.

Los mapas de abundancia relativa promedio mensual para el periodo analizado se presentan en la figura 6. Las operaciones de pesca siguen un patrón de distribución bien definido, iniciando durante el primer trimestre al este de los 120°W y a partir de abril la flota presenta un desplazamiento a aguas más oceánicas, llegando en los meses de verano más allá de los 145°W, a partir de septiembre las operaciones vuelven a contraerse y durante noviembre y diciembre el área es muy similar a la presentada en los primeros meses del año. El patrón anual fue similar en los siete años analizados (figura 7). La flota mexicana siempre operó al norte del ecuador a excepción de 1984.

En promedio para todo el periodo analizado (1984-1990), el 45% del total de cuadrantes en el área de operación presentaron valores de abundancia relativa mayores de 20 toneladas por día normal de pesca.

Considerando el promedio de la abundancia relativa para todo el periodo (1984-1990), en el 45% del total de cuadrantes en el área de operación el valor fue de más de 20 toneladas por día normal de pesca.

En la figura 8 se presentan los mapas de distribución de la frecuencia de cuadrantes para los distintos niveles de abundancia relativa para el periodo total.

En la figura 9 se presentan los valores mensuales promedio de la CPDNP durante 1984-1990, siendo en el mes de junio cuando se obtuvo la CPDNP mayor.

Las anomalías de la abundancia relativa promedio mensual para todo el periodo se presentan en la figura 10; anomalías positivas se presentaron durante 1986, 1987 y 1990, en tanto que en años restantes prevalecen las anomalías negativas.

La variación latitudinal de la CPDNP promedio se presenta en la figura 11. No obstante que la abundancia relativa promedio fue mayor entre lo 0° y 5°N, también en este intervalo se presentó la mayor variancia.

### **c) Isolíneas de abundancia**

Las isolíneas de abundancia relativa promedio mensual para el periodo 1984-1990, se presentan en la figura 12; en ellas se pueden apreciar varias áreas de alta abundancia entre las que destacan: la entrada del Golfo de Baja California, Islas Revillagigedo, área este de las Islas Revillagigedo, suroeste de las costas mexicanas e

Islas Marías. La boca del Golfo de California es importante durante el primer trimestre del año y en el mes de octubre; el área alrededor de las Islas Revillagigedo durante marzo, abril, mayo y junio, este de las Islas Revillagigedo durante septiembre y octubre; el suroeste de México principalmente durante junio y julio y las Islas Marías durante febrero, marzo y abril.

## **RELACIÓN DE LA CPDNP CON LAS VARIABLES AMBIENTALES**

### **a) Relación con la temperatura superficial del mar**

En las figuras del anexo I, se presentan mensualmente las isotermas superficiales y las abundancias relativas de atún aleta amarilla.

En la figura 13 se presentan las desviaciones anuales de temperatura superficial para el OPO, con respecto al promedio (1984-1990). Para el periodo analizado los años más cálidos fueron 1986, 1987 y 1990, mientras 1985, 1988 y 1989 fueron los más fríos, coincidiendo con lo observado en las isotermas superficiales que se muestran en el anexo 1. Particularmente durante el año de 1984 se presentaron dos grandes áreas de anomalías positivas dentro del área de distribución del recurso, una ubicada al norte de los 18°N (noroeste de México) y la otra al sur de los 5°S (aguas costeras del Perú).

Los histogramas de la frecuencia relativa anual (temperatura asociada a la captura de atún aleta amarilla/ temperatura del POT) se presentan en la figura 14, mientras que en la figura 15 se muestra una comparación entre la temperatura asociada a la captura de atún aleta amarilla y aquella presente en el OPO para todo el periodo (1984-1990).

**b) Relación con la temperatura superficial, profundidad de la capa de mezcla, profundidad de la isoterma de 20°, profundidad de la isoterma de 15°, fuerza y velocidad del viento.**

#### ***i) Modelo de regresión lineal múltiple***

Los resultados del análisis de regresión lineal múltiple se presentan en la tabla 5. El modelo fue significativo ( $P < 0.00005$ ,  $F = 21.54$ , d.f. = 7, 7200); sin embargo, explica sólo una pequeña proporción de la variancia de la información ( $r^2 = 0.020$ ). De las

variables consideradas en el análisis la profundidad de las isotermas de 20°C y 15°C, así como la fuerza del viento tienen una relación significativa con la captura por día normal de pesca ( $\alpha=0.05$ ). Aplicando el modelo de regresión lineal múltiple con los datos transformados, las variables significativas fueron en orden de importancia: la temperatura superficial, la profundidad de la capa de mezcla, la fuerza del viento y la profundidad de las isotermas de 20°C y 15°C (tabla 5). Sin embargo, aunque se tuvo un ligero incremento en la proporción de la variancia explicada por el modelo ( $r^2=0.05$ ) resulta un valor muy bajo.

### **ii) Modelo Generalizado Aditivo**

Los valores de significancia obtenidos en cada una de las variables consideradas en el análisis se presentan en la tabla 6, en la cual se puede observar que considerando un  $\alpha=0.05$ , la profundidad de isoterma de 20°, la temperatura superficial, la profundidad de la isoterma de 15° y el gradiente son significativas, en tanto que la profundidad de la capa de mezcla lo es para un  $\alpha=0.1$ .

## **ANÁLISIS POR ZONAS**

En la tabla 7 se presenta el porcentaje de cada uno de los niveles de abundancia relativa. La zona 1 presentó el mayor porcentaje de cuadrantes en los que se aplicó esfuerzo pero no se obtuvo captura, mientras que el porcentaje más alto de cuadrantes con abundancias relativas mayores a las 20 toneladas se tuvo en la zona V, en el cual también se obtuvo la mayor CPDNP promedio. La diferencia en los valores de CPDNP entre zonas fue significativa  $F(4,7196)=30.72; P<0.000$ .

### **c) Relación con la estructura térmica**

La estructura térmica vertical promedio por zona se presenta en la figura 16. En ella se puede apreciar que en la zona I el perfil térmico encontrado fue el más frío, con una temperatura superficial promedio de 24°C, presentando además el valor de gradiente más bajo. Las otras zonas presentaron una temperatura superficial promedio por arriba de los 27°C, la diferencia más notable entre ellos fue el valor de la profundidad de la capa de mezcla, la cual fue mayor en la zona V (40 m) (Tabla 8).

En la relación entre CPDNP y la profundidad de la capa de mezcla por zonas, el mejor ajuste lo presentó un modelo lineal ( $r=0.9$ )(figura17); mientras que con la totalidad de los cuadrantes fue mejor un modelo exponencial modificado ( $r=0.96$ ) (figura 18).

Respecto a la relación entre la CPDNP y el área bajo la curva en los perfiles térmicos por zonas, el mejor ajuste fue lineal ( $r=0.77$ ) (figura 19), en tanto que con la totalidad de cuadrantes, el modelo que presentó mejor ajuste fue el cuadrático ( $r=0.81$ ) (figura 20).

#### **d) Relación con la productividad primaria**

Para el área del Golfo de Tehuantepec, en la figura 21 se muestran las series mensuales de CPDNP y de concentración pigmentaria; durante la estación de invierno se presentan los mayores valores de concentración pigmentaria, mientras los valores de máxima abundancia de atún aleta amarilla se obtuvieron a finales de primavera y durante el verano. En el análisis de correlación cruzada, se obtuvo el valor más alto y significativo ( $r=0.64$ ) con un desfase de 4 meses. La figura 22 muestra las imágenes de satélite sobrepuestas con los niveles de abundancia de atún, para los meses en los cuales se obtuvo una mejor cobertura del sensor del satélite. Aunque desafortunadamente no se pudieron tener las imágenes para un ciclo anual completo por problemas de nubosidad, se puede observar que durante los meses de surgencia se presentan capturas esporádicas cerca de la zona de mayor concentración pigmentaria (principalmente en áreas de frentes), mientras que una alta abundancia al oeste de ésta se presenta durante el verano (agosto 1985).

Para el área de la costa occidental de Baja California las series de concentración pigmentaria y de CPDNP se presentan en la figura 23; el mayor valor de correlación ( $r=0.74$ ) se obtuvo con un desfase de 3 meses.

## **DISCUSIÓN**

### **1.0 ABUNDANCIA RELATIVA**

#### **1.1 EL USO DE LA CAPTURA POR UNIDAD DE ESFUERZO COMO INDICE DE ABUNDANCIA**

La pesquería de atún en el Pacífico Oriental Tropical cubre una gran extensión, desde los 30°N a los 20°S y al oeste hasta los 147°W, participando en ella barcos con muy diferentes dimensiones, usando distintas estrategias de pesca. Es además un área de gran variabilidad ambiental espacio-temporal, en la que las cambiantes condiciones ambientales pueden determinar los movimientos de un recurso que se desplaza con gran dinamismo. En este marco, conocer la distribución de la población, su abundancia y disponibilidad es sólo posible utilizando medidas indirectas, derivadas de la propia actividad de la flota pesquera, que se asume son proporcionales a las características del recurso.

En este sentido, en el presente trabajo se supone que el éxito de pesca, expresado en la forma de captura por unidad de esfuerzo, es un valor proporcional a la abundancia relativa del recurso. Esta premisa global se basa en dos suposiciones menores que requieren ser formalizadas: primero, se asume que la captura por unidad de esfuerzo es proporcional a la abundancia de los organismos capturados en esa área-tiempo; segundo, que la capacidad de la flota para detectar las concentraciones de atún resulta en que efectivamente las operaciones de pesca se enfocan a las áreas de alta abundancia, de tal manera que no hay abundancias importantes en otras áreas no cubiertas por la flota.

Evidentemente, hay una serie de factores que podrían distorsionar este esquema: la capturabilidad del recurso dentro de las áreas de pesca puede verse afectada por un incremento en la eficiencia operativa de los barcos ya sea por la experiencia de los pescadores (la cual además es una variable difícil de medir en forma cuantitativa), o por alguna mejora en las embarcaciones tendiendo a incrementar el éxito de pesca. Debido a que la flota mexicana se inició en la pesquería de atún con cerco en la década de los 1960's y a partir de 1980 en el uso de cerqueros de más de 1000 toneladas de capacidad de acarreo, se considera que tanto los técnicos de pesca (que son los que tienen la mayor responsabilidad de un lance de pesca exitoso) como los pescadores, tenían experiencia en la manera de pescar, por lo que no se estimó que la variación de este factor fuera significativa en el cálculo de la abundancia relativa.

Por otra parte, si bien durante 1988 fue introducido un nuevo radar para detectar aves frecuentemente asociadas a los atunes, su posible influencia en el éxito de pesca no fue considerada, por no contar con la información detallada de que barco contaba con el equipo. En el presente análisis una ligera sobreestimación podría esperarse si tomamos en cuenta que un alto porcentaje de las embarcaciones que integran la flota atunera mexicana tienen una capacidad de acarreo mayor de las 1000 toneladas, las cuales son más eficientes operativamente (Ortega-García, 1989), por lo que su poder relativo de pesca es mayor que el de la flota total tomada en su conjunto.

La colaboración entre barcos, cuando pertenecen a la misma compañía, puede ser un factor cuyo efecto se podría también traducir en una sobreestimación de los valores de CPDNP. En este análisis se considera que este efecto es constante y que no influye significativamente en el cálculo de la abundancia relativa.

Cabe hacer mención que el área de pesca que tendría un mayor sesgo en las estimaciones de abundancia obtenidas en el presente estudio es la que comprende latitudes por abajo del ecuador, debido a la falta de esfuerzo por la flota atunera mexicana, mientras que es un área comúnmente visitada por la flota internacional, particularmente a partir de 1988 con el incremento de capturas de patudo (*Thunnus obesus*) en esta zona.

Por lo anterior, si bien el uso de este índice pudiera proporcionar estimaciones sesgadas de la abundancia del recurso, la relativa facilidad de obtener la información, el poco costo, así como el hecho de que la extensión del área de distribución del recurso es una fuerte limitante para la aplicación de otras metodologías, hacen que ésta sea una de las más aplicadas en la evaluación de los recursos marinos y en particular en esta pesquería.

La IATTC ha empleado por más de 40 años índices de captura para calcular la abundancia de la población de atún aleta amarilla en el OPO, utilizando varias técnicas de normalización del esfuerzo pesquero. En los últimos años consideran exclusivamente el esfuerzo estimado a partir de la división de la captura total de aleta amarilla entre la captura por día de pesca de los cerqueros mayores de 400 toneladas cortas de capacidad, además de realizar otras estimaciones a través del uso de análisis de cohortes, y mediante la aplicación de un modelo lineal generalizado utilizando como unidad de esfuerzo el tiempo de búsqueda. Los resultados obtenidos en este trabajo son consistentes con las estimaciones de CPDP realizadas por la IATTC para la flota internacional y las tendencias son similares también a las estimaciones obtenidas con los otros modelos. Con excepción de 1985 (cuyo valor fue un poco menor que el calculado para la flota internacional) los resultados aquí obtenidos fueron ligeramente mayores a los de captura por día de pesca promedio anual que presenta la IATTC para este periodo; sin embargo, estas diferencias no fueron significativas. Las implicaciones



y diferencias de la aplicación de la técnica de componentes principales son discutidas por Ortega-García y Gómez-Muñoz (1992).

## **1.2 DISTRIBUCIÓN MENSUAL Y ANUAL DE LA ABUNDANCIA RELATIVA**

Si se supone, como normalmente se hace, que la flota tiene la capacidad para detectar y rastrear al recurso, se puede asumir que el patrón espacio-temporal de la distribución del esfuerzo de pesca sería muy similar al de la abundancia; es decir, aquel en el cual el recurso esté disponible y vulnerable al arte de pesca. En este trabajo se consideraron todos los cuadrantes de pesca, inclusive aquellos en los que hubo esfuerzo pero no captura (generalmente atribuible al escape del cardúmen o a una avería de la red), por lo que la distribución de la abundancia relativa es, un reflejo de la distribución del esfuerzo y los resultados permiten suponer que ambas son muy similares.

La diferencia entre los valores de abundancia promedio por estaciones de año fue significativa, sin embargo de acuerdo a la prueba de Tukey ésta estuvo dada principalmente por el valor del segundo trimestre, en el cual la abundancia aumentó significativamente. Durante el primer trimestre del año promedio, el recurso se encuentra en el área vestibular del Golfo de California y a lo largo de la costa pacífica mexicana (al este de los 120°W); áreas en las que su abundancia se mantiene casi constante a lo largo del año. En el segundo trimestre las áreas de abundancia se extienden hacia el norte a lo largo de la costa occidental de Baja California y hacia las Islas Revillagigedo; también se expanden al oeste hasta los 140°W a lo largo de los 10°N. Durante el tercer trimestre alcanza su máxima latitud norte (33°N) y su máxima longitud oeste (147°W) y a finales de este periodo el recurso vuelve a retraerse hacia la costa, cubriendo durante el cuarto trimestre un área similar a la del primero.

No obstante que dentro de toda el área de distribución se encontraron cuadrantes de alta abundancia relativa dispersos a lo largo del año, en general éstos fueron predominantes en el área vestibular del Golfo de California, sur de México y en el área oceánica (al oeste de los 120°W y entre los 5°-15°N). Es en estas zonas donde tanto la flota mexicana como la internacional han aplicado tradicionalmente una gran cantidad de esfuerzo pesquero y que han sido reportadas como de altas capturas y abundancia de atún aleta amarilla (Orange y Calkins, 1981; Gómez y Quiñonez, 1987; Ortega-García, 1989). Estas zonas también quedaron de manifiesto en los mapas de distribución de frecuencias promedio de los niveles de abundancia, donde se puede apreciar que la frecuencia de cuadrantes con más de 20 toneladas por día normal de pesca fue más alta en estas áreas.

A pesar de que el análisis de variancia mostró diferencia significativa en los valores de abundancia relativa promedio anual, la distribución espacio-temporal del recurso fue similar a lo largo de los 7 años analizados, con excepción del área al sur del ecuador que aunque es importante para la flota internacional, la flota mexicana sólo opera en ella ocasionalmente, como sucedió en enero y febrero de 1984. Las zonas de mayor concentración del recurso se mantienen todos los años, y particularmente durante 1986, 1987 y 1990 en aproximadamente el 60% del área predominaron los cuadrantes con más de 10 toneladas por día normal de pesca. La mayor abundancia del recurso en estos años también se puede observar en los resultados obtenidos en el análisis de las anomalías de captura por día normal de pesca promedio anual para toda el área, ya que en estos años se presentaron anomalías de abundancia positivas.

Los valores de CPDNP promedio mensual para toda la zona de distribución del recurso fueron diferentes año con año, aunque en promedio el valor mínimo se presentó en enero y el máximo en junio. Estos resultados son coherentes con los valores de las isolíneas de abundancia, los cuales fueron altos a lo largo de la costa pacífica mexicana durante el mes de junio y con el hecho de que durante el segundo trimestre se presenta la mayor abundancia del recurso, este comportamiento también se ha observado en la abundancia relativa de barrilete, la cuál presenta un máximo durante el segundo trimestre del año (Trigueros-Salmerón y Ortega-García, 1998).

## **2.0 FACTORES DEL MEDIO QUE DEFINEN LA ABUNDANCIA DEL RECURSO**

El patrón estacional de la abundancia relativa del atún aleta amarilla, incluyendo las áreas en las que presentó sus máximos valores coinciden en gran medida con la presencia y desarrollo de algunas de las principales corrientes superficiales que se desarrollan en el POT, con la distribución de las isoterms superficiales, y con la presencia de procesos que permiten la concentración y abundancia de alimento. Esto podría ser la causa de que este patrón sea similar estacional e interanualmente y que la influencia ambiental que afecte el patrón de corrientes y a través de ellos los frentes, remolinos, surgencias, etc. y eventos tales como el ENSO (EL Niño/ Oscilación del Sur) modifiquen la distribución y abundancia del recurso.

### **2.1 VARIACIONES EN EL CICLO ANUAL**

De acuerdo a los resultados las tres grandes áreas con abundancias más importantes son: A) Noroeste de México, B) Sur de México y C) Area Oceánica para las

cuales las posibles causas de concentración o ausencia del recurso se discuten a continuación.

### A) NOROESTE DE MÉXICO

Durante el primer trimestre del año, cuando la Corriente de California se desplaza a lo largo de la costa occidental de la Península de Baja California (Bakun y Nelson, 1977; Fiedler, 1992), el recurso se concentra principalmente en la zona vestibular del Golfo de California. Aunque en general está presente en esta área durante todo el año, es de enero a abril, junio y octubre cuando se registran altos niveles de abundancia. Esta área ha sido caracterizada como de alta producción primaria debido a procesos físicos de mezcla que continuamente fertilizan con nutrientes la zona eufótica, tales como las surgencias que ocurren en la costa de la península durante el verano y en la costas de Sonora y Sinaloa durante el invierno, así como la presencia de remolinos durante invierno que pueden desplazar las aguas enriquecidas por las surgencias desde el continente a la península. Además, la formación de frentes bajo ciertas condiciones climático-oceanográficas (Molina-Cruz, 1988; Santamaría-del-Angel *et al.*, 1994), hace que ésta sea una zona de alta concentración de alimento. Estas condiciones de alta productividad explicarían en gran medida la concentración del recurso a lo largo del año, incluyendo el hecho de que es una zona de reproducción del atún aleta amarilla (González-Ramírez, 1989).

El recurso se desplaza hacia el sur de la costa occidental de Baja California e Islas Revillagigedo cuando la temperatura superficial es igual o mayor de 18°C, lo cual comúnmente sucede durante el mes de abril. Este comportamiento coincide con lo reportado para la flota internacional de que es durante marzo a mayo con un pico en abril cuando se aplica un mayor esfuerzo en el sur de la Península e Islas Revillagigedo (Arenas *et al.*, 1992b) y con lo registrado por Blackburn (1969) en el sentido de que los atunes aparecen en la costa occidental a finales de primavera y se extienden hacia el norte durante el verano.

La alta abundancia del recurso en Islas Revillagigedo coincide con la presencia de altas concentraciones de micronecton registradas durante abril-junio por Blackburn (1968); al parecer la presencia de islas puede generar corrientes semi permanentes (remolinos) que provocan la concentración de plancton (Uda e Ishino, 1958; Roden y Taft, 1985).

Conforme la temperatura se va incrementando y la influencia de la Corriente de California se debilita, la abundancia del atún aleta amarilla se distribuye a lo largo de la costa occidental de Baja California, alcanzando durante verano sus máximas latitudes. Este desplazamiento coincide con los meses en los cuales se ha reportado la presencia de gran cantidad de langostilla (*Pleuroncodes planipes*) (Blackburn, 1969; Auriol-

Gamboa, 1995), la cual es su principal alimento en esta área (Galván-Magaña, 1988). La presencia de langostilla está asociada a los procesos de surgencia que se presentan a lo largo de la costa de marzo a junio, desde los 20°N a los 30°N (Bakun y Nelson, 1977).

La biomasa fitoplanctónica se incorpora al micronecton (alimento del atún) con un cierto retraso existiendo la posibilidad de que durante este tiempo la biota involucrada sea transportada lejos del sitio de surgencia. De acuerdo con Blackburn (1969), la cadena alimenticia del atún aleta amarilla en la costa occidental de Baja California es la más corta en el OPO, debido a que la langostilla es un herbívoro facultativo y principal especie del micronecton. Así, aunque se ha considerado que la langostilla tiene hábitos alimenticios generalistas, su principal alimento es el fitoplancton (Longhurst, 1966, 1969); lo que proporciona a los atunes una cadena alimenticia más eficiente que en otras áreas. Si se toma en cuenta que durante invierno y primavera la langostilla ocupa todos los estratos de profundidad (0-200 m) mientras que en junio y julio se empieza a mover a aguas más profundas y en septiembre-octubre abandona completamente los estratos de profundidad de entre 0-100 m (Aurioles-Gamboa, 1995), este organismo está disponible al atún durante primavera y parte del verano.

Lo anterior es acorde con los resultados obtenidos en el análisis de la información de concentración pigmentaria proveniente de las imágenes de satélite, ya que la correlación más alta entre la mayor concentración de fitoplancton (primavera) y la abundancia del atún aleta amarilla se dió con un retraso de 3 meses; es decir, en invierno y primavera aunque la langostilla esté disponible, las bajas temperaturas limitan la presencia de atún en el área. Aunque no fue posible obtener buenas imágenes de satélite de esta área por la presencia de nubosidad, en la distribución de la abundancia relativa se observó que las operaciones de pesca fueron muy cercanas a las áreas de surgencias cuando éstas ya habían perdido intensidad; es decir, a finales de primavera y durante el verano. Esto confirmaría lo mencionado por Aurioles-Gamboa (1995), acerca de la presencia de langostilla en las capas superficiales durante esta época, ya que sólo de esta manera puede ser alimento del atún.

En ésta área, específicamente en Punta Eugenia, B.C.S. se registró durante primavera la presencia de atún aleta amarilla con la temperatura superficial mínima registrada (17°C). Esto corrobora el hecho de que si bien los límites de distribución en la mayor parte de las especies de atún pueden definirse por la temperatura (Blackburn, 1965; Nakamura 1969), la presencia del atún aleta amarilla en temperaturas relativamente frías está en función de la presencia de alimento en el área y quizás como mencionó Blackburn (1969), esto sea más evidente cuando existe escasez de alimento en las aguas más cálidas.

No obstante que la zona vestibular del Golfo de California es un área de alta abundancia del recurso, en promedio el noroeste de México presentó el valor de CPDNP más baja, además de tener el mayor porcentaje de cuadrantes de pesca no exitosa (16%), coincidiendo con el hecho de que en esta área el tipo de pesca predominante es sobre brisa y que sobre este tipo de pesca se presenta el mayor porcentaje de lances no exitosos (Ortega-García y Quiñonez-Velázquez, 1987; Arenas, *et al.*, 1992a; Bautista-Cortés, 1997). Aunque se ha reconocido que en este tipo de lances cuando son exitosos se obtienen las mayores capturas, se ha sugerido que las variaciones en el éxito de pesca, pudieran ser el reflejo de diferentes estrategias de agrupación del atún para un mejor aprovechamiento del alimento disponible (Arenas *et al.*, 1992b; Bautista-Cortés, 1997).

## B) SUR DE MEXICO

El atún aleta amarilla se encuentra durante todo el año a lo largo de la costa pacífica mexicana al este de los 120°W. Específicamente, el sur de México (que corresponde a la zona 2) presentó a lo largo del periodo analizado cuadrantes de alta abundancia relativa (47%); esta área ha sido reportada en estudios anteriores como una zona con gran intensidad de esfuerzo pesquero, capturas y abundancia altas (Castro y Quiñonez, 1987; Ortega-García, 1989; Orange y Calkins, 1981); como la principal área de desove de atún aleta amarilla durante octubre a noviembre (González, 1989) y de alta concentración de larvas durante el segundo trimestre (Suzuki *et al.*, 1978); y probablemente de acuerdo a Arenas *et al.*, (1992b) sea la principal área donde se obtienen las mas altas capturas sobre cardúmenes libres y asociados a objetos flotantes.

En esta área se localiza el Golfo de Tehuantepec que es uno de los sistemas principales de surgencia por embalse orográfico, con vientos intensos producidos por el gradiente de presión atmosférica que se establece entre la zona del Golfo de México y Centroamérica, (Clarke, 1988; Legeckis, 1988; McCreary *et al.*, 1989). Las surgencias se presentan durante el invierno y determinan la alta concentración de pigmentos en esta área (Fiedler, 1994).

Los resultados mostraron que existe un retraso de 4 meses entre la mayor concentración de fitoplancton (febrero) y la mayor abundancia de atún (junio), este tiempo pudiera explicarse como el necesario para se lleve a cabo la cadena alimenticia y el fitoplancton pase a ser alimento del atún (micronecton). Asumiendo que el año de 1985 es representativo del comportamiento de la concentración pigmentaria y de la distribución de la abundancia del recurso (por ser el más completo tanto en imágenes como en registros de capturas) se puede observar, además del desfase en tiempo, un ligero desplazamiento de los cuadrantes de alta abundancia hacia el oeste,

principalmente durante el mes de agosto. Esto implica movimiento de los organismos involucrados en la cadena alimenticia. Estos resultados son similares a los reportados por Blackburn (1963,1968) para esta área mediante resultados obtenidos por cruceros oceanográficos, él encuentra un retraso de 3 meses entre la acción del viento y la abundancia de micronecton, así como con lo reportado por Fiedler (1992) y Lluch-Cota(1995) a partir de productos derivados de imágenes de satélite, en que el máximo de fitoplancton se presenta durante el invierno.

En esta zona las temperaturas son predominantemente altas ( $>27^{\circ}\text{C}$ ) con excepción de la época de surgencias en las que disminuyen a  $23^{\circ}$ -  $24^{\circ}\text{C}$ . Sin embargo fuera del área de surgencia, a largo del frente térmico, las temperaturas se mantienen altas a lo largo del año. Las concentraciones de organismos planctónicos pueden proveer condiciones favorables para las larvas de atún, que demandan gran cantidad de alimento para crecer de manera rápida (Bakun, 1996). Los factores que determinan que el noroeste de esta área sea una zona importante de reproducción durante los meses de abril y noviembre (González y Ramírez, 1989) pudieran ser las temperaturas adecuadas, combinadas con procesos de surgencia que mantienen altos niveles de producción primaria. Adicionalmente, hay que considerar que las condiciones propicias para la reproducción se presentan al término e inicio de la surgencia, cuando los vientos no son demasiado fuertes, ya que de serlo pueden provocar turbulencia intensa, considerada como un proceso dispersivo que tiende a actuar en contra de los procesos de concentración y en detrimento de la supervivencia larval (Bakun,1996). De acuerdo con Lasker (1981), la estabilidad de las capas superiores del océano es esencial para la agregación de las larvas, un primer requisito para la sobrevivencia larval y así una clase anual exitosa. Mezcla turbulenta ocurre a velocidades del viento mayores de  $10\text{ ms}^{-1}$ , y un índice de calma abarca cuatro días consecutivos con una velocidad del viento menos de  $10\text{ m s}^{-2}$ , conocido ahora como evento Lasker (Cushing, 1995). Cury y Roy (1989) establecen que en este tipo de surgencias la relación entre la variabilidad del reclutamiento y la magnitud de las surgencias son de tipo parabólico es decir, del lado izquierdo de la curva la mezcla es débil y el factor limitante es la producción de alimento debido a la baja intensidad de las surgencias; del lado derecho de la curva las surgencias son fuertes y la turbulencia es por lo tanto el factor limitante. Esta hipótesis es conocida como "VENTANA AMBIENTAL OPTIMA".

La importancia de esta área en la abundancia del recurso fue evidente en la variación promedio latitudinal, ya que de los  $10^{\circ}$  a los  $20^{\circ}\text{N}$  se obtuvieron los valores de CPDNP promedio más altos.

### C) ÁREA OCEÁNICA

La distribución de la abundancia relativa del recurso durante el verano es muy similar a la que comprende la masa de agua tropical superficial y su presencia coincide con ésta cuando presenta sus temperaturas más cálidas de mayo a agosto (Fiedler *et al.*, 1992). La concentración del recurso en el área oceánica (de los 120°-145° W a lo largo de los 10°N) se lleva a cabo generalmente de abril a octubre, aunque es mas alejada de la costa (>130°W) de junio a septiembre, coincidiendo cuando la Zona de Convergencia Intertropical se encuentra en su posición más norteña (Threnbert, 1991) y la CCE esta bien desarrollada.

Los factores posibles para que en esta zona el recurso sea mas abundante puede estar relacionado con la presencia de procesos oceanográficos que derivan en una alta productividad de esta área.

Con respecto a estos factores se puede mencionar lo siguiente: en el hemisferio norte la termoclina es más somera a la izquierda del flujo de una corriente y más profunda a la derecha (Fiedler *et al.*, 1992); en la contracorriente ecuatorial esta característica se manifiesta por una elevación de la termoclina aproximadamente a lo largo de los 10°N, entre los 115°-140° W, siendo máxima de septiembre a noviembre (Fiedler, 1992). De esta manera, se genera una importante divergencia a lo largo de los 10°N. No obstante que las temperaturas cálidas y la baja concentración de nutrientes (en comparación con la divergencia ecuatorial) sugieren que los efectos de surgencia no alcanzan la superficie (Sverdrup *et al.*, 1942; Cromwell, 1953; Fiedler, 1992), la productividad biológica de esta área pudiera ser suficiente para que el recurso sea abundante ya que tanto en la distribución de la abundancia promedio mensual como en la anual, se tuvo la presencia de un gran número de cuadrantes con valores altos de abundancia. En el análisis por zonas esta área corresponde a la zona 5, en el cual se tuvo el porcentaje más bajo de pesca no exitosa (2.5%) y en el 58% de los cuadrantes se tuvieron capturas por arriba de 10 toneladas por día normal de pesca, siendo en promedio la zona que presentó el valor de CPDNP promedio mas alto.

Una productividad biológica alta sería posible en áreas en que la capa de mezcla sea comparativamente somera, ya que al soplar el viento sobre ellas la termoclina podría invadir, por efecto de mezcla vertical, la capa de agua rica en nutrientes, aun cuando no se evidencie en superficie (Blackburn, 1962). De hecho, Fiedler *et al.*, (1992) mencionaron que las concentraciones de nitratos en la zona eufótica media son relativamente altas a lo largo de los 10°N y que los valores de clorofila "a" son similares a los que se presentan en el ecuador.

Blackburn y Laurs (1972), señalan que, aunque en concentraciones menores que en las surgencias ecuatoriales, esta área representa una zona de alimentación

para el barrilete, lo que coincide con los resultados del presente trabajo en cuanto a atún aleta amarilla.

Por otra parte, la mayor profundidad de la termoclina a la derecha del flujo de la contracorriente, combinada con la dirección anticiclónica del viento, da origen a una zona de convergencia (Fiedler *et al.*, 1992), que se manifiesta entre los 8°-5°N aproximadamente. En los frentes de convergencia se concentran algas y objetos flotantes; la combinación de procesos de enriquecimiento y concentración proveen áreas de alimentación particularmente importantes (Bakun, 1996; Caddy y Majkowski, 1992). En estas condiciones, los atunes pudieran tender a asociarse con los objetos flotantes, lo que podría explicar parte de la concentración del recurso en esta área. Estudios recientes han mostrado la presencia de lances sobre objetos flotantes en esta área, aunque en su mayoría éstos estuvieron presentes al norte de los 8°N (Bautista-Cortés, 1997; Zárate-Villafranco, 1998).

Las condiciones ambientales en el área oceánica son favorables a la pesca durante verano-otoño, cuando la fuerza del viento es baja debido a la presencia de la zona de convergencia intertropical que se caracteriza por ser un área de vientos ligeros, este hecho coincide con temperaturas elevadas y concentraciones de nutrientes, que de acuerdo con los resultados obtenidos se reflejan en una alta abundancia relativa del atún aleta amarilla, en tanto que en los otros meses cuando la ZCIT se localiza al sur de los 10°N los vientos alisios del noroeste son fuertes lo cual, además de dificultar las operaciones de pesca, provoca un mar agitado que hace difícil la visibilidad de los cardúmenes (Evans *et al.*, 1981; Wyrski, 1974; Arenas *et al.*, 1992a; Fiedler, 1992).

Por otra parte, la alta abundancia del recurso en esta área quedó de manifiesto en el valor bajo del porcentaje de cuadrantes en el que se realizó esfuerzo sin captura (2.5%), coincidiendo con el hecho de que en esta zona el tipo de pesca predominante es sobre cardúmenes asociados a delfines (Punsly, 1983; Arenas *et al.*, 1992a; Bautista-Cortés, 1997) y que entre el 85% y el 95% de los lances de este tipo son exitosos (Arenas *et al.*, 1992a).

El límite sur de la distribución del atún fue generalmente los 4°N, la presencia del atún a lo largo de esta latitud se puede explicar por una importante línea de divergencia ecuatorial, fuerte cerca de la costa y más débil hacia el oeste. Este frente se extiende a lo largo del ecuador, entre la costa y las Islas Galápagos; al oeste de los 100°W corre paralelo entre los 2°N y 4°N (Arenas *et al.*, 1992a). En comparación con el esfuerzo de pesca que aplica la flota internacional al este de los 100°W el de la flota mexicana es mínimo, en tanto que al oeste de esta longitud la presencia de este frente corresponde al límite sur del área de pesca durante el verano.



Se ha sugerido que esta lengua de agua fría es mantenida por la surgencia ecuatorial y la advección desde la Corriente del Perú, a través de la Corriente Ecuatorial del Sur (Wyrski, 1981); o bien por la advección hacia el este de agua fría generada por la Corriente de Cromwell que se eleva a la superficie cerca de los 95°W (Bryden y Brady, 1985). Estos fenómenos oceanográficos generan una alta productividad biológica (Blackburn y Laurs, 1972; Chavez y Barber, 1987; Fiedler *et al.*, 1991; Barber y Chavez, 1991). De acuerdo con Bakun (1996) uno de los tres procesos principales que producen un hábitat reproductivo es el de *concentración* (convergencia, formación frontal, estabilidad de la columna de agua) siendo los frentes oceánicos un ejemplo de esto. La falta de esfuerzo a lo largo de esta zona ha sido explicado por el hecho de que la corriente de Cromwell (corriente subsuperficial) puede dificultar el despliegue del arte de pesca (Seckel, 1985).

## 2.2 DESVIACIONES DEL CICLO ANUAL

El ciclo anual de movimientos del atún descrito en los párrafos precedentes se ha definido sobre la base de pocos años (1984-1990), por lo que difícilmente puede considerarse definitivo. No obstante, la variación interanual debe forzosamente referirse a algún patrón promedio para que pueda ser evidente.

El única área que presenta desviaciones importantes respecto del patrón anual es al sur del ecuador. Aunque el atún se presentó sólo durante los meses de enero y febrero de 1984, no es posible afirmar que sólo haya estado presente durante estos meses, debido al sesgo mencionado anteriormente; en especial, de acuerdo a los resultados que se han obtenido al analizar la operación de la flota internacional, el recurso estuvo presente en esta zona durante todo el periodo de estudio. No obstante, los resultados de este trabajo coinciden con capturas ligeramente mayores obtenidas por la flota internacional durante 1984 en esta área (IATTC, 1985). Tomando en cuenta el incremento en la precipitación durante los eventos ENSO en esta área y que durante el primer trimestre de 1984 las condiciones ambientales se estaban restableciendo después de la presencia del ENSO 1982-1983, podríamos esperar que el número de objetos flotantes se incrementara generando una mayor captura de atún; esta situación al parecer se presentó, ya que la mayoría de los lances que se realizaron en la zona fueron sobre objetos flotantes. Además, la pesca en ésta área pudiera ser todavía consecuencia de la disminución en la vulnerabilidad del recurso al arte de pesca, que se presentó durante los dos años antecedentes en las áreas tradicionalmente explotadas (IATTC, 1992), que obligó a la flota mexicana a desplazarse a otras en busca del recurso.

Coincidentemente con lo anterior, durante el evento ENSO 1992-1993, capturas en aguas al sur del ecuador fueron reportadas durante el cuarto trimestre de 1992 y

primero de 1993 (Beltrán-Pimienta *et al.*, 1994; Bautista-Cortés, 1997), al mismo tiempo que las capturas en el área oceánica disminuyeron considerablemente (IATTC, 1994).

La abundancia más alta de atún se presentó durante 1986, coincidiendo con el máximo registrado en el OPO por la CIAT, este hecho ha sido explicado por: 1) un aumento en el reclutamiento; 2) una reducción del esfuerzo en las zonas de mayor abundancia de aleta amarilla chico y 3) el mayor tamaño de aleta amarilla capturado que produjo un rendimiento por recluta más elevado. La CIAT considera que el reclutamiento del recurso de 1983 a 1985 fue de valores normales en tanto que de 1986 a 1992 estuvo por arriba del promedio. Aparentemente el aumento de la biomasa durante 1983, fue debido principalmente a la disminución de la mortalidad por pesca que se presentó durante el evento ENSO 1982-1983 como consecuencia de la reducción en la vulnerabilidad del recurso a las artes de pesca, ya que al aumentar la profundidad de la termoclina el atún se encuentra a una profundidad inaccesible a las artes de pesca o puede escapar por abajo de ellas, ésto inclusive ocasionó el traslado del esfuerzo de pesca del Pacífico oriental al occidental (IATTC, 1985, 1984, 1992).

La variabilidad interanual en el Océano Pacífico Tropical es dominada en gran parte por el ENSO. Cuando este evento se presenta asciende el nivel medio del mar, se profundiza la termoclina, las temperaturas en la capa superficial son anómalamente cálidas, cambian los vientos de superficie y se alteran las posiciones y la fuerza de las corrientes (IATTC, 1985), por lo que es de esperarse un efecto importante en la distribución y vulnerabilidad de los atunes en cuanto a su captura por las embarcaciones cerqueras. Durante el periodo analizado se observó la presencia de un evento ENSO 1986-1987, que fue menos intenso en términos de las anomalías de temperatura superficial que el evento de 1982-1983, aunque de mayor duración, ya que el primero duró 18 meses y este último 12 meses (Fiedler *et al.*, 1992). El efecto que el ENSO (1986-1987) tuvo sobre la presencia de surgencias a lo largo del ecuador al este de las Islas Galápagos se hizo evidente en la distribución de las isothermas mensuales, ya que las temperaturas frías que se presentan normalmente en ésta área de agosto a noviembre se vieron considerablemente disminuidas.

Diversos estudios han demostrado que el ENSO de 1982-1983 tuvo efecto sobre la disponibilidad y distribución del recurso, patente en una marcada disminución de los valores de CPUE (IATTC, 1982, 1983, 1984, 1990). Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que los cambios ambientales generados durante el evento ENSO 1986-1987 no afectaron los valores de abundancia relativa, lo cual es acorde con lo mencionado por la IATTC (1995) en el sentido de que su efecto fue casi nulo por arriba de los 5°N. Esto también se pudo comprobar con los resultados de abundancia relativa promedio anual obtenidos, ya que durante estos años, al igual que en 1990, se presentaron los valores de CPDNP más altos, siendo además coincidentes con los estimados de abundancia obtenidos para la flota internacional (IATTC, 1992).

En el OPO durante el periodo analizado se tuvieron condiciones ambientales catalogadas como normales durante 1985 (aunque la temperatura superficial fue un poco más fría que lo normal respecto al periodo 1984-1990) y de condiciones anti-El Niño (comúnmente denominadas "La Niña") durante 1988-1989 (IATTC, 1987; 1992). Si bien los resultados obtenidos indican que 1985 presentó un valor de abundancia relativa por debajo del promedio respecto al periodo analizado (1984-1990), éste fue alto si se consideran los valores obtenidos en los años precedentes. Un anti-El Niño es precedido por una intensificación del sistema atmosférico de alta presión, el cual causa que los vientos de superficie sean más fuertes que de costumbre. Estos vientos fuertes refuerzan las corrientes superficiales del océano y aumentan la mezcla vertical y el afloramiento de agua más fría y rica en alimento a lo largo de la línea ecuatorial y en las regiones costeras de México, Centro y Sudamérica. Es caracterizado también por termoclinas más cercanas a la superficie y nivel del mar más bajo que de costumbre (IATTC, 1989).

Los valores de abundancia relativa encontrados en este trabajo estuvieron por abajo del promedio durante 1988-1989, lo que podría indicar que si bien la existencia de mayor cantidad de alimento y la termoclina más superficial podrían incrementar la disponibilidad y vulnerabilidad del atún aleta amarilla, la influencia de vientos fuertes podría generar una mayor dispersión del alimento, así como hacer más difíciles las operaciones de pesca. No obstante, es conveniente mencionar que respecto al promedio a largo plazo, valores de CPDP mayores de 14 toneladas no se habían presentado desde 1972 (IATTC, 1992).

Las condiciones ambientales ligeramente cálidas presentes en el OPO durante 1990 parecen haber tenido un efecto positivo en la abundancia del recurso, siendo éste evidente en un valor por arriba del promedio.

Tanto en los mapas de distribución de las isothermas mensuales como en los de anomalías de temperatura superficial anual quedaron de manifiesto las condiciones normales, el evento ENSO 1986-1987, así como las condiciones de Anti-El Niño que se presentaron durante el periodo analizado.

En los mapas de anomalías anuales de temperatura superficial, fueron patentes las condiciones de anti-El Niño durante 1988-1989 ya que aunque no se graficaron sus valores sino el signo de ellas, se pudo observar que en todo el OPO se registraron anomalías negativas. Durante el periodo 1986-1987, se observaron grandes áreas con anomalías positivas por arriba de los 5°N, sin embargo los valores fueron en su mayoría menores de 1°C, temperaturas que de acuerdo a los resultados no afectaron la abundancia relativa del recurso como ya de mencionó anteriormente.

### **3.0 NATURALEZA DE LA RELACIÓN AMBIENTE-RECURSO**

Dilucidar los mecanismos a través de los cuales los cambios del medio influyen sobre la abundancia y distribución del atún requiere entre otras cosas analizar la variación de ambos, reflejada en aquellos indicadores que se tienen disponibles. Además es importante considerar que el establecer que la variación es paralela no implica forzosamente relación causal, sino sincronía en el cambio.

Grandes fluctuaciones en recursos comercialmente explotables ocurren no necesariamente por la presión de pesca sino por su interacción con el ambiente, dado que los procesos biológicos parecen estar fuertemente influenciados por los físicos, el contar con una evaluación del efecto de éstos últimos aunado al conocimiento biológico del recurso, a su comportamiento y respuestas fisiológicas por el efecto del ambiente, son aspectos que deben ser tomados en cuenta cuando se requiere un buen manejo del mismo.

Si se espera evaluar significativamente el recurso explotable, entonces los efectos que el ambiente tienen sobre la vulnerabilidad o accesibilidad de los atunes necesitan ser evaluados (Sharp, 1978).

#### **3.1 MODELOS DE REGRESIÓN Y GENERALIZADO ADITIVO**

Si bien el análisis de regresión múltiple mostró un efecto significativo de algunas de las variables consideradas (profundidad de las isoterma de 20°C y 15°C, entre otras), el porcentaje de variancia explicada por el modelo fue muy baja, tanto en los datos sin transformar como en los transformados. No obstante, la significancia estadística de tales combinaciones de variables, es decir, que tienen influencia en la variabilidad de la abundancia relativa, el modelo desde el punto de vista predictivo es muy pobre ya que la variancia explicada es baja.

Los resultados obtenidos en la aplicación del GAM son acordes con lo encontrado al relacionar el área bajo el perfil térmico con la abundancia relativa en el sentido en que las variables que resultaron significativas son las que participan en la forma del perfil, es decir la temperatura superficial, las profundidades de las isotermas de 20° y 15°, así como el gradiente.

A pesar de que al relacionar la CPDNP con la profundidad de la capa de mezcla usando los 7,200 registros la influencia de ésta no fue significativa como se observó en el análisis de regresión múltiple. Al promediar para obtener el valor por zonas, se hizo evidente una relación casi lineal con el valor promedio de CPDNP, en tanto que al promediar por intervalos, el modelo de mayor ajuste fue el exponencial modificado, el cual muestra que los mayores valores de CPDNP coinciden con profundidades de capa

de mezcla mayores de 25 m y que a partir de esta profundidad los valores de CPDNP son similares. Es obvio que la variancia se redujo al obtener valores promedio debido a que finalmente se tiene la variancia con respecto a la media y no a los datos originales, ocasionando que el grado de ajuste de los modelos tanto en el análisis por zonas como en el de intervalos fueran altos.

Los análisis de los perfiles térmicos promedio para cada zona, mostraron que el mayor valor de CPDNP está relacionado con un perfil térmico caracterizado por una temperatura superficial de 28°, un gradiente térmico fuerte y una profundidad de capa de mezcla de 40m.

Como consecuencia de los resultados anteriores, se determinó el área bajo la curva del perfil térmico como una variable relativa que integra la temperatura superficial, la profundidad de la capa de mezcla, la profundidad de las isothermas de 20° y 15°C, cuya diferencia se determinó como gradiente térmico. De esta manera se encontró que existe un rango óptimo en el que la abundancia relativa del recurso es mayor, con valores de área del perfil térmico entre los 250 y 550 unidades, lo cual involucra temperaturas superficiales entre los 27°-28°C y profundidades de capa de mezcla mayores de 25 m. Así la relación de la abundancia del atún aleta amarilla con el perfil térmico indica que las mayores abundancias se encuentran en profundidades intermedias.

Estos resultados son acordes con los encontrados para cardúmenes de atún aleta amarilla no asociados con delfines, que mostraron una relación positiva de la abundancia de recurso con las isothermas de 15°C y 23°C, y que el atún es más vulnerable cuando éstas se encuentran cerca de la superficie (IATTC, 1981) y con los estudios realizados por Green (1967), Sharp (1978) y Miller y Evans (1979), que demostraron alta correlación entre la vulnerabilidad del aleta amarilla a la captura por cerqueros, con la profundidad de la capa de mezcla, y la fuerza del gradiente de temperatura dentro de la termoclina.

Es posible que el no utilizar los datos separadamente por tipo de pesca, sea un factor que enmascare una posible relación más directa entre la abundancia relativa con las variables ambientales ya que por ejemplo Sharp (1978) encontró una alta correlación entre la profundidad de la isoterma de 23°C con la captura por día de pesca en lances sobre cardúmenes no asociados en tanto que la relación no fue significativa en lances sobre cardúmenes asociados a delfines, sin embargo puede también ser debido a que el análisis se realizó con promedios mensuales sólo para 6 meses, lo cual reflejaría un comportamiento similar al realizado al utilizar zonas o intervalos de valores, con los que se obtuvo una alta correlación.

Aunque Graham (1975) y Niell *et al.*, (1972) mencionan que las características fisiológicas de los atunes les proveen de una gran inercia térmica que les permite moverse libremente de la capa de mezcla a la termoclina a pesar de grandes cambios en la temperatura, se ha descrito para varias especies que la velocidad de nado es reducida a bajas temperaturas, se incrementa al máximo a una temperatura óptima y se reduce a temperaturas cercanas al límite térmico de las especies.

Otro aspecto que habría que considerar es la concentración de oxígeno, el cual de acuerdo a Blackburn (1965) podría ser limitante para el movimiento del atún cuando su concentración fuera menor de 1 ml/lit, la cual suele presentarse en aguas al sur de México y América Central hasta una profundidad de los 50 m (Wyrki., 1967; De La Lanza.,1991). Por lo que este podría ser un factor que favorezca la presencia de atunes a profundidades intermedias, particularmente dentro de la capa de mezcla.

Resultados similares se han encontrado para el barrilete en el Atlántico por Evans *et al.* (1981), en el sentido de que si bien el recurso evita las áreas someras, las capturas o avistamiento de cardúmenes son nulos o extremadamente pequeños para capas de mezcla u oxiclina más profundas que 50 m, concluyendo que el barrilete no es vulnerable a las artes de pesca de superficie o a detección en áreas donde la capa de mezcla es mayor de 50 m.

Se considera que los resultados obtenidos en este trabajo pueden ser de utilidad para el sector productivo en el sentido de dirigir su esfuerzo a áreas donde la probabilidad de éxito sea mayor, logrando una mayor eficiencia de la flota y como consecuencia mayores capturas. En los últimos años las capturas han tenido una tendencia al incremento no obstante que la capacidad de acarreo es menor que en años anteriores, lo que implica que ha habido un incremento de la eficiencia de la flota. De acuerdo a los estudios realizados en esta pesquería se reconoce que existe la posibilidad de reducir la producción del potencial si el esfuerzo es excesivo ya que aunque el stock ha estado en un nivel de abundancia por encima del óptimo en los últimos años es posible sobreexplotarlo, por lo que sería conveniente vigilar cualquier incremento que se dé en la capacidad de acarreo con el objetivo de tomar las medidas adecuadas para mantener el recurso a niveles que permitan las capturas máximas sostenibles.

## **CONCLUSIONES**

1. La captura por día normal de pesca estimada mediante la técnica de componentes principales, así como el utilizar la información de la flota atunera mexicana como una muestra poblacional, es un buen indicador de la abundancia promedio del recurso en el Océano Pacífico Oriental durante 1984-1990.
2. La distribución del atún aleta amarilla en función de la temperatura superficial se encontró en un rango de 17°C a 31°C, con una moda en los 28°C.
3. La abundancia relativa promedio presentó diferencias significativas estacionalmente, aunque éstas estuvieron dadas por la abundancia del segundo trimestre, la cual es significativamente mayor a la registrada en los demás trimestres. Acorde con esto en el análisis mensual promedio, la máxima abundancia del recurso se presentó en junio y la mínima en enero.
4. La distribución de la abundancia relativa del atún aleta amarilla presentó variación estacional. Durante el primer trimestre del año promedio, el recurso se encuentra en la boca del Golfo de California y a lo largo de la costa pacífica mexicana (al este de los 120°W). En el segundo trimestre las áreas de abundancia se extienden hacia el norte a lo largo de la costa occidental de Baja California y hacia las Islas Revillagigedo; también se expanden al oeste hasta los 140°W a lo largo de los 10°N. Durante el tercer trimestre alcanza su máxima latitud norte (33°N) y su máxima longitud oeste (147°W) y a finales de este periodo el recurso vuelve a retraerse hacia la costa, cubriendo durante el cuarto trimestre un área similar a la del primero.
5. La distribución espacio-temporal de la abundancia promedio anual fue similar durante todo el periodo analizado, abarcando desde el ecuador a los 33°N y hacia el oeste hasta los 147°W; aunque se distribuye por abajo del ecuador hasta los 20°S, en esta zona es capturado generalmente por la flota internacional en tanto que la flota mexicana solo incursiona en ésta área ocasionalmente como sucedió en 1984.
6. La abundancia relativa promedio anual fue significativamente diferente, presentando anomalías positivas durante 1986, 1987 y 1990. El valor máximo se presentó en 1986 y el mínimo en 1984.
7. La abundancia relativa de atún aleta amarilla fue más baja en el noroeste de México además de presentar el porcentaje mas alto de pesca no exitosa (16%). En tanto que la abundancia relativa fue mayor en la zona oceánica acorde con el menor porcentaje de pesca no exitosa (2.5%).

8. Se encontró un retraso de 3 meses entre la concentración de fitoplancton y la abundancia de atún aleta amarilla en la costa occidental de Baja California, se considera que el tiempo es menor que en el Golfo de Tehuantepec porque en esta zona la cadena alimenticia es más corta debido a que el atún se alimenta principalmente de langostilla.
9. En el área del Golfo de Tehuantepec se encontró un retraso de 4 meses entre la concentración de fitoplancton y la abundancia del recurso, lo que se atribuye al tiempo necesario para que se lleve a cabo la cadena alimenticia y el fitoplancton pase a ser micronecton.
10. El evento ENSO 1986-1987, no tuvo influencia significativa en la abundancia del recurso.
11. No obstante que el modelo de regresión lineal múltiple mostró una relación significativa entre la abundancia del recurso con la temperatura superficial, la profundidad de la isoterma de 20°C, la profundidad de la isoterma de 15°C y la fuerza del viento, la regresión explicó únicamente una pequeña proporción de la variación en los datos ( $r^2=0.02$ ).
12. El modelo generalizado aditivo mostró una relación no lineal significativa entre la abundancia con la profundidad de la isoterma de 20°C, la profundidad de la capa de mezcla y el gradiente térmico, sin embargo también la variancia explicada fue muy baja.
13. El mejor ajuste de la relación entre la abundancia y el área del perfil térmico lo dio el modelo parabólico ( $r^2=0.74$ ), lo que indica que existe una fuerte relación de la abundancia del recurso con la estructura térmica, encontrándose las mayores abundancias a profundidades intermedias.



## BIBLIOGRAFIA

- ALVERSON, F.G. 1963. The food of yellowfin and skipjack tunas in the eastern tropical Pacific Ocean. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 7(5): 293-396.
- ALLEN, R. y R. PUNSLY. 1984. Catch rates as indices of abundance of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the eastern Pacific Ocean. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 18(4): 303-379.
- ANONIMO, 1990. Graffool, graphical analysis system for scientific users: user's guide. 3d Vision Corporation. 460 pp.
- ANONIMO, 1993. Ocean Circulation. Open University. Oceanography Course Team. Pergamon Press Ltd. 238p.
- ARENAS, P., M. HALL, y F.R. MILLER. 1992a. The association of tunas with floating objects and dolphins in the eastern Pacific Ocean I Environment and fishing areas. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm.*, (ms). 55p
- ARENAS, P., M. HALL, y C. LENNERT. 1992b. 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-Amer. Trop. Tuna Comm.*, (ms). 38p.
- AURIOLES-GAMBOA, 1995. Migración Batimétrica de la Langostilla Bentónica en la Plataforma Continental del Pacífico de Baja California Sur. *En: La Langostilla: Biología, Ecología y Aprovechamiento*. Aurióles-Gamboa, D. Y E.F. Balart (eds.). 1995. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
- BARBER, R.T. y J.E. KOGELSCHATZ. 1990. Nutrients and productivity during the 1982-83 El Niño. In: *Global Ecological consequences of the 1982-83 El Niño-Southern Oscillation*, P. W. GLYNN, editor, Elsevier, Amsterdam, pp. 21-53.
- BARBER, R.T. y F.P. CHAVEZ. 1991. Regulation of primary productivity rate in the equatorial Pacific, *Limnol. Oceanogr.*, 36, 1803-1815.
- BAKUN, A. y C.S. NELSON. 1977. Climatology of upwelling related processes off Baja California. *Calif. Coop. Ocean Fish. Invest. Rep.* 19:107-127.
- BAKUN, A. 1996. PATTERNS IN THE OCEAN: Ocean Processes and Marine Population Dynamics. California Sea Grant/CIB. 323 p.
- BAUTISTA-CORTES, L.F. 1997. Análisis de la pesquería mexicana de atún, con énfasis en tres tipos de indicadores de cardúmenes. Tesis de Maestría en Ciencias, CICIMAR. Instituto Politécnico Nacional. México. 69p.

- BELTRAN-PIMIENTA, R., T. CAMPOS-ALFARO y S. ORTEGA-GARCIA. 1994. Análisis de las operaciones de pesca de la flota atunera mexicana que descargó en el puerto de Mazatlán Sin. durante 1993. Informe interno. CRIP-Mazatlán-CICIMAR. 10p.
- BENNETT, E. B. 1966. Monthly charts of surface salinity in the eastern tropical Pacific Ocean. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.* 11(1):1-44.
- BENNETT, E. B., y M.B. SCHAEFER. 1960. Studies of the physical, chemical, and biological oceanography in the vicinity of the Revillagigedo Islands during the "Island Current Survey" of 1957. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 4(5): 217-317.
- BEVERTON, R. J. H., y S. J. HOLT. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. *Minis. Agri. Fish Food, Fish. Invest., Ser. II*, 19: 533pp.
- BLACKBURN, M. 1962. An oceanography study of the Gulf of Tehuantepec. *U.S. Fish Wild. Serv. Sci. Rep. Fish.* 404:1-28.
- BLACKBURN, M. 1963. Distribution and abundance of tuna related to wind and ocean conditions in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *FAO Fish. Rep.* 6: 1557-1582.
- BLACKBURN, M. 1965. Oceanography and the ecology of tunas. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 3:299-322.
- BLACKBURN, M. 1968. Micronekton of the eastern tropical Pacific Ocean: family composition, distribution, abundance, and relations to tuna. *Fish. Bull.* 67-1.
- BLACKBURN, M. 1969. Conditions related to upwelling which determine distribution of tropical tunas off western Baja California. *Fishery Bulletin.* 68 (1):147-176.
- BLACKBURN, M. y R.M. LAURS, 1972. Distribution of forage of skipjack tuna (*Euthynnus pelamis*) in the eastern tropical Pacific. *NOAA. Tech. rep. NMFS. SSRF-649*, 16pp.
- BLACKBURN, M., R.M. LAURS, R. W. OWEN, y B. ZEITZSCHEL. 1970. Seasonal and aerial changes in standing stocks of phytoplankton, zooplankton and micronekton in the eastern tropical Pacific. *Mar. Biol.* 7:14-31.
- BLACKBURN, M., R.C. GRIFFITHS, R.W. HOLMES, y W. H. THOMAS. 1962. Physical, chemical, and biological observations in the eastern tropical Pacific Ocean: three cruises to the Gulf of Tehuantepec, 1958-1959. *U.S. Fish Wild. Serv., Spec. Sci. Rep. Fish* 420, 170 pp.
- BLACKBURN, M. 1973. Regressions between biological oceanographic measurements in the eastern tropical Pacific and their significance to ecological. *Limnol. and Oceanogr.* 18(4). 552-563 p.

- BROADHEAD, G. C. 1962. Recent changes in the efficiency of vessels fishing for yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean, *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*6(7):281-332.
- BROADHEAD, G. C. y I. BARRETT. 1964. Some factors affecting the distribution and apparent abundance of yellowfin and skipjack tuna in the eastern tropical Pacific Ocean. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 8(8):417-473.
- BRYDEN, H.L., y E.C. BRADY. 1985. Diagnostic model of the three-dimensional circulation in the upper equatorial Pacific Ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, 15:1255-1273.
- CADDY, J.F., y J. MAJKOWSKI. 1992. "Tuna and stress": A reflection on the long-term perspectives for tuna fishing around floating timber. Paper presented at the International Workshop on Fishing for Tunas Associated with Floating Objects, La Jolla California, USA. FAO (FIRM), Rome. 10 pp.
- CALKINS, T. P. 1961. Measures of population density and concentration of fishing effort for yellowfin and skipjack tuna in the eastern tropical Pacific Ocean, 1951-1959. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 6(3): 69-152.
- CALKINS, T. P. 1963. An examination of fluctuations in the "concentration index" of purse-seiners and baitboats in the fishery for tropical tunas in the eastern Pacific, 1951-1961. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 8(5):255-316.
- CALKINS, T. P. y B. M. CHATWIN. 1967. Geographical distribution of yellowfin tuna and skipjack catches in the eastern Pacific Ocean, by quarters of the year, 1963-1966. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 12(6):433-508.
- CAMPOS ROSADO, J. M. 1971. Long-term changes in abundance of yellowfin and skipjack off the coast of Angola. *J. Cons. int. Explor. Mer.*, 34(1):65-75
- CASTRO, J. L. y C. QUIÑONEZ V. 1987. Distribución y abundancia del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) en relación con la temperatura superficial en el Pacífico Nororiental (1983-1985). En: M. Ramirez (ed.) *Memorias del Simp. sobre Inv. en Biol. y Ocean. Pesq. en México*. CICIMAR.LA PAZ, B.C.S., abril de 1987:21-23.
- CHAVEZ, F. P. y R. T. BARBER. 1987. An estimate of new production in the equatorial Pacific. *Deep-Sea Research*, 24, 1229-1243.
- CLARKE, A.J. 1988. Inertial wind path and sea surface temperatures patterns near the Gulf of Tehuantepec and Gulf of Papagayo. *J. Geophys. Res.* 93(C12). 15491-15501.
- CLARKE, G. L., G. C. EWING y C. J. LORENZEN. 1970. Spectra of backscattered light from sea obtained from aircraft as a measure of chlorophyll concentration. *Science*, 167:119.

- COLE, J. S. 1980. Synopsis of biological data on the yellowfin tuna, *Thunnus albacares* (Bonnaterre, 1788), in the Pacific Ocean. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull. Spec. Rep.*, 2: 71-150.
- CRESSIE, N.A.C., 1990. The origins of Kriging, *Mathematical Geology*, v22,p.239-252.
- CROMWELL, T. 1958. Thermocline topography, horizontal currents and "ridging" in the eastern tropical Pacific. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 3:135-164.
- CROMWELL, T. 1953. Circulation in a meridional plane in the central equatorial Pacific. *J. Mar. Res.* 12: 196-213.
- CURY, P. y C. ROY .1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Can.J.Aquat.Sci.* 46:670-680.
- CUSHING, D.H. 1995. *Population production and regulation in the sea: a fisheries perspective*. Cambridge University Press, Cambridge.
- DE LA LANZA, G.E. 1991. Oceanografía de mares mexicanos. AGT editor, S.A. 569p.
- DIZON, E.A., R.W. BRILL y H.S.H. YUEN. 1978. Correlations between environment, physiology and activity and the effects on thermoregulation in skipjack tuna. In *The Physiological ecology of tunas*. Edited by G.D. Sharp and A.E. Dizon. New York, Academic Press, pp:233-258.
- DONGUY, J.R. y G. MEYERS. 1987. Observed and modelled topography of the 20 °C isotherm in the tropical Pacific. *Oceanologica Acta*, 10,41-48.
- EVANS, R.H., D.R. McCLAIN, y E.A. BAUER. 1981. Atlantic skipjack tuna: Influences of Mean Environmental Conditions on their vulnerability to surface fishing gear. *Marine Fisheries Review* , 43(6):1
- FIEDLER, P. C. 1992. Seasonal climatologies and variability of eastern tropical Pacific surface waters, *NOAA Tech. Rep. NMFS*, 109,65pp., 1992.
- FIEDLER, P.C., V. PHILBRICK, y F.P. CHAVEZ. 1991. Oceanic upwelling and productivity in the eastern tropical Pacific, *Limnol. Oceanogr.*, 36, 1834-1850.
- FIEDLER, P. C., F. P. CHAVEZ, D. W. BEHRINGER, y S. B. REILLY. 1992. Physical and biological effects of Los Niños in the eastern tropical Pacific, 1986-1989. *Deep Sea Res., Part A*, 39, 199-219.
- FIEDLER, C. P. 1994. Seasonal and Interannual variability of coastal zone color scanner phytoplankton pigments and winds in the eastern tropical Pacific, *J. Geophys. Res.*, 99:18, 371-18,384.
- FONTENAU, 1991. Monts sous-marins et thons dans l'Atlantique tropical est. *Aquat. Living Resour.*, 4:13-25.

- FORSBERGH, E.D. 1989. The influence of some environmental variables on the apparent abundance of Skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, in the eastern Pacific Ocean. *Bull. IATTC*, 19(6): 433-569.
- GALVAN-MAGAÑA, 1988. Composición y análisis de la dieta del atún aleta amarilla *Thunnus albacares* en el Océano Pacífico Mexicano durante el periodo 1984-1985. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. 86 p.
- GOLDEN SOFTWARE, 1995. SURFER for windows version 6., Golden Software, Inc. Colorado
- GOMEZ-MUÑOZ, V.M., y C. QUIÑONEZ-VELAZQUEZ, 1987. Riqueza Pesquera. Un índice de abundancia del atún aleta amarilla en el Pacífico Oriental. In: M. Ramírez (ed.) *Memorias del Simp. sobre Inv. en Biol. y Ocean. Pesq. en México*. CICIMAR. La Paz, B.C.S., abril de 1987:11-19.
- GOMEZ-MUÑOZ, V.M., S. ORTEGA-GARCIA y A. GOMEZ-GALLARDO 1992. Relationship between sea surface temperatures and dolphin-associated fishing activities by the Mexican tuna fleet. *NAGA - ICLARM Q.*, 15(1):24-25.
- GONZALEZ, P.G. y M. RAMIREZ. 1989. Zonas y épocas de reproducción del atún aleta amarilla *Thunnus albacares* en el Pacífico Mexicano. *Investigaciones Marinas CICIMAR*, 4(2):201-209.
- GORDON, H. R. y D. K. CLARK. 1980a. Remote sensing optical properties of a stratified ocean: an improved interpretation, *Appl. Opt.*, 19:3428.
- GORDON, H. R. y D. K. CLARK. 1980b. Atmospheric effects in the remote sensing of phytoplankton pigment, *Boundary Layer Meteor.*, 18:299-313.
- GORDON, H. R. y D. K. CLARK. 1981. Clear water radiances for atmospheric corrections of coastal zone color scanner imagery, *Appl. Opt.*, 20:4175-4180.
- GORDON, H.R., J.W. BROWN, O.B. BROWN, R.H. EVANS y D.K. CLARK. 1983. Nimbus 7 CZCS: Reduction of its radiometric sensitivity with time. *Appl. Opt.* 22, 3929-3931.
- GORDON, H.R., O.B. BROWN, R.H. EVANS, J.W. BROWN, R.C. SMITH, K.S. BAKER y D.K. CLARK. 1988. A semi-analytic radiance model of ocean color. *J. Geophys. Res.* 93(D9).10909-10924
- GRAHAM, J.B. 1975. Heat exchange in the yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, and skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis* and the adaptive significance of elevated body temperatures in scombrid fishes. *Fish Bull.*, U.S. 73:219-229.
- GREEN, R.E. 1967. Relationship of the thermocline to success of tropical tuna vessels based in California. *Fish. Ind. Res.* 3(1):29-45

- GRIFFITHS, R.C. 1960. A study of measures of population density and of concentration of fishing effort in the fishery for yellowfin tuna, *Neothunnus macropterus*, in the eastern tropical Pacific Ocean, 1951-1960. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. Bull.* , 4(3):39-136.
- GRIFFITHS, R.C. 1963. Analysis of variance of zooplankton catches from expedition TEMPO. In: 510 Ref. 63-22: 12-13.
- GULLAND, J. A. 1956. On the fishing effort in English demersal fisheries. UK: *Fish. Invest.*, Ser. 2, 20(5):41pp.
- GULLAND, J. A. 1968. Report on the population dynamics of the Peruvian anchoveta. *FAO, Fish. Tech. Paper*, 72:29 pp.
- HALPERT, M. S. y L.F. ROPELEWSKI. 1989. Atlas of tropical sea surface temperature and surface winds NOAA. *Atlas No. 8*.
- HALPERN D. y P.FREITANG. 1987. Vertical motion in the upper ocean of the equatorial eastern Pacific. *Oceanológica Acta Vol. Spec.*, No. 6, 19-26
- HANSEN, D.V. y A. HERMAN. 1988. A seasonal isotherm depth climatology for the eastern tropical Pacific. NOAA Tech. Rept 434-AOML 33(Revised). 11p.+ 224 maps.
- HASTIE, T. y R. TIBSHIRANI. 1990. Generalized additive models. Chapman and Hall, London. 335p.
- HERNANDEZ-VAZQUEZ, S. 1995. Distribución de la abundancia de huevos y larvas de sardina y anchoveta en las costas de California y Baja California y su relación con factores ambientales: 551-89. Tesis doctoral, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, México. 178 pp.
- HILBORN, R. y C.K. WALTERS. 1992. Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty. Chapman and Hall, New York and London. 569p.
- IATTC. 1981. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 1980. *Annu. Rep. I-ATTC*. 233p.
- IATTC. 1982. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 1981. *Annu. Rep. I-ATTC*. 303p.
- IATTC. 1983. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 1982. *Annu. Rep. I-ATTC*. 272p.
- IATTC. 1984. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 1983. *Annu. Rep. I-ATTC*. 272p.
- IATTC. 1985. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 1984. *Annu. Rep. I-ATTC*. 270p.
- IATTC. 1987. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 1986. *Annu. Rep. I-ATTC*. 264p.

- IATTC. 1988. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 1987. *Annu. Rep. I-ATTC*. 222p.
- IATTC. 1989. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 1988. *Annu. Rep. I-ATTC*. 288p.
- IATTC. 1990. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 1989. *Annu. Rep. I-ATTC*. 270p.
- IATTC. 1992a. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 1990. *Annu. Rep. I-ATTC*. 261p.
- IATTC. 1992b. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 1991. *Annu. Rep. I-ATTC*. 271p.
- IATTC. 1993. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 1992. *Annu. Rep. I-ATTC*. 315p.
- IATTC. 1994. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 1993. *Annu. Rep. I-ATTC*. 316p.
- IATTC. 1995. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 1994. *Annu. Rep. I-ATTC*. 296p.
- IATTC. 1997. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 1996. *Annu. Rep. I-ATTC*. 296p.
- JOSEPH, J. y T. P. CALKINS. 1969. Population dynamics of the skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) of the eastern Pacific Ocean. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 13(1): 1-273.
- KESSLER, W.S. 1990. Observations of long Rossby waves in the northern tropical Pacific. *J. Geophys. Res.* 95:5183-5217.
- KING, F.D. 1986. The dependence of primary production in the mixed layer of the eastern tropical Pacific on the vertical transport of nitrate. *Deep-Sea Res.*, 33(6):733-754.
- LAEVASTU, T. y H. ROSA. 1963. Distribution and relative abundance of tunas in relation to their environment. *FAO Fish. Rep.*, 6(3):1835-1851.
- LASKER, R. 1981. Factors Contributing to Variable recruitment of the Northern Anchovy (*Engraulis mordax*) in the California current: Contrasting years, 1975 through 1978. *Rapp. Proces-Verb. Réun. Cons. Int. Explor. Mer.* 178:375-388.
- LEGECKIS, R. 1988. Upwelling off the Gulfs of Panama and Papagayo in the Tropical Pacific during March 1995. *J. Geophys. Res.*, 93(C12):15485-15489.
- LEVITUS, S. 1982. Climatological atlas of the world ocean. *NOAA Professional Paper No. 13*, 173p.
- LYNN, R.J. y J.J. SIMPSON. 1987. The California Current System: The seasonal variability of its physical characteristics. *J. Of Geophys. Res.*, 92(12):12947-12966.

- LLUCH-COTA, S.E. , D.B. LLUNCH- COTA, D. LLUCH-BELDA Y J.J. BAUTISTA ROMERO. 1994. Capítulo 6: Oceanografía. En: Ortega Rubio, A y A. Castellanos Vara (eds.). La isla Socorro, Reserva de la Biosfera Archipiélago de Revillagigedo, México. Centro de investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Publicación No. 8:77-111
- LLUCH-COTA, S.E. 1995. Variación espacio-temporal de pigmentos fotosintéticos en el Golfo de Tehuantepec derivados de datos de satélite (CZCS). Tesis de Maestría CICIMAR. 47p.
- LONGHURST, A.R., 1966. The pelagic phase of *Pleuroncodes planipes* in the California Current. *Calif. Coop. Oceanic. Fish. Invest. Rep.* 11:142-154.
- LONGHURST, A.R., 1969. Pelagic invertebrate resources of the California Current. *Calif. Coop. Oceanic. Fish. Invest. Rep.* 13: 60-62.
- MCCREARY, J.P., H.S. LEE y D.B. ENFIELD. 1989. The response of the coastal ocean to strong offshore winds: with application to circulation in the Gulfs of Tehuantepec and Papagayo. *Journal of Marine Research.* 47:81-109.
- MANN, K.H. y J.R.N LAZIER 1991. Dynamics of marine ecosystems: biological-physical interactions in the oceans. Ed. Blackwell Scientific Publications. Boston. 466pp.
- MARTIN, J.W. 1962. Distribution of catch-per-unit-effort and fishing effort for tuna in the eastern tropical Pacific Ocean by months of the year, 1951-1960 *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 6(5): 179-229.
- MERLIN-PEREZ P. y S. ORTEGA-GARCIA. 1996. Principales estructuras topográficas en el noroeste de México y su influencia en la pesquería del atún aleta amarilla. In Memorias del tercer Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar. Noviembre 21-23., 1996. Nuevo Vallarta, Nayarit. México.
- MILLER, F. R y R. H. EVANS. 1970. The oceanic environment of the eastern tropical Pacific as related to purse seining. *Inter-amer. Trop. Tuna Comm. and U.S. Nat. Mar. Fish. Serv.*, unpublished manuscript.
- MOLINA-CRUZ, 1988. Late quaternary oceanography of the mouth of the Gulf of California, the polycystine connection. *Paleoceanography.* 3(4):447-459.
- MULLEN, A.J. 1992. Reaction diffusion models for dynamics distribution of yellowfin tuna. Ph. D. Tesis. University of London.
- MURPHY, G. I. y R. S. SHOMURA. 1958. Variations in yellowfin abundance in the central equatorial Pacific. *Proc. 9th Pacific. Sci. Cong. Bangkok, 1957*, 16:108-113.
- MURPHY, G.I. y R.S. SHOMURA. 1972. Pre-exploitation abundance of tunas in the equatorial central Pacific. *Fish. Bull. U.S. Fish. Wildl. Serv.*, (70):875-913.



- NAKAMURA, E.L. 1965. Food and feeding habits of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) from the Marquesas and Tuamotu Islands. *Amer. Fish. Soc., Trans.*, 94(3): 236-242.
- NAKAMURA, E.L. 1969. Tuna distribution and migration. Fishing News (Books)Ltd., London. pp.76.
- NEILL, W.H., J.J. MAGNUSON y G.G. CHIPMAN. 1972. Behavioral thermoregulation by fishes: a new experimental approach. *Science*, 176(4042), 1443-1445.
- ORANGE, C.J. y T.P. CALKINS. 1981. Geographical distribution of yellowfin and skipjack tuna catches in the eastern Pacific Ocean and fleet and total statistics 1975-1978. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 18(1):1-120.
- ORTEGA-GARCIA, S. 1989. Análisis y normalización de la flota atunera mexicana de cerco y vara que opera en el Pacífico Oriental. Tesis de Maestría en Ciencias, CICIMAR, Instituto Politécnico Nacional. México. 103p.
- ORTEGA-GARCIA, S. y C. QUIÑONEZ-VELAZQUEZ, 1990. Distribución y estacionalidad de la pesca asociada con delfines de la flota atunera mexicana durante 1980-1987. Resúmenes del VIII Simposium de Biología Marina, Ensenada, B.C., México, junio 4-8, 1990, p.10.
- ORTEGA-GARCIA, S., F. GALVAN-MAGAÑA y J. ARVIZU-MARTINEZ. 1992. Actividad de la flota atunera mexicana de cerco y el comportamiento alimenticio del atún aleta amarilla. *Ciencias Marinas*, 18(1): 139-149.
- ORTEGA-GARCIA, S. y V. M. GOMEZ MUÑOZ. 1992. Standardization of fishing effort using principal component analysis of vessel characteristics: the mexican tuna purse-seiners. *Scientia Marina*, 56(1):17-20.
- ORTEGA-GARCIA, 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-GARCIA, S., A. VILLA-ARCE y R. RODRIGUEZ-SANCHEZ. 1996. Pesquería de atún, p.351-387. *En: Casas, V. M. y G. Ponce. (Eds). Estudio del Potencial Pesquero Acuícola de Baja California Sur. SEMARNAP-Gob. Del Estado de B.C.S>-FAO-UABCS-CIBNOR-CICIMAR-CETMAR. Vol.II.*
- ORTEGA-GARCIA, S. y S.LLUCH-COTA. 1996. Distribución y 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 Num. especial. (4):85-93.*
- ORTEGA-GARCIA, S., D.LLUCH-BELDA y P.ARENAS-FUENTES. 1997. Monthly distribution of relative abundance of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*, Bonaterre, 1978) and sea surface isotherms in the eastern pacific ocean during 1984-1990. Atlas CICIMAR No.12.

- OWEN, R. W. y B. ZEITZSCHELL. 1970. Phytoplankton production: seasonal change in the oceanic eastern tropical Pacific. *MAR. BIOL.*, 7:32-36.
- PÁEZ-DELGADO, R.O.1997. Mercado global del atún y embargo estadounidense (un caso de neoproteccionismo comercial). SEMARNAP, H. CAMARA DE DIPUTADOS. México. 394p.
- PALOHEIMO, J. E. y L. M. DICKIE, 1964. Abundance and fishing success. *Rapp. Proc. Verb. Reun. Cons. Int. Explor. Mer*, 155: 152-163.
- PARRISH, R.H., A. BAKUN, D. M. HUSBY y C.S. NELSON. 1983. Comparative climatology of selected environmental processes in relation to eastern boundary current pelagic fish reproduction. *In: Proceedings of the Expert Consultation to Examine Changes in Abundance and Species Composition of Neritic Fish Resources*, San José, Costa Rica, April 1983. Sharp, G.D. and J. Csirke (Eds). F. A.O. Fish. Rep. 291(3):731-777.
- PELLA, J. J. 1969. A stochastic model for purse seining in a two-species fishery. *J. Theoretical Biol.*, 22(2): 209-226.
- PELLA, J. y C. PSAROPULOS. 1975. Measures of tuna abundance from purse-seine operations in the eastern Pacific Ocean adjusted for fleet-wide evolution of increased fishing power, 1960-1971. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 1(7):351-469.
- PICAUT, J., S.P. HAYES y M.J. McPHADEN. 1989. Use of the geostrophic approximation to estimate time-varying zonal currents at the equator. *J. Geophys. Res.*, 94:3228-3236.
- POWER, H. J. y M. L. NELSON Jr. 1991. Satellite observed sea-surface temperatures and yellowfin tuna catch and effort in the Gulf of Mexico, *Fishery Bulletin*, U. S. 89:429-439.
- PUNSLY, R. 1983. Estimation of the number of purse-seine sets on tuna associated with dolphins in the eastern Pacific Ocean during 1959-1980. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. Bull.*, 18(3):229-299.
- PUNSLY, R. 1987. Estimation of the relative annual abundance of yellowfin tuna, (*Thunnus albacares*), in the eastern Pacific Ocean during 1970-1985. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.* 19(3): 265-305.
- REID J.L. JR. y R.A. SCHWARTZLOSE. 1992. Direct measurements of the Davison Current off Central California *J. Geophys.*, 67:2491-2497.
- ROBSON, D. S. 1966. Estimation of the relative fishing power of individual ships. *Research Bull., Inter. Comm. NW-Atl. Fish.*, 3:5-14.
- ROBINSON, M. K. y R. A. BAUER. 1971. Atlas of monthly mean surface and subsurface temperature and depth of the top of the thermocline. Fleet Num. Weather Central, Monterey, Ca. 95p.

- RODEN, G.I. 1984. Aspects of Oceanic Flow and thermohaline structure in the vicinity of seamounts.p. 3-12. In R.N. Uchida, S.Hayasi,G.W.Boehlert, editors, Proceedings of a workshop, on Environment and Resources of Seamounts in the North Pacific, Shimizu, Japan, 1984. NOAA Tech. Rep. NMFS,43.
- RODEN, G. I. y B.A. TAFT. 1985. Effect of the Emperor seamounts on the mesoscale thermohaline structure during the summer of 1982. *J. Geophys. Res* 90: 839-855.
- RODEN, G.I. 1972. Thermohaline structure and baroclinic flow across the Gulf of California entrance and in the Revillagigedo Island region. *Journal of Physical Oceanography* (2): 177-183.
- RUMENHART, D. E., G. E. HINTON, y R. J WILLIAMS. 1985. Learning internal representations by error propagation in parallel distributed processing, MIT Press, Cambridge MA. Chp 8:318-362.
- SANTAMARIA-DEL-ANGEL, S.ALVAREZ-BORREGO y F.E.MULLER-KARGER.1994. The 1982-1984 El Niño in the Gulf of California as seen in coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research.*, 99(C4): 7423-7431.
- SECKEL, G. R. 1972. Hawaiian-caught skipjack tuna and their physical environment. U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., *Fish. Bull.*, 70(3):763-787.
- SECKEL,G.R.1985.Currents of the tropical and subtropical North Pacific Ocean.pp 461-482.In R.S.Shomura and H.O. Yoshida(eds.) Proceedings of the workshop on the fate and impact of Marine Debris,26-29 November 1984, Honolulu, Hawaii.U.S.Dep. Comm., NOAA Tech. Memo.NMFS,NOAA-Tm-NMFS-SWFC-54.
- SEMARNAP, 1996. Indicadores de la producción pesquera. Dirección de Estadística y registro pesqueros. Octubre 1996.
- SHARP, G. D. 1978. Behavioral and physiological properties of tuna and their effects on vulnerability to fishing gear. In *The Physiological Ecology of Tunas*, edited by G.D.Sharp., and A.E. Dizon. New York, Academic Press, pp: 397-449.
- SHIMADA, B. M., y M. B. SCHAEFER. 1956. A study of changes in fishing effort, abundance and yield for yellowfin and skipjack tuna in the eastern tropical Pacific Ocean. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm.*, 1(7):351-469.
- SHIMADA, B.M. 1958. Geographical distribution of the annual catches of yellowfin and skipjack tuna from the eastern Tropical Pacific Ocean from vessel logbook records, 1952-1955 [in English and Spanish]. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 2C7: 287-363.
- SHINGU, C., Y. W ARASHINA, y N. MATSUZAKI. 1974. Distribution of bluefin tuna exploited by longline fishery in the western Pacific Ocean. *Bull. Far Seas Fish. Res. Lab.* 10: 109-140.

- SMITH R.L. 1982. Circulation patterns in upwelling regimes. *In: Coastal upwelling: its sediment record*, E. SUESS and J. THIEDE, editors, NATO Advanced Research Institute Proceedings, Plenum Press, New York, pp. 13-37.
- SOKAL, R.R. y ROHLF, F.J. 1981. *Biometry*. 2nd. ed. W.H. Freeman and Company, San Francisco. 859 pp.
- STATSOFT, 1995. STATISTICA for windows, version 5. Tulsa, Ok: Statsoft, Inc.
- STATISTICAL SCIENCES, 1994. S-PLUS for Windows, version 3.2. Seattle: StatSci, a division of MathSoft, Inc.
- STATISTICAL GRAPHICS SYSTEM, 1991. STATGRAPHICS version 5. STSC, Inc.
- SUND, P. N., M. BLACKBURN, y F. WILLIAMS. 1981. Tunas and their environment in the Pacific Ocean: a review. *Rev. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 19: 443-512.
- SUZUKI, Z., P. K. TOMLINSON y M. HONMA. 1978. Population structure of Pacific yellowfin tuna. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 17(5): 273-441.
- SVERDRUP, H. U. 1941. The Gulf of California: Preliminary discussion on the cruise of the E. W. Scripps in February and March 1939: *Sixth Pacific Science Congress Proceeding*, 3; 161-166.
- SVERDRUP, H.U., M.W. JOHNSON y R.J. FLEMING. 1942. *The Oceans: their physics, chemistry and general biology*. Prentice-Hall, 1987 p.
- SWARTZMAN G., C. HUANG, 1992 y S. KALUZNY, 1992. Spatial analysis of Bering Sea groundfish survey data using generalized additive models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49: 1366-1378.
- TIEWS, K. 1963. Synopsis of biological data on bluefin tuna *Thunnus thynnus* (Linnaeus) 1758 (Atlantic and Mediterranean). p. 422-481 In H. Rosa Jr., editor, *Proceedings of the World Scientific Meeting on the Biology of Tunas and Related Species*, La Jolla, California, 1962. *FAO Fish. Rep.*, 6(2): Synopses: 101-975
- THRENBERT, K.E. 1991. General characteristics of El Niño-Southern Oscillation. *Monthly weather review.*, 115, 3078-3096.
- TRAN, A. V., E. SMITH, J. HYON, R. EVANS, O. BROWN y G. FELDMAN. 1993. Satellite-derived multichannel sea surface temperature and phytoplankton pigment concentration data: A CD-ROM set containing monthly mean distributions for the global oceans (User's Manual), Jet Propulsion Laboratory DAAC, 32 pp.

- TRIGUEROS-SALMERON, J.A. y ORTEGA-GARCIA, 1998. Variación espacio-temporal de la abundancia relativa del barrilete *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus, 1758) en el océano pacífico oriental durante 1970-1995. XI Congreso Nacional de Oceanografía, del 26 al 30 de abril de 1998. Ensenada Baja California. México.
- UDA, M. 1957. A consideration on the long years trend of the fisheries fluctuation in relation to sea conditions. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 23(7-8):368-372.
- UDA, M. y M. ISHINO. 1958. Enrichment pattern resulting from eddy systems in relation to fishing grounds. *Tokyo Univ. Fish., Jour.*, 44(1-2):105-129.
- UCHIDA, R. N. 1976. Reevaluation of fishing effort and apparent abundance in the Hawaiian fishery for skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, 1948-70. *Fish. Bull.*, 74(1):59-69.
- UEYANAGI, S. 1978. Recent tuna culture research in Japan. *Inter. Ocean Develop. Conf.*, 5(CI):23-39 (preprint).
- VAZQUEZ, A. 1981. Nuevo método para el cálculo de poderes de pesca e índices de abundancia en pesquerías. *Inv. Pesqu.*, 45(2) 241-255
- WILLIAMS, F. 1972. Consideration of three proposed models of the migration of young skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the eastern Pacific Ocean. *Fish. Bull. NOAA-NMFS* 70(3): 741-762.
- WOOSTER, W.S. y J. L. REID. 1963. Eastern boundary currents in the sea: ideas and observations on progress. *In the study of the seas*, 1, edited by M.N.Hill., Interscience Publishers, New York. : 253-280
- WYRTKI, K. 1964. Upwelling in the Costa Rica Dome. *Fish. Bull.*, U.S.63:355-372.
- WYRTKI, K. 1965. Surface currents of the eastern Tropical Pacific Ocean. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.* 5:269-304.
- WYRTKI, K. 1966. Oceanography of the eastern equatorial Pacific Ocean. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 4, 33-68.
- WYRTKI, K. 1967. Circulation and water masses in the eastern equatorial Pacific Ocean. *International Journal of Oceanology and Limnology*, 1, 117-147.
- WYRTKI, K. 1974. Equatorial currents in the Pacific 1950 to 1970 and their relations to trade winds. *J. of Phys. Oceanogr.*, 4:372-380.
- WYRTKI, K. 1981. An estimate of equatorial upwelling in the Pacific. *Journal of Physical Oceanography*, 11, 1205-1214.

ZARATE-VILLAFRANCO, A., 1998. Estudio de la asociación de los objetos flotantes naturales y/o artificiales (FADs) con la captura de atún. Tesis de Maestría. CICIMAR. 114p.