

00381



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
División de Estudios de Posgrado

**BIOLOGÍA Y DINAMICA POBLACIONAL
DE LA MACARELA *Scomber japonicus* DEL
GOLFO DE CALIFORNIA**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTORA
EN CIENCIAS (BIOLOGÍA) PRESENTA**

MARÍA GEORGINA GLUYAS MILLÁN

Director de tesis: Dr. Jaime Manuel Gonzalez Cano

México, D.F

2004



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
División de Estudios de Posgrado

**BIOLOGÍA Y DINAMICA POBLACIONAL
DE LA MACARELA *Scomber japonicus* DEL
GOLFO DE CALIFORNIA**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTORA
EN CIENCIAS (BIOLOGÍA) PRESENTA**

MARÍA GEORGINA GLUYAS MILLÁN

México, D.F

2004

A LA MEMORIA DE MI PADRE DR. RICARDO GLUYAS
NUÑEZ

A MI HIJA MARINA

A MI MADRE DRA. GEORGINA MILLAN SOLIS

A MIS HERMANOS MARIA LAVINIA Y RICARDO

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de La Pesca-SAGARPA, por haberme proporcionarme la información y material biológico de la macarela del Golfo de California y Ensenada para desarrollar esta tesis, especialmente a: Manuel Nevárez, Miguel Cisneros, Hugo Montiel, Pablo Santos, Maria de Los Angeles Martínez y Walterio García. A Roberto Félix del proyecto sardina del CICIMAR-IPN por el material biológico de la macarela de Bahía Magdalena.

Al Dr. Guillermo Compeán, Dr. Miguel Cisneros y M en C. Claudia de La Garza Montaña, autoridades del Instituto Nacional de La Pesca-SAGARPA por brindarme las facilidades que me permitieron terminar este documento.

Al Dr. Jaime González Cano, director de esta tesis, por su apoyo y orientación durante este tiempo.

Por su revisión y comentarios al Dr. Casimiro Quiñónez Velázquez.

A los miembros del comité de tesis y sinodales que aceptaron ser jurado: Dr. Guillermo Compeán Jiménez, Dr. Jaime González Cano. Dr. Juan Luis Cifuentes Lemus, Dr. Isaías H. Salgado Ugarte, Dr. Luis Zambrano González, Dr. Luis Medrano González, y Dra. Laura Sanvicente Añorve, quienes con su valiosa revisión, comentarios y sugerencias mejoró esta tesis.

A la Facultad de Ciencias y Posgrado en Biología de la UNAM

Al CONACyT por su apoyo económico a través de una beca crédito.

Al Dr. Martín Castonguay del Institute Maurice Lamontagne del Ministère de Pêche et Océans Canada en Rimouski, Québec, por aceptarme en su laboratorio e instruirme en la interpretación de la microestructura de otolitos. Estancia de investigación apoyada por una beca del Conseil International D'études Canadiennes, Gouvernement du Canada.

A Roberto Félix Uruga y Casimiro Quiñónez Velázquez, investigadores del Laboratorio de edad del CICIMAR-IPN, por su buena disposición en compartir sus conocimientos en la interpretación de los otolitos.

A mi hija Marina, mis hermanos, mi madre, amigos y compañeros que con su afecto y comunicación me motivaron a concluir este documento, siempre les estaré agradecida.

RESUMEN

Esta tesis trata sobre la historia de vida y dinámica poblacional de la macarela *Scomber japonicus*. La información disponible, sugirió una hipótesis sobre la existencia de más de un grupo poblacional o stock en aguas mexicanas del Océano Pacífico. Para probar esa hipótesis se usó material biológico histórico de muestreos de la pesca comercial de California, Ensenada, Bahía Vizcaíno, Bahía Magdalena y Golfo de California (GC). Las características biológicas como: talla y edad de madurez, crecimiento, patrón de deposición de marcas de crecimiento en otolitos, y periodo de reproducción, al contrastarlas mostraron diferencias geográficas. Esas diferencias permitieron distinguir un grupo poblacional de macarela en el GC, y otro en la costa occidental de Baja California y California. Bahía Magdalena se identificó como una zona de mezcla o sobreposición de dos stocks y/o como un área de alimentación, crianza y/o refugio de *S. japonicus*. La distinción de stocks permitió analizar por separado el stock del GC. En esa zona se encontraron edades de 0+ a 9+ años, y talla y edad de reclutamiento a la pesquería de 193 mm LE y 3.3 años. El modelo de crecimiento de von Bertalanffy indicó una longitud asintótica L_{∞} de 281.6 mm, la tasa de crecimiento K fue 0.22 años^{-1} , y el parámetro de ajuste o edad hipotética t_0 a la cual el pez tendría longitud 0 fue 3.5. La variación temporal de los estadios morfocromáticos de madurez mostró un amplio periodo de reproducción, de noviembre a abril. Ese periodo es corroborado con una distribución de fechas de eclosión con determinaciones de edad en otolitos de juveniles. Para describir el crecimiento durante la etapa juvenil de la macarela se utilizó el modelo de Gompertz que mostró que la longitud máxima (L_{∞}), al final de la primera estación de crecimiento (0 años), fue 187.3 mm de L; la edad de máximo crecimiento (t_0) (punto de inflexión de la curva) fue 43.9 días, y la tasa de crecimiento g cuando $t=t_0$ fue 0.035. Cambios geográficos y temporales de los estadios de madurez sugirieron un esquema hipotético de migración desde las principales zonas de reproducción, Yavaros y Guaymas, hacia zonas de alimentación en las grandes Islas del Golfo (Isla Tiburón e Isla Ángel de La Guarda). La composición por tallas y edades de la captura comercial de macarela en el GC de 1984 a 1993, periodo de bajas capturas, estuvo compuesta por individuos de 83 a 312 mm y 0+ a 7+ años de edad. Una fracción importante de la captura se habrá reproducido de una a cinco veces; y el promedio de la mortalidad por pesca en ese periodo fue menor ($F=0.62$) que en 1996-1998 ($F = 1.76$), un periodo de capturas elevadas.

ABSTRACT

This thesis approaches the study of the life history and population dynamics of the mackerel *Scomber japonicus*. The available information, suggested a hypothesis on the existence of more than one population group or stock in Mexican waters of the Ocean Pacific. To evaluate this hypothesis historical biological material of samplings of the commercial fishing of California, Ensenada, Bay Vizcaíno, Bay Magdalena and Gulf of California (CG) was used. The biological characteristics as: length and age of maturity, growth, deposition pattern of the growth marks in otoliths, and reproduction period, when contrasting them showed geographical differences. Those differences allowed to distinguish one population group or stock of mackerel in the CG, and another in the western coast of Baja California and California. Magdalena Bay was identified like a mixture area or overleaping of two stocks and/or as a feeding area, nursery and/or refuge of *S. japonicus*. The stocks discrimination allowed to analyze for separate the CG-stock. In that area, fish were identified with ages among 0+ to 9+ years, and length and recruitment age to the fishery of 193 mm SL and 3.3 years old. The von Bertalanffy growth model indicated a asymptotic length L_{∞} of 281.6 mm, the growth rate K was 0.22 year^{-1} , and the adjustment parameter or hypothetical age t_0 to which the fish would have length zero were 3.5 years. The temporal variation of the morphochromatic maturity stages showed a wide period of reproduction, from November to April. That period is corroborated with a distribution of hatching dates with otoliths age determinations of juvenile fishes. To describe the growth during the juvenile stage of the mackerel the Gompertz growth model was used and showed that the maximum length (L_{∞}), at the end of the first growth season (0 years), was 187.3 mm; the age of maximum growth (t_0) (point of curve inflection) was 43.9 days, and the growth rate g when $t=t_0$ was 0.035. Geographical and temporal of the maturity stages suggested a hypothetical migration outline from the main spawning areas, Yavaros and Guaymas, toward feeding areas in the big Islands of the Gulf (Isla Tiburon and Isla Angel of la Guarda). The length and ages composition of the commercial catch of mackerel in the CG from 1984 at 1993, period of drops catches, was integrated by individuals from 83 to 312 mm and 0+ to 7+ years old. An important fraction of the captured fishes will have reproduced from one to five times; and the average of the fishing mortality for the period was smaller ($F=0.62$) that in 1996-1998 ($F = 1.76$), a period of high catches.

PROLOGO

Esta tesis de doctorado contiene las siguientes secciones: en el capítulo I una introducción general, materiales, métodos, y objetivos. En la sección de materiales y métodos se detalla el material biológico, su origen, los períodos de colecta, así como la descripción de la metodología común utilizada en los capítulos de resultados. El capítulo II es una revisión del conocimiento actual de la biología y pesca de macarela *S. japonicus*, especialmente de la costa occidental de la península de Baja California y Golfo de California. En los capítulos del III al VI se presenta análisis y resultados de la historia de vida y dinámica poblacional de *S. japonicus*. En el capítulo III se analiza información biológica de macarela adulta de distintos sitios geográficos, se determinan algunas características biológicas las cuales se contrastan para evidenciar grupos poblacionales, y permitir la separación y análisis de la información en los posteriores capítulos, los resultados se integran en dos publicaciones científicas (1 y 2) precedidas por un resumen. En el capítulo IV se abordan características de la historia de vida de *S. japonicus* del Golfo de California, se determina la edad y el crecimiento individual en la etapa adulta y en la etapa juvenil, así como reproducción y desplazamiento, se presentan dos artículos científicos (3 y 4) precedidos por un resumen. El capítulo V aborda la composición de tallas y edades de la captura comercial de macarela del Golfo de California y estimación de mortalidad. Una discusión general y conclusiones se presentan en los capítulos VI y VII. Finalmente las dos últimas secciones contienen recomendaciones y las referencias consultadas.

Algunos resultados parciales de esta tesis han sido publicados en los siguientes artículos científicos:

- 1 Gluyas-Millán M. G. 1994. Reproducción, edad y talla de primera madurez de la macarela *Scomber japonicus* (Houttuyn 1872) en Bahía Vizcaíno. *Ciencias Marinas* 20(3):409-419. Capítulo III
- 2 Gluyas-Millán M. G. y C. Quiñónez-Velázquez. 1996. Evidencias de distintos grupos poblacionales de macarela *Scomber japonicus*. *Ciencias Marinas* 22(3):377-395. Capítulo III.
- 3 Gluyas-Millán M. G. y C. Quiñónez-Velázquez. 1997. Age, growth and reproduction of Pacific mackerel *Scomber japonicus* in the Gulf of California. *Bulletin of Marine Science* 61(3):837-847. Capítulo IV.

4 Gluyas-Millán M. G., M. Castonguay y C. Quiñónez-Velázquez. 1998. Growth of juvenile Pacific mackerel, *Scomber japonicus* in the Gulf of California. *Sci. Mar.* 62(3):225-231. Capítulo VI.

Otros resultados parciales también fueron presentados en reuniones científicas celebradas durante la realización de este trabajo:

Gluyas-Millán, M.G. y M. Castonguay. Age and growth of juvenile *Scomber japonicus* off the Gulf of California. 18th Annual Larval Fish Conference, June 24-28 1994. Huntsman Marine Science Center, St. Andrews, N.B., Canada.

Gluyas-Millán, M.G. Evidencias de dos grupos poblacionales de macarela *Scomber japonicus*. II Simposium de Biología Pesquera y Oceanografía en México. 35-27 de septiembre de 1996. CICIMAR-INP, La Paz, Baja California Sur.

Como parte de la formación académica de doctorado se realizó una estancia de investigación en el Institut Maurice Lamontagne-Ministère de Pêche et Oceans, Mont Joli, Québec, Canada, en la que se recibió entrenamiento sobre la microestructura de otolitos del género *Scomber*. La estancia fue apoyada por una beca del Conseil International D'études Canadiennes, Gouvernement du Canada, de septiembre 1993 a agosto 1994. Los resultados de esa estancia constituyen una parte del capítulo IV de esta tesis.

LISTA DE FIGURAS

	Pagina
Figura 1. Áreas de estudio y zonas de pesca: Ensenada, Bahía Vizcaíno, Bahía Magdalena, Golfo de California, y Puertos de descarga de Pelágicos menores.....	28
Figura 2. Vista general del otolito derecho (<i>saggita</i>) de <i>S. japonicus</i> (tomado de Aguayo y Steffens 1986).....	29
Figura 3. Esquema del número de bandas opacas e hialinas por grupo de edad (tomada de Félix-Uraga 1986).....	30
Figura 4. Vista lateral de <i>S. japonicus</i>	31
Figura 5. Captura anual de macarela <i>S. japonicus</i> en Ensenada, Isla de Cedros, Bahía Magdalena y Golfo de California.....	32
Figura 6. Captura total anual de pelágicos menores de Ensenada, Bahía Magdalena y Golfo de California.....	33
Figura 7. Curvas de crecimiento de <i>S. japonicus</i> del Golfo de California (Gluyas Millán y Quiñónez Velásquez 1997); Bahía Vizcaíno (Gluyas Millán 1990) y California (Fitch 1951).....	88
Figura 8. Esquema de migración de <i>S. japonicus</i> del Golfo de California.....	89
Figura 9. Captura histórica de macarela <i>S. japonicus</i> en el Golfo de California, 1979-2002.....	98
Figura 10. Captura mensual de macarela <i>S. japonicus</i> de 1979 a 1993.....	99
Figura 11. Captura promedio mensual de macarela en el Golfo de California (1973-1993).....	100
Figura 12. Composición de tallas mensual de la captura de macarela del Golfo de California, 1984.....	101
Figura 13. Composición de tallas mensual de la captura de macarela del Golfo de California, 1985.....	102
Figura 14. Composición de tallas mensual de la captura de macarela del Golfo de California, 1986	103
Figura 15. Composición de tallas mensual de la captura de macarela del Golfo de California, 1987.....	104

Figura 16. Composición de tallas mensual de la captura de macarela del Golfo de California, 1988.....	105
Figura 17. Composición de tallas mensual de la captura de macarela del Golfo de California, 1989.....	106
Figura 18. Composición de tallas mensual de la captura de macarela del Golfo de California, 1990	107
Figura 19. Composición de tallas mensual de la captura de macarela del Golfo de California, 1991.....	108
Figura 20. Composición de tallas mensual de la captura de macarela del Golfo de California, 1992.....	109
Figura 21. Composición de tallas mensual de la captura de macarela del Golfo de California, 1993.....	110
Figura 22. Composición de tallas de la captura de macarela <i>S. japonicus</i> , de 1984 a 1993.....	111
Figura 23. Composición de edades mensual de la captura de macarela del Golfo de California, 1985.....	112
Figura 24. Composición de edades mensual de la captura de macarela del Golfo de California, 1986.....	113
Figura 25. Composición de edades mensual de la captura de macarela del Golfo de California, 1987.....	114
Figura 26. Composición de edades mensual de la captura de macarela del Golfo de California, 1988.....	115
Figura 27. Composición de edades mensual de la captura de macarela del Golfo de California, 1989.....	116
Figura 28. Composición de edades mensual de la captura de macarela del Golfo de California, 1990.....	117
Figura 29. Composición de edades mensual de la captura de macarela del Golfo de California, 1991.....	118

Figura 30. Composición de edades mensual de la captura de macarela del Golfo de California, 1992.....	119
Figura 31. Composición de edades mensual de la captura de macarela del Golfo de California, 1993.....	120
Figura 32. Composición de edades anual de la captura de macarela del Golfo de California, 1984-1993.....	121
Figura 33. Talla promedio mensual de <i>S. japonicus</i> del Golfo de California.....	122

LISTA DE TABLAS

	Pagina
Tabla I. Sitios de pesca, periodos de muestreo, y origen del material biológico de <i>S. japonicus</i>	5
Tabla II. Tamaño de muestra masiva y muestra biológica de <i>S. japonicus</i> por sitio de pesca.....	6
Tabla III. Fechas y sitios de muestreo de juveniles de <i>S. japonicus</i> en el Golfo de California.....	6
Tabla IV. Definiciones de Stock.....	34
Tabla V. Estimaciones de mortalidad total Z, mortalidad por pesca F y tasa de explotación E basada en datos de la composición por edad de <i>S. japonicus</i> del Golfo de California.....	94

TABLA DE CONTENIDO

	pagina
AGRADECIMIENTOS.....	i
RESUMEN	ii
ABSTRACT.....	iii
PROLOGO.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABLAS.....	ix
TABLA DE CONTENIDO.....	x
CAPITULO I	
I.1 INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
I.2 OBJETIVO.....	3
I.2.a Objetivos particulares	3
I.3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
I.3.a. Determinación de edad > 0 años.....	6
I.3.b. Validación de la determinación de edad.....	7
I.3.c. Crecimiento individual >0 años.....	8
I.3.d Determinación de edad y crecimiento en juveniles (<0 años)	9
I.3.e. Ciclo de madurez, periodo reproductivo, talla y edad de reproducción.....	11
CAPITULO II ANTECEDENTES BIOLÓGICOS DE <i>Scomber japonicus</i>	
II.1 Biología de <i>S. japonicus</i>	12
II.1.a. Distribución y hábitat.....	12
II.1.b. Taxonomía.....	14
II.1.c. Descripción de <i>S. japonicus</i>	15
II.1.d. Posición trófica.....	15
II.1.e. Definición de grupo poblacional o stock.....	17
II.1.f. Reproducción.....	19
II.1.g. Crecimiento.....	21
II.2 Características pesqueras y ambientales.....	22
II.2.1 Pesca de macarela en aguas mexicanas del océano Pacífico y mercado mundial	22
II.2.2 Ambiente Físico.....	25
CAPITULO III RESULTADOS	
	35

Evidencias de distintos grupos poblacionales de macarela *S. japonicus*

Resumen 35

Publicación: Gluyas Millán M. G. 1994. Reproducción, edad y talla de primera madurez de la macarela *Scomber japonicus* (Houttuyn 1872) en Bahía Vizcaíno. *Ciencias Marinas*. 20(3): 20(3):409-419..... 37

Publicación: Gluyas Millán M. G. y C. Quiñónez Velázquez. 1996. Evidencias de distintos grupos poblacionales de macarela *Scomber japonicus*. *Ciencias Marinas* 22(3):377-395..... 48

CAPITULO IV 68

Edad, crecimiento y reproducción de la macarela *S. japonicus* del Golfo de California

Resumen 68

Publicación: Gluyas Millán M. G. y C. Quiñónez Velázquez. 1997. Age, growth and reproduction of pacific mackerel *Scomber japonicus* in the Gulf of California. *Bulletin of Marine Science*. 61(3):837-847..... 70

Publicación: Gluyas Millán M. G., M. Castonguay y C. Quiñónez-Velázquez. 1998. Growth of juvenile Pacific mackerel, *Scomber japonicus* in the Gulf of California. *Scientia Marina*. 62(3):225-231..... 81

CAPITULO V 90

Composición por talla y edad de la captura y mortalidad de la macarela *S. japonicus* del Golfo de California, 1984-1993

Resumen 90

Introducción..... 90

Materiales y Métodos 91

Resultados 93

Discusión..... 94

CAPITULO VI 123

Discusión general 123

Conclusiones..... 136

Recomendaciones 138

Literatura citada..... 139

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL

La macarela *S. japonicus* es una de las especies de pelágicos menores que captura la pesquería de sardina en la costa mexicana del Océano Pacífico y Golfo de California (GC). Tiene alta demanda como carnada viva en la pesca deportiva-recreativa de Los Cabos, BCS. Existen cuatro sitios de pesca de *S. japonicus*, relativamente aisladas geográficamente: Ensenada, Bahía Magdalena, Bahía Vizcaíno (hasta 1994 fue zona de pesca) y GC (Fig. 1). Las tres primeras están ubicadas en la costa occidental de la península de Baja California, zonas altamente productivas e influenciadas por el extremo sur de la Corriente de California, donde confluyen masas de agua de origen tropical, subtropical y ártico. Entre Bahía Vizcaíno y Bahía Magdalena se localiza una zona de transición templado-tropical. En el GC los rasgos de las corrientes, la generación de surgencias, y la alta productividad son determinadas por los vientos estacionales, la topografía submarina, y la intensidad de las mareas (Roden 1964; Álvarez-Borrego 2001).

Existe un grupo de especies de pelágicos menores característicos de la Corriente de California y de otros sistemas de corriente de margen oriental, en ese grupo se encuentra *S. japonicus* macarela del Pacífico, *Sardinops caeruleus* sardina Monterey, y *Engraulis mordax* anchoveta, principalmente (Bakun y Parrish 1982). Estas especies tienen en común que son de vida relativamente corta, producen grandes volúmenes de biomasa, se encuentran cerca de la base de la trama trófica y muestran cambios extremos en su abundancia relativa (Csirke 1988), incluso sin ser pescadas (Soutar e Isaacs 1969; Holmgren-Urba y Baumgartner 1993). Aún no es claro cuales son las causas que mejor explican la gran variabilidad en el reclutamiento de esas especies, existe controversia respecto a cuales son los principales factores que la promueven. Entre ellos se consideran: variaciones del ambiente físico (interanuales y de mayor escala), mortalidad por pesca (sobrepesca del crecimiento y sobrepesca del reclutamiento), una combinación de ambas, relaciones interespecíficas, y cambios en distribución entre otras.

La información básica de la historia de vida de las especies aprovechadas comercialmente, es aquella que constituye el conocimiento de una serie de procesos importantes que las caracterizan, como: crecimiento, longevidad, reproducción y migración. Con los cuales es posible determinar la composición de tallas y edades de la captura, conocer la fracción de la población que es removida por la pesca, y evaluar los efectos que la pesca tiene en alguna de sus etapas de vida, entre otros. Generalmente la pesca incide en la fracción de la población adulta, y por lo tanto su monitoreo es una fuente de información accesible a través de la cual es posible conocer sus características. Para esta tesis, esa fue la principal fuente de información. Sin embargo, para abordar la historia de vida temprana (larva y juvenil) es necesaria información independiente de la pesquería. A esta etapa de vida se ha puesto especial atención, debido a que se ha sugerido que una comprensión adecuada de su ecología y dinámica es importante debido a que esa etapa puede ser crítica en determinar el futuro vigor de las clases anuales o reclutamiento (Sissenwine 1984; Peterman *et al.* 1988), y para la cual existen varias hipótesis que lo explican. El origen de información para esa etapa de vida, consistió de cruceros de pesca exploratorio, independientes de la pesca comercial. El conocimiento de las características cualitativas y cuantitativas de las poblaciones, también pueden ser indicadores indirectos del estado de un recurso, y proporcionan referencias útiles en la aplicación de procedimientos de manejo. Además, constituyen la información básica con la cual trabajan modelos pesqueros para estimar biomasa y mortalidades.

La presente investigación tiene por objeto aportar conocimiento de la historia de vida de *S. japonicus* de aguas mexicanas del Océano Pacífico. Para este propósito se hizo una revisión de los antecedentes de la especie en el océano pacífico nororiental, con especial énfasis a la costa occidental de Baja California y GC, y de los aspectos teóricos de algunas etapas de su historia de vida. Se abordan dos etapas de vida: la etapa juvenil en la cual ocurre alimentación exógena, y la etapa adulta, en la cual en algún periodo del año se reproduce. Cada etapa de desarrollo tiene su propio sistema de relaciones con el ambiente y con la propia población.

Para lo anterior se dispuso de un extenso material e información biológica de muestreos dependientes de la pesquería de cada sitio de pesca referido, el origen y periodo de colecta se presenta en detalle en el capítulo de materiales y métodos. Con esta información, que corresponde en su mayoría a la etapa adulta, y con una revisión del estado del conocimiento de la macarela de del Pacífico nororiental, se planteó una hipótesis de la existencia de más de un grupo poblacional de *S. japonicus* en aguas mexicanas. El procedimiento para evaluar la hipótesis, fue a través de conocer las características biológicas más importantes de la macarela de los distintos sitios geográficos: edad, longevidad, talla y edad de reproducción, ciclo y periodo de reproducción, composición de tallas y edades, entre otras, y que al contrastarlas permitieran evidenciar diferencias o similitudes geográfica en su historia de vidas, si ocurren en periodos semejantes, en qué etapa de su vida ocurren, y la conveniencia de analizar la información integrando todos los sitios de pesca o separarla. Una vez definido lo anterior y de acuerdo a los resultados, se procedió hacer el análisis necesario, para un sitio particular, para el cual se determinó la edad en otolitos, el crecimiento individual, inferir desplazamientos a partir de cambios temporales y geográficos de organismos con distintos grados de madurez gonádica, determinar a través de la composición de tallas y edades, las características de la fracción de la población sobre la cual incide la pesca y estimar la mortalidad. La etapa de vida juvenil se abordó con material biológico independiente de la pesquería, se determinó la edad y el crecimiento, a partir de observaciones de la microestructura del otolito a escala diaria. Se presenta una discusión general y conclusiones.

I.2 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general es describir la historia de vida y dinámica poblacional de la macarela *S. japonicus* de la costa occidental de Baja California y el Golfo de California.

I.2.a Objetivos particulares:

- 1) Revisar el conocimiento actual de la historia de vida de *S. japonicus* de aguas mexicanas del Océano Pacífico.

- 2) Mostrar evidencias que permitan distinguir grupos poblacionales de *S. japonicus* en el océano Pacífico mexicano, a partir de conocer y contrastar características biológicas de su historia de vida en distintos sitios geográficos.
- 3) Para la etapa de vida adulta, determinar edad, longevidad, crecimiento, periodo de reproducción, talla y edad de reproducción, desplazamientos, así como la mortalidad, composición por tallas y edades de la captura comercial de *S. japonicus* del GC.
- 4) Para la etapa de vida juvenil, determinar edad y crecimiento de *S. japonicus* del GC.

I.3 MATERIALES Y METODOS

Se describe el material y los métodos utilizados en cuatro capítulos, que constituyen los resultados de esta tesis. En el capítulo II se hizo una revisión, con la información disponible, de los antecedentes biológicos de *S. japonicus* del Océano Pacífico nororiental, particularmente de aguas mexicanas, y se abordan temas como: distribución, taxonomía, posición trófica, definición de stock, reproducción, crecimiento, pesca y ambiente.

El material biológico del capítulo III, IV y V proviene de muestreos mensuales de las descargas comerciales de embarcaciones sardineras que pescaron de 1984 a 1993 en el GC, de 1980 a 1989 en Bahía Magdalena, de 1984 a 1986 en Bahía Vizcaíno y en 1989, 1990 y 1993 en Ensenada (Tabla I), información obtenida de los programas de investigación oficiales del Instituto Nacional de La Pesca-SAGARPA y del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN.

El monitoreo consistió en tomar muestras de la captura comercial desembarcada en Guaymas y Yavaros en Sonora; Pto. San Carlos y Pto. Adolfo López Mateos en Baja California Sur; e Isla de Cedros y Ensenada en Baja California (Fig. 1). El procedimiento de muestreo es descrito en Félix-Uraga (1986) y Cisneros-Mata *et al.* (1995). El primer tipo de muestra se denominó masivo y, el segundo que es una submuestra del primero, se denominó muestreo biológico. En cada uno se obtiene información de sitios de pesca, fecha, captura total, peso de la muestra y longitud estándar de los organismos. La primera consistió en tomar al azar, por embarcación, una muestra de ~10-15 kg, todos los

individuos se midieron (longitud estándar, LE) al mm más cercano, y se registró su frecuencia por intervalo de 5 mm. El muestreo biológico consistió en tomar ~5 individuos de cada intervalo de talla registrado en la distribución de frecuencias del muestreo masivo, se pesó el total de la muestra; y para cada individuo se obtuvo el peso total y peso eviscerado (g), se midió la LE y longitud furcal en mm, se determinó el sexo, el estadio de madurez de acuerdo a la escala morfocromática de Nikolsky (1969) modificada por Cisneros-Mata (1987). Se extrajeron el par de otolitos *sagitta*, los cuales se almacenaron en seco para posteriormente prepararlos para su observación y determinar la edad. El tamaño de las muestras masivas y biológicas de cada sitio de pesca se presenta en la Tabla II. La muestra masiva, sin utilizar el procedimiento de extrapolación a la captura, se usó para obtener las distribuciones de frecuencias de tallas del capítulo III y IV, así como una muestra de otolitos del total de los individuos del muestreo biológico para obtener distribución de frecuencias de edades y sus características de madurez.

El material biológico de juveniles de *S. japonicus* del capítulo IV se obtuvo de muestras independientes de la captura comercial, de cruceros de investigación de pesca exploratoria realizados por el INP en el GC de 1990 a 1996 (Tabla III). La colecta se realizó con una red de arrastre de media agua de cuatro tapas de 35 m de longitud, con luz de malla de una pulgada en el copo y 0.75 pulgadas en el sobrecopo, la cual se arrastró a una velocidad de 4 nudos y lances de 30 minutos. El procedimiento detallado es descrito en Quiñónez-Velázquez *et al.* (2000).

Tabla I. Sitios de pesca, periodos de muestreo y origen del material biológico de *S. japonicus*.

Sitios de pesca	Periodo de muestreos de la captura comercial	Origen de la Información
Ensenada	1989, 1990, 1993	CRIP-Ensenada-INP
Bahía Vizcaíno	1984 a 1986	CICIMAR-IPN
Bahía Magdalena	1980 a 1989	CICIMAR-IPN
Golfo de California	1984 a 1992	CRIP-Guyamas-INP

Tabla II. Tamaño de muestra masiva y muestra biológica de *S. Japonicus* por zona de pesca.

Sitios de pesca	No. individuos de muestra masiva	No. individuos de muestra biológica
Ensenada	992	842
Bahía Vizcaíno	1288	879
Bahía Magdalena	5298	1439
Golfo de California	18137	3793

Tabla III. Fechas y sitios de muestreo de juveniles de *S. japonicus* del Golfo de California.

Fecha	Sitios de muestreo
marzo 1990	Bahía Animas
mayo-agosto 1991	Bahía de Guaymas
mayo-agosto 1992	Bahía Animas
febrero-mayo 1993	Bahía de Yavaros
febrero 1994	Bahía San Rafael
febrero 1995	Bahía de Guaymas - Mulegé
febrero 1996	Mulegé

I.3.a Determinación de edad > 0 años

La edad se determinó en los otolitos que se extrajeron de los peces tomados del muestreo biológico. Los peces tienen tres pares de otolitos, uno de ellos es el denominado *sagitta*, es el más grande de los tres, y el que se usa comúnmente para determinar la edad. Son estructuras calcáreas situadas en el oído interno compuestas de material orgánico e inorgánico. En *S. japonicus* el material inorgánico, carbonato de calcio en forma de calcita, aragonita, vaterita o monohidrato de carbonato de calcio (Fitch 1951), se deposita en una matriz orgánica que generalmente es otolina. La tasa de deposición de ambos materiales refleja los periodos de rápido y lento crecimiento durante el año, así como los cambios ambientales y fisiológicos durante la vida del pez (ver revisión de Lai *et al.* 1996). La alternancia de la deposición del material orgánico e inorgánico en los otolitos, tiene como resultado diferente apariencia que depende del método de observación. Esta diferencia es la base para la identificación de las marcas o anillos de crecimiento (Williams y Bedford 1974).

Una vez extraídos los otolitos se almacenaron en seco, se limpiaron y se prepararon para observarse en un microscopio con luz reflejada. Inicialmente se observaron y se contaron las marcas sumergiendo el otolito en agua y posteriormente se montaron con resina clara en portaobjetos. La resina realza la definición de las bandas y provee un medio de protección y almacenamiento a largo plazo. Con un micrómetro ocular se midió el radio del otolito (Fig. 2) para posteriormente conocer la relación entre su tamaño y el tamaño del pez. Con un análisis de regresión se definió la relación entre ambos. Al observarse las estructuras se identificaron bandas opacas e hialinas en la cara externa de la parte posterior del otolito (Fig. 2 y 3), se contó el conjunto de bandas formadas por una opaca y una hialina; se registró el tipo de borde externo del otolito, y a cada lectura se le asignó un grupo de edad de acuerdo al número de bandas, según el esquema de la figura 3. Este procedimiento fue utilizado por Fitch (1951) y Gluyas-Millán (1990) en la macarela del sur de California y Bahía Vizcaíno, y por Félix-Uraga (1986) en la sardina de Bahía Magdalena, y adoptado y mantenido en las lecturas (que es el conteo de las marcas) de los otolitos de macarela en este trabajo. Las observaciones al microscopio se hicieron con luz reflejada, de tal manera que la banda opaca se observó blanca y la banda hialina negra o gris. Los otolitos contienen características medibles como: rasgos morfométricos lineales, de densidad óptica, patrones de crecimiento y constituyentes elementales (Campana y Neilson 1985) Aunque la morfometría del otolito no puede usarse para separación de stocks con una base genética, si proveen una base fenotípica para la separación de stocks, que es útil para propósitos operativos de manejo (Begg y Walkman 1999).

I.3.b Validación de la determinación de edad

Una prueba para validar la periodicidad de formación anual de las marcas de crecimiento, se aplicó primero en la macarela de Bahía Vizcaíno por Gluyas-Millán y Félix-Uraga (1990) y posteriormente en la macarela de los otros tres sitios de pesca. La prueba consistió en clasificar mensualmente los otolitos de acuerdo al tipo de borde opaco o hialino, sin distinguir la edad y también para dos edades completamente reclutadas a la pesca; el porcentaje de cada categoría se graficó mensualmente y se analizó su variación. Esta es una prueba cualitativa que requiere de muestras de al menos un ciclo anual. La prueba indicó

que durante un año se forma una banda opaca y una hialina, el conjunto de ambas corresponde a un año de edad, así que a un mismo número de bandas opacas o hialinas le corresponde el mismo número de años de edad (Fig. 3). A partir de este resultado a cada lectura se le asignó la edad. Para evaluar la precisión del conteo de las bandas, se hicieron tres lecturas entre dos lectores, se determinó el porcentaje de acuerdo, y posteriormente se hizo una tercera lectura que fue la definitiva. Este procedimiento se aplicó a la macarela de cada sitio de pesca con el objeto de conocer, analizar y contrastar el patrón de deposición del material orgánico e inorgánico de los otolitos, determinar la periodicidad de formación de ese material, que es considerado como las marcas de crecimiento, y para usarlo como una característica biológica que permitiera distinguir grupos poblacionales.

I.3.c Crecimiento individual >0 años

El crecimiento individual es la determinación de la longitud del cuerpo L en función de la edad t , que influye sobre: los pesos y tamaños de los individuos de la población, la madurez sexual y la fecundidad, que a su vez influyen en la producción de nuevos individuos. Existen varios modelos que describen la forma que crecen los peces, el modelo de von Bertalanffy (VB), es el más ampliamente usado, describe una curva asintótica de la longitud que el pez alcanzaría si éste crece indefinidamente, y se ha observado que ajusta el crecimiento observado en muchas especies de peces. Otro aspecto importante de este modelo, es que sus parámetros son utilizados en submodelos para estimar rendimientos por recluta, y otros aspectos de la dinámica poblacional de peces (Beverton y Holt 1957). El modelo de VB asume: 1) que el crecimiento es el resultado de la diferencia entre el anabolismo (construcción de tejido) y catabolismo (lo contrario), 2) que el anabolismo es alto en la vida temprana, por lo que ocurre un elevado crecimiento en esa etapa, pero declina con relación al catabolismo conforme crece; cuando las tasas son las mismas, no hay más crecimiento. Este modelo se usó para determinar el crecimiento individual de individuos >0 años, tiene la siguiente expresión:

$$L_t = L_{\infty} (1 - \exp(-K(t-t_0)))$$

donde: L_t = Longitud a la edad t

L_{∞} = Longitud asintótica

K = coeficiente de crecimiento

t_0 = edad cuando la longitud es igual a cero o parámetro de ajuste

t = edad en años

L_{∞} es interpretada como la longitud de los peces más viejos, la longitud máxima alcanzada. K es el parámetro de curvatura e indica que tan rápido el pez alcanza L_{∞} . t_0 determina el punto en el tiempo cuando el pez tiene longitud cero, también llamado parámetro de condición inicial o de ajuste. El modelo fue ajustado a los datos observados de edad-longitud, para obtener los valores de los parámetros L_{∞} , K , t_0 . Por tratarse de un ajuste no lineal se usó el modulo NONLIN de SYSTAT (Wilkinson 1990).

I.3.d Determinación de edad y crecimiento en juveniles (< 0 años)

La determinación de edad en juveniles (<0 años) fue a escala de días, y consistió en la observación de la microestructura de sus otolitos, esto es, de los incrementos con periodicidad diaria, los cuales fueron evidenciados por Panella (1971, 1974). A partir de 15 mm ocurre la metamorfosis y se consideran juveniles (Hunter y Kimbrell 1980). Se midió la longitud estándar de los juveniles y los otolitos *saggita* se removieron y guardaron en seco hasta que se montaron en portaobjetos con resina cianoacrilato (Krazy Glue^(MR)). Los otolitos fueron lijados hasta observar el núcleo, se utilizaron lijas de grano fino (3 a 30 μm), y se observaron con luz transmitida para contar los incrementos. La parte central del otolito (cercana al núcleo) fue leída a 1000 x en aceite de inmersión (los primeros 10 a 15 anillos), mientras que la parte externa se observó a 250 x. El conteo de los incrementos de crecimiento se hizo en el eje más corto de acuerdo a D'Amour *et al.* (1990) y Simard *et al.* (1992). El conteo empezó desde un prominente anillo oscuro cerca del centro, que se presentó en todos los otolitos. Se asumió que éste fue la marca de eclosión de acuerdo a Migoya (1989) quien determinó que una marca similar en los otolitos de la macarela del Atlántico cultivada, fue una marca de eclosión. Se asumió que los incrementos se depositaron diariamente de acuerdo a lo determinado experimentalmente por Migoya (1989) y D'Amour *et al.* (1990) en la macarela del Atlántico. Además se realizaron pruebas indirectas de validación, como: relacionar el diámetro del otolito con la longitud de los peces juveniles, y comparación de pendientes de la relación longitud y edad en días de

juveniles cultivados (datos de Hunter y Kimbrell 1980) y silvestres (presente trabajo). Se realizaron tres lecturas (conteos), y el promedio fue usado en el análisis. Cuando el conteo difirió por más de cinco anillos, el otolito fue leído nuevamente. En los casos en que el desacuerdo persistió, el otolito no fue incluido en el análisis.

El crecimiento individual de juveniles se describió con el modelo de Gompertz (Gpz) de acuerdo a Ricker (1979), ese modelo es ampliamente aceptado para describir el crecimiento en la vida temprana de los peces. Es una curva asimétrica en forma de S. Tanto el modelo de VB como el de Gpz tienen parámetros que indican: 1) la tasa de crecimiento, 2) punto de inflexión (si el crecimiento es sigmoideo) y, 3) asíntota o tamaño final. Antes de la reproducción ocurre la mayor tasa de crecimiento, y a una escala de días es posible observar más detalle. En la vida temprana (<0 años), el crecimiento se acelera conforme se desarrollan los medios para asimilar energía, después puede haber una desaceleración del crecimiento, por ejemplo al cambiar de una fuente de nutrientes a otra, cambio de hábitat, y/o algún otro evento importante. El modelo de Gpz identifica cuando ocurre ese cambio, que es el punto de inflexión de la curva. Después, ocurre una leve aceleración, y subsecuentemente el crecimiento se mantiene en promedio estable hasta la desaceleración terminal que ocurre cuando alcanza el tamaño de madurez.

El modelo de Gpz se ajustó a los datos de edad-longitud, y para estimar los parámetros se usó el módulo NONLIN de SYSTAT (Wilkinson 1990).

$$L_t = L_\infty e^{-e^{-g(t-t_0)}}$$

donde:

L_t = Longitud estándar (mm) a la edad t (días a partir de la eclosión),

L_∞ = Longitud estándar asíntótica (mm) al final de la primera temporada de crecimiento,

g = tasa de crecimiento instantánea cuando $t = t_0$

t = edad en días (días a partir de la eclosión),

t_0 = edad de crecimiento máximo (punto de inflexión de la curva).

La variabilidad interanual del crecimiento fue evaluada comparando periodos de crecimiento en peces de la misma edad, colectados en febrero de 1995 y febrero de 1996.

Las regresiones lineales de la longitud vs. edad, se compararon con un análisis de covarianza para conocer si las pendientes fueron diferentes. Se obtuvo la distribución de fechas de eclosión de *S. japonicus* restando del conteo de incrementos de crecimiento a la fecha de captura (Campana y Jones 1992). La distribución se contrastó con el periodo de reproducción determinado para la macarela del GC a partir de observaciones del estado de la gónada.

I.3.e Ciclo de madurez, periodo reproductivo, y talla y edad de reproducción

El ciclo de madurez se definió únicamente con las hembras, graficando mensualmente la proporción mensual de sus estadios de madurez. Una vez definido el ciclo de madurez, el periodo de reproducción se determina con los meses en que ocurrió la mayor proporción del estadio cuya observación de la condición de la gónada indicó madurez. Una vez definido ese periodo, se toman los valores de talla y edad de los organismos con gónadas maduras que provienen de este último periodo, con esa información se construye una distribución de frecuencias acumuladas a la cual se ajustó una función logística con el modulo NONLIN de SYSTAT (Wilkinson 1990), y se obtiene el valor de la talla y la edad a la cual el 50% de los individuos maduran en la población. La talla y la edad a la cual el 50% se reclutan a la pesquería también se estimó con este procedimiento pero considerando todos los organismos. La edad de primera madurez se define como aquella edad a la cual se reproducen, y está asociada a una talla. No todos los individuos se reproducen a la misma talla y/o edad. A escala poblacional se define como la edad y talla a la cual el 50% de los organismos están maduros. El conocimiento de esa talla y edad es esencial para evaluar el stock desovante. Para su estimación el muestreo debe ser suficiente, se considera que esto se cumple, ya que en este caso el material biológico procedió de la captura comercial de macarela de al menos tres años y como máximo nueve años (Tabla I). Generalmente la pesca captura mayormente organismos adultos; esto asegura disponer de los organismos cuyas tallas y edades están alrededor de aquella en las que la población empieza a madurar.

CAPITULO II RESULTADOS

II.1 Biología de *S. japonicus*

II.1.a Distribución y hábitat

La macarela *S. japonicus* es un pez pelágico que habita en la zona nerítica de regiones templadas y subtropicales (Collete y Nauen 1983). En el océano Pacífico Nororiental se distribuye desde Bahía Banderas, incluyendo el GC, hasta el sureste de Alaska. La especie es común desde Monterey Ca. EUA hasta el GC; también se distribuye en la costa y zona oceánica del Pacífico suroriental (Kramer 1969) y fuera de las 200 millas de la costa del sistema de la corriente de California (Ermakov 1996).

Esta especie tiene una compleja estructura intraespecífica, poco estudiada, poblaciones aisladas en mar abierto viven en todos los océanos (Kotlyar y Abramov 1982) como: el mar de Japón, zonas económicas exclusivas de Rusia y Corea (Belvaev *et al.* 2002; Belvaev y Shershenkov 2002), Sudáfrica (Crawford y De Villiers 1984), Perú (Kotlyar y Abramov 1982) y California (Ermakov 1996). Generalmente las principales poblaciones de *S. japonicus* habitan las zonas costera donde ocurren surgencias, y las poblaciones de mar abierto, exploradas y aprovechadas por flotas de ultramar, cerca del límite de las 200 millas de mar patrimonial y fuera de este, han sido poco estudiadas. En Perú la distribución de *S. japonicus* se extiende a la zona epipelágica de altamar, entre 10 y 250 m de profundidad fuera y dentro de la plataforma continental. Rosenblatt (1996) (citado en Castro-Hernández y Santana-Ortega 2000) reporta que los trópicos parecen ser una barrera importante a los movimientos entre las poblaciones del sur y noroeste del Pacífico. Poblaciones de *S. japonicus* habitan en el mar de Japón, en el mar del este de China y en la costa oriental de Japón, las cuales han sido divididas en tres grupos de acuerdo a sus características fenotípicas. Algunos de estos grupos se distribuyen en mar abierto y se acercan a la plataforma en periodos en que están sexualmente maduros, y los consideran stocks (Castro-Hernández y Santana-Ortega 2000).

En aguas mexicanas la macarela habita la plataforma continental del océano Pacífico y el GC. Se detecta en la zona costera a una distancia aproximada de 30 millas de la costa, donde se pesca junto con la sardina. Sin embargo, su distribución se extiende fuera de las 30 millas según lo muestra la distribución de huevos y larvas en la costa occidental de Baja California (Bautista Romero 1997). En el GC también se localiza a lo largo de la plataforma continental de Sonora y norte de Sinaloa principalmente, y en menor proporción en la costa de la península de Baja California. También se ha registrado entre 0 y 350 m de profundidad con redes de arrastre de media agua en el GC (Lavenberg y Fitch 1966). Lo anterior sugiere la posibilidad que una fracción del stock de macarela pueda distribuirse a profundidades mayores a la que operan las embarcaciones de cerco, las cuales pescan superficialmente (5-100 m de profundidad). También, su distribución podría extenderse lejos de la costa, dentro de las 200 millas de la zona económica de México. Kramer (1960) reportó que las larvas de *S. japonicus* se localizan hasta 250 millas de la costa del norte de Baja California, indicando su hábitat epipelágico. Roedel (1949) señala que en la costa del Pacífico de Norte América *S. japonicus* permanece principalmente a 100 millas de la costa. Sin embargo, Ermakov (1996) documenta resultados de prospecciones rusas, con redes de arrastre de media agua, afuera de 200 millas de Baja California y California (28° y 40° N), y señala que entre 1980-1985 no detectaron poblaciones de *S. japonicus*, mientras que en invierno y primavera de 1986 detectaron pequeñas poblaciones, y en 1991 éstas fueron mayores, con tallas >30 cm de longitud, y 53% y 24% de la captura fueron individuos de 3 y 4 años de edad. Ermakov (1996) señala que las agregaciones de macarela cerca de la costa de California y fuera de las 200 millas, son similares en tallas, edad y tasa de crecimiento, y que las zonas de crianza que ellos observaron, son extensiones de las documentadas para la costa de California y son dependientes de éstas últimas; su explicación hipotética se basa en condiciones oceanográficas particulares, las cuales favorecerían periódicamente que se formaran en mar abierto extensiones de la población costera, y alude la posibilidad de pescar en mar abierto.

Las especies del género *Scomber* son migratorias; su ciclo de vida presenta cambios geográficos estacionales en su distribución, los cuales tienen propósitos reproductivos y de alimentación, y estos pueden ser extensos (Collete y Nauen 1983; Collignon 1991; Nøttestad *et al.* 1999; Jennings *et al.* 2001). En general, los peces en el hemisferio norte se

mueven más hacia el norte durante el verano y en invierno hacia el sur, y un patrón inverso ocurre en el hemisferio sur. La formación de cardúmenes es un comportamiento que los hace altamente vulnerables a la pesca superficial con redes de cerco. En clupeidos, el tamaño de los cardúmenes, sus rasgos y dinámica están relacionados con evitar predadores, alimentación, migración, conservación de energía y reproducción (Blaxter y Hunter 1982), y también con la abundancia (Fréon y Misund, 1999 citado en Cury *et al.* 2000). *S. japonicus* empieza a formar cardúmenes desde una longitud de 30 mm (Collete y Nauen 1983). En la etapa adulta los cardúmenes son más estructurados y compactos, mixtos y puros de dimensiones variables. Los cardúmenes mixtos se forman con *Sarda chilensis*, *Trachurus symmetricus*, y *Sardinops sagax* (Collete 1995).

En la etapa de vida larval, su distribución en parches se relaciona con el comportamiento de los peces adultos. Para garantizar el éxito de la fertilización en un ambiente pelágico, los huevos se depositan cuando los adultos están agregados, y el desove y fertilización debe ocurrir casi simultáneamente (Hewitt 1981). Posteriormente, los huevos y larvas se dispersan, principalmente en dirección horizontal; los patrones de distribución durante este periodo están influenciados por difusión, dispersión y transporte (Smith 1973 citado en Matsuura y Hewitt 1995), de aquí que las zonas de desove se ubiquen en sitios específicos cuyas condiciones físicas (plumas o corrientes de chorro) permitirán el transporte de huevos, larvas y/o juveniles hacia zonas de crianza (Hamman *et al.* 1988). Un mecanismo semejante podría ocurrir en *S. japonicus* y otras especies de pelágicos menores en el GC.

II.1.b. Taxonomía

Su clasificación taxonómica es la siguiente:

Phylum: Chordata
 Subphylum: Vertebrata
 Clase: Osteichthyes
 Orden: Perciformes
 Familia: Scombridae
 Genero: *Scomber*
 Especie: *S. japonicus*, Autor: Houttuyn, 1782
 Sinonimia: *Pneumatophorus japonicus*, (Houttuyn, 1782).
 Nombre común: macarela del Pacífico, macarela, chub mackerel.

El término pelágicos menores se usa para agrupar a las especies de macarela, sardina Monterey *Sardinops caeruleus*, anchoveta *Engraulis mordax*, Sardina crinuda *Ophistonema spp.*, sardina bocona *Cetengraulis mysticetus*, charrito *Trachurus symmetricus*, sardina japonesa *Etrumeus teres*, sardina piña *Oligoplites refulgens* y bonito *Sarda chilensis* (DOF 28 agosto 2000).

II.1.c. Descripción de *Scomber japonicus*

Scomber japonicus tiene un cuerpo fusiforme altamente hidrodinámico, con un pedúnculo caudal estrecho que le confiere una poderosa aleta caudal (Fig. 4). El color del dorso es azul metálico acerado, cruzado por líneas tenues. En la parte del vientre tiene manchas sobre un color amarillo plateado. Son nadadores continuos y pueden alcanzar altas velocidades de nado (226 cm/seg) (Hunter y Zweifel 1971). Esto se debe al equilibrio de las fuerzas horizontales de empuje y resistencia al avance, y las fuerzas verticales que ejercen el peso y la flotación más el empuje hidrodinámico. Cuando las fuerzas opuestas son iguales se dice que el pez está en equilibrio, esto es, nadando a una velocidad o profundidad constante (Magnuson 1978).

II.1.d. Posición trófica

Scomber japonicus del GC esta ubicada en el tercero y cuarto nivel trófico del ambiente epipelágico del GC, en la fase adulta emplea alimentación por filtración y en la juvenil son alimentadores de partículas. La presa más importante son larvas de peces (*Engraulis mordax* y *Sardinops caeruleus*), seguida por larvas de crustáceos (brachyurus, estomatópodos y copépodos); es un carnívoro facultativo que prefiere presas zooplanctónicas y microplanctónicas cuya variabilidad depende de los cambios estacionales (Molina *et al.* 1996). *S. japonicus* es presa de predadores topos como: aves marinas (Collete y Nauen 1983; Velarde *et al.* 1994), mamíferos marinos (Lowry *et al.* 1990; Silva 1999; Lindstrøm *et al.* 1998), y pelágicos mayores (Yoshida 1980) como peces picudos (Abitia-Cárdenas *et al.* 1999), atunes (Pinkas 1962) y tiburones (Smale 1991). *S. japonicus* permanece cerca del fondo durante el día, en mar abierto sube a la superficie en la noche

(www.Fishbase.org) donde se alimenta de copépodos, y otros crustáceos, peces y calamares en diferentes proporciones (Collete y Nauen 1983; Mendo 1984). Muck y Sánchez (1987) encuentran que en aguas peruanas la macarela y el jurel *Trachurus murphyi* son depredadores importantes de la anchoveta, su dieta se compone de copépodos, eufásidos, moluscos y peces, y que esta dieta cambia según las condiciones ambientales, en un año “El Niño” consume más eufásidos y en un año “normal” más anchoveta.

En el ecosistema marino, *S. japonicus* se ubica en ecosistemas de surgencias, donde existe un gran número de especies en el nivel trófico más bajo de la cadena de alimento (organismos planctónicos), y una cantidad menor pero considerable de predadores tope (peces, aves marinas, mamíferos marinos) que se alimentan del nivel trófico ápice o cerca de éste. Bakun (1996) ha identificado en esos ecosistemas, un nivel trófico intermedio ocupado precisamente por pelágicos menores (planctívoros), compuesto por un reducido número de especies dominantes que representan cerca de la mitad de la captura mundial (FAO 1997). Ese patrón de diversidad de especies en la cadena trófica le han denominado ecosistema “cintura de abeja” (Bakun 1996; Cury *et al.* 2000), el flujo de energía esta controlado por las especies dominantes (pelágicos menores). Cury *et al.* (2000) lo describe de la siguiente manera: 1) La abundancia de las presas (pelágicos menores) la cual depende del ambiente, controla tanto la abundancia de los predadores (el nivel trófico más alto) como la producción primaria (el nivel trófico más bajo). 2) Una disminución de la abundancia de las presas afecta negativamente la abundancia del predador. 3) La misma disminución en abundancia de la presa, reduce la depredación en el zooplancton, el cual incrementa su abundancia. 4) Una población abundante de zooplancton incrementa la presión de pastoreo y conduce a disminución del fitoplancton. Entonces, bajo este esquema, alteraciones de uno o más componentes del ecosistema puede tener efectos en los niveles más altos y/o más bajos. Aunque la pesca cambia la abundancia relativa de las especies (Larkin, 1996), se esperaría que también podría cambiar la estructura y funcionamiento de un ecosistema “cintura de abeja”, esto sería a través de diferentes mecanismos, como: aumento de especies predatoras o presas y cambio en la dinámica de los cardúmenes, entre otros (Cury *et al.* 2000).

II.1.e. Definición de grupo poblacional o stock

La macarela *S. japonicus* presenta una amplia distribución geográfica en el Océano Pacífico nororiental, se localiza desde Alaska hasta la altura de Jalisco, México. Su distribución comprende aguas costeras subtropicales y templadas. Aún no es completamente claro cuántos stocks o grupos poblacionales de *S. japonicus* pueden identificarse claramente, o si se trata de un sólo stock con una amplia distribución geográfica. Se esperaría encontrar una combinación favorable de varios factores ambientales que sean los más apropiados para la especie. Esa combinación aún no ha sido definida, pero es probable que se presenten mayormente cerca del punto medio del intervalo de la distribución geográfica, como se ha observado en varias especies de algunos géneros y familias (Rohde *et al.* 1993 citado en Jennings *et al.* 2001). El intercambio genético entre grupos es importante considerarlo, ya que si es extremadamente bajo, podrían ser genéticamente distintos, y esta sería una de las explicaciones de porqué diferentes stocks de la misma especie tienen diferentes rasgos de historia de vida. La migración también es importante para poder entender los cambios de abundancia en las áreas de distribución. El concepto de stock puede considerarse desde varios enfoques: genético, características biológicas (fenotípicas) y operacional. La delimitación del stock es necesaria para el manejo de los recursos pesqueros, por ejemplo: para asignar capturas entre pesquerías, para reconocer y proteger áreas de crianza y desove, para el desarrollo de óptimas capturas y estrategias de monitoreo (Begg y Walkman 1999). Existen varias definiciones de stock que se resumen en la Tabla IV. Algunos asumen que las unidades de manejo tienen características homogéneas para propósitos de manejo, y que comprende a todos los individuos de un área que son parte del mismo proceso reproductivo, se considera que no hay emigración o inmigración, o que ambos son extremadamente más bajos que la tasa de crecimiento poblacional. En ocasiones una fracción de la especie que se distribuye en un área particular, se considera un stock para propósitos de manejo, aunque sus delimitaciones biológicas y genéticas no sean conocidas (Anonymous 1998). Características de la historia de vida, como: crecimiento, sobrevivencia, edad y talla de reproducción, distribución, abundancia, entre otros, se han utilizado para identificar stocks, ya que son expresiones fenotípicas entre el genotipo y la influencia del ambiente (Begg *et al.* 1999). En algunos casos, la diferencia de esas características se ha tomado como

evidencia de que algunas poblaciones geográfica y/o reproductivamente aisladas (aunque pueda ocurrir mezcla estacionalmente), y por consiguiente podrían considerarse como unidades discretas para propósitos de manejo (Ihssen *et al.* 1981).

Los antecedentes sobre distinción de grupos poblacionales de *S. japonicus* del océano Pacífico nororiental inician con un estudio de marcado por Fry y Roedel (1949). Trataron de cubrir todo el intervalo de su distribución, pero marcaron más individuos en California que en Baja California, el sur de la distribución de *S. japonicus*, debido a la baja probabilidad de recuperación de las marcas en esos años en el último sitio. Ellos encontraron que en el sur de California, la disponibilidad de la macarela marcada en Bahía Vizcaíno y San Roque (~ 120 km al sur de Punta Eugenia) fue baja, mientras que la macarela marcada en el norte de California fue mayor, indicando poca mezcla entre las zonas. Los años en que se realizó el estudio 1939-41, fue un periodo al parecer El Niño, cuyas condiciones ambientales promovieron una fuerte migración hacia el norte de muchas especies de peces (Radovich 1961), y la macarela posiblemente fue afectada (Parrish y MacCall 1978). Roedel (1952) analizó algunos caracteres merísticos de vértebras, y morfométricos como mediciones de la cabeza y longitud furcal, y encontró que la población del GC y Cabo San Lucas se distingue de aquella de peces más norteños. Concluyó que hubo poca mezcla de peces de Bahía Vizcaíno y Ensenada, y admite que algunas diferencias con el estudio de marcado de Fry y Roedel (1949), se debieron a la heterogeneidad de los cardúmenes y/o al periodo en que se tomaron las muestras. Gluyas Millán (1989) encontró diferencias en tallas y en el periodo de reproducción entre la macarela del GC y Bahía Vizcaíno, y sugiere la posibilidad de más de un grupo poblacional. Análisis posteriores a 1989 fueron realizados con el objeto distinguir grupos poblacionales, considerando información de cinco sitios de pesca de pelágicos menores (California, Ensenada, Bahía Vizcaíno, Bahía Magdalena y GC), los resultados de ese análisis corresponden al capítulo III de esta tesis.

Para fines pesqueros (manejo y evaluación) es necesario definir el stock o grupo poblacional (Anonymous 1998), especialmente su delimitación. Para el caso de *S. japonicus* que tiene una amplia distribución latitudinal (California, Baja California y GC,

más de 1600 km), es importante definir si existe más de un grupo poblacional; entre varios propósitos para definir la Unidad de Manejo, ya sea por sitio de pesca, manejar todos los sitios de pesca como un solo stock o, separar y/o agrupar algunos sitios y manejarlos como Unidad.

II.1.f. Reproducción

La reproducción es el eslabón en el ciclo de vida de un pez, en conexión con otros eslabones, asegura la continuidad de la especie. Las adaptaciones de los peces a las condiciones en las que se reproducen y crecen reflejan las condiciones bajo las cuales se desarrollan los huevos y larvas, las cuales a su vez están conectadas con el modo de vida de los peces adultos (Nikolsky 1963, 1969). Usualmente se ha relacionado el inicio de la madurez con alcanzar un tamaño particular, y de aquí que entre más lento el crecimiento de un pez, más tarda se alcanza la madurez sexual, y viceversa. Esta situación puede estar relacionada con el aporte de alimento y/o la duración del periodo de alimentación, entre otros factores. El peso total de los peces alcanza un máximo anualmente, ese incremento ocurre justo antes de desovar. Antes de alcanzar la reproducción, la energía que adquieren del medio y a través de procesos metabólicos se dirige al crecimiento y supervivencia. Posteriormente, la mayor parte de la energía la dirige a procesos reproductivos y menos a crecimiento (Nikolsky 1963).

La macarela *S. japonicus* se reproduce en la zona costera, en la plataforma continental. Tiene una reproducción externa, expulsa sus productos al ambiente donde son fertilizados, forman huevos pelágicos que flotan y llegan a medir 1.0 mm de diámetro (Kramer 1960). No obstante, su tamaño varía considerablemente entre localidades y periodos del año (Dickerson *et al.* 1992). *Scomber japonicus* desova más de una vez por estación de reproducción (Knaggs y Parrish 1973), lo que quiere decir que los ovocitos del ovario se desarrollan asincrónicamente, esto es, ovocitos en varios estadios de desarrollo ocurren simultáneamente en el ovario activo reproductivamente. *Scomber japonicus* desova un promedio de 8.8 veces en 101 días, y una fecundidad promedio de 168 ovocitos por gramo de hembra (peso húmedo excluyendo el ovario) (Dickerson *et al.* 1992), esos mismos autores señalan también que desovar un promedio de 8.8 veces por año una hembra, podría

ser una estimación baja. Por otro lado, el desarrollo de los huevos y esperma depende, entre varios factores, de la cantidad de luz que actúa a través de la activación de la función endocrina del cerebro, y del régimen térmico que actúa a través de los cambios en la tasa metabólica (Nikolsky 1963).

Existen varias investigaciones que definen el periodo de reproducción de *S. japonicus* en California y Baja California, cuyo material biológico proviene de distintas fuentes, huevos, larvas y madurez gonádica. Los resultados en general, muestran diferencias en los periodos de máxima reproducción en diferentes años. Ahlstrom (1959) señala que el desove de la macarela en California se presenta a lo largo del año, pero el máximo ocurre entre abril y mayo. Kramer (1960) con base en un censo de huevos y larvas, indica un periodo de reproducción de abril a julio, con un máximo en junio en el sur de California y norte de Baja California, y de marzo a agosto en la porción central de Baja California, y señala que Bahía Vizcaíno es una zona importante de reproducción en el Pacífico nororiental. Knaggs y Parrish (1973) utilizando criterios morfocromáticos de madurez gonádica, encontraron un máximo de actividad reproductiva en mayo en el sur de California. Kramer y Smith (1970) basados en datos de huevos y larvas de la colección de CalCOFI de 1951 a 1960, mostraron que la reproducción de *S. japonicus* es cercana a la costa y en una amplia zona que va desde California hasta el extremo sur de Baja California. Moser *et al.* (1993) con datos de huevos y larvas de 1951 a 1984, señalan que el pico reproductivo se presenta de enero a marzo en el sur de Baja California, y entre abril y junio cercano a Punta Eugenia. Gluyas-Millán (1989) definió, con base en observaciones de gónadas, un periodo de reproducción de marzo a agosto con un máximo en junio en Bahía Vizcaíno. Bautista Romero (1997) encuentra, con base en la proporción de estaciones positivas (presencia de huevos y/o larvas de *S. japonicus* en el plan básico de estaciones de CalCOFI, del sur de California a Cabo San Lucas) de 1951 a 1981, que agosto es el máximo de la reproducción, y que tal evento es costero. Sus resultados también muestran que la principal zona de reproducción es Bahía Vizcaíno, tanto en años cálidos, fríos o normales.

En el GC, utilizando la distribución temporal y abundancia de huevos y larvas, Moser *et al.* (1974), Olvera Limas (1975), Green-Ruiz y Aguirre-Medina (1992) y Esqueda-Escárcega

(1995), así como Gluyas-Millán (1989) usando observaciones morfocromáticas de la condición de las gónadas, definen que el periodo principal de reproducción es en invierno. En general, el periodo de maduración de las gónadas parece coincidir con un ascenso de la temperatura del mar, pero a partir de distintos valores de temperatura (Gluyas-Millán 1989). En general, las zonas donde ocurre la reproducción de *S. japonicus* son zonas costeras de surgencias estacionales, de alta productividad biológica. Un panorama más amplio sobre el periodo de reproducción en cada una de los sitios de pesca de macarela en aguas mexicanas, se presenta en los capítulos III y IV.

II.1.g. Crecimiento

El crecimiento de los peces resulta del consumo de alimento, su asimilación y la construcción del tejido del cuerpo en función del tiempo. Este proceso es específico para cada especie, y dentro de los límites de cada una, hay variaciones del tamaño y edad máxima de los individuos de la población, lo cual esta en relación con las condiciones ambientales (Nikolsky 1963). Un rasgo característico del crecimiento de los peces es su periodicidad. En ciertos periodos del año el pez crece más rápido y en otros más lento. Esta diferencia a través de un ciclo anual, se refleja en sus estructuras esqueléticas y en las escamas. En los otolitos de *S. japonicus* una zona de lento crecimiento se refleja en una banda hialina que se observa de color pálido con luz reflejada, y una zona de crecimiento más rápido por una banda opaca (Fitch 1951). Debido a que las marcas se producen como resultado de los cambios en la tasa de crecimiento, surge la necesidad de establecer la periodicidad de formación de esas marcas, de evidenciar que no se forman varias veces en el año, como resultado por ejemplo de la disminución en la alimentación, de cambiar de un tipo de alimento a otro, entre otros factores. A esa prueba, que es necesario realizar cuando se usan estructuras esqueléticas para determinar la edad, es llamada prueba de validación de las determinaciones de edad. Para *S. japonicus* del sur de California, Fitch (1951) presentó una prueba de validación, y mostró que cada una de las bandas de crecimiento se forma anualmente. Gluyas-Millán y Félix-Uraga (1990) aplicaron esa prueba en la macarela de Bahía Vizcaíno, usaron todos los individuos sin considerar el grupo de edad, y posteriormente eligieron el grupo de edad 3 y 4, por ser los mejor representados en la captura, los resultados de ambos análisis fueron consistentes, mostraron que una marca

opaca y una hialina se forman en un año, y aproximadamente en el mismo periodo que en la macarela del sur de California. Lo que quiere decir que el patrón de crecimiento en cada año de vida tiene una periodicidad constante, así entonces se fortalece el resultado de que a un número determinado de marcas opacas o hialinas en los otolitos, le corresponde el mismo número de años de vida. Esta prueba de validación fue aplicada a la macarela de los distintos sitios de pesca de aguas mexicanas (Ensenada, Bahía Magdalena y GC), los resultados obtenidos son parte del capítulo III. Una vez definido esto se procedió a determinar el crecimiento.

Cada uno de los periodos de vida de un pez es caracterizado por un crecimiento particular. El periodo de más rápido crecimiento ocurre antes del inicio de la madurez. Esto parece ser una importante adaptación para que el pez escape de los predadores. Los pequeños son más propensos a los predadores que los grandes. En este periodo el crecimiento está cercanamente relacionado con el suministro de alimento, y por lo tanto está sujeto a grandes fluctuaciones. Después de alcanzar la madurez, la principal parte del alimento consumido por el pez va a procesos reproductivos, desarrollo de gónadas, y acumulación de grasa y en menor proporción al crecimiento. Cuando el pez llega cerca de su máxima edad, el crecimiento es marcadamente reducido, y el alimento consumido se destina a mantenimiento, principalmente (Nikolsky 1963).

El crecimiento y la longevidad de *S. japonicus* es variable, los antecedentes indican que en California puede vivir hasta once años, medir 42.5 cm y pesar 938 g (Fitch 1951); en Bahía Vizcaíno se encontraron individuos hasta de ocho años con una longitud y peso estimado de 29.6 cm y 343 g (Gluyas-Millán 1990). El crecimiento de la macarela del GC se aborda en el capítulo IV.

II.2 Características pesqueras y ambientales

II.2.1 Pesca de macarela en aguas mexicanas del océano Pacífico y mercado mundial

La captura de *S. japonicus* en el ámbito mundial fue de $2.42 \text{ t} \times 10^6$ en 1997 y contribuyó con 2.6% del total de capturas desembarcadas (FAO 1999). En las costas mexicanas del

Océano Pacífico se localizan cuatro zonas de pesca de pelágicos menores, relativamente aisladas: Ensenada, Bahía Vizcaíno, Bahía Magdalena y GC. La descarga de las tres primeras representa un promedio de 19%, 6.7 % y 6% de la captura total de pelágicos menores, y corresponde a una captura promedio de 11,670 t, 8,66 t, y 7,645 t respectivamente (Fig. 5). La máxima captura de macarela entre 1970 y 2001 fue de 50,726 t y 40,715 t en Ensenada y GC, ambas en 1998. Esa magnitud es baja comparada con aquella de sardina Monterey, especie que predomina en el GC y Bahía Magdalena. En Ensenada, hasta antes de 1990, predominaba la anchoveta, que alcanzó más de 250,000 t igual que la sardina en el GC (Fig.6). Pero, en algunos años, la captura de macarela ha predominado. La pesca se hace sobre de cardúmenes superficiales densos, mixtos y/o puros, con redes de cerco, un arte de pesca activo y superficial. Esas artes de pesca son de dimensiones variables y están en función del tamaño de la embarcación, su longitud varia entre 366 y 640 m y su altura de trabajo entre 40 y 100 m (DOF 2000), la luz de malla es de 25 mm y algunas embarcaciones usan paños mixtos con tamaños de malla de 13 mm y 25 mm. Estas artes de pesca son operadas desde embarcaciones mayores (>10 t) con capacidad de bodega de 80 a 250 t. Actualmente se registra una flota de 89 embarcaciones sardineras, las cuales pertenecen, casi en su totalidad, al sector privado. Sin embargo, en 2002 sólo operaron 50 embarcaciones: 32 en Sonora, 5 en Mazatlán, 10 en Ensenada y 3 en Bahía Magdalena. La mayoría de las embarcaciones son >25 m de eslora, >120 t de capacidad de bodega, y maquina principal de 520 HP (Anónimo 2003). No se realiza pesca de media agua dirigida a cardúmenes dispersos y alejados de la costa. Este tipo de pesca se practica en Chile, Perú, Sudáfrica, y Mar de Japón, China y Rusia, donde utilizan arrastre pelágico de media agua y arrastre cercano al fondo. Con las primeras se obtienen varias especies además de la macarela, como: el charrito *Trachurus symmetricus* y seriola *Seriolla violacea*, la proporción de *S. japonicus* en la captura es de 5 a 70%; con el segundo tipo de artes de pesca se obtiene menor proporción de macarela pero de mayor tamaño (35 cm y 500 g de longitud y peso promedio) (Kotlyar y Abramov 1982). En Sudáfrica existen tres tipos de pesca de macarela a más de 100 millas de la costa: pesca superficial, de media agua y de fondo (Crawford y De Villiers 1984).

La captura de macarela se destina a la producción de harina y enlatado, y en menor proporción al congelado. La industria pesquera que depende de los pelágicos menores está asentada en el noroeste de México: Ensenada en Baja California; Pto. Peñasco, Guaymas, y Yavaros en Sonora; Mazatlán en Sinaloa, y Pto. San Carlos y Pto. Adolfo López Mateos en Baja California Sur, las cuales genera una importante fuente de empleo. Variaciones interanuales de la magnitud de la captura de pelágicos menores, han influido en el desempeño de esta industria en el GC (Nevárez-Martínez 2000).

Scomber japonicus es altamente apreciada como carnada viva para la pesca deportiva-recreativa en la zona de Los Cabos, BCS. Existe demanda de carnada todo el año, pero su captura es más importante de octubre a marzo, cuando aumentan las operaciones de pesca deportiva-recreativa y se presentan las mayores capturas de especies de pico (pelágicos mayores). Como tecnología de captura se utiliza línea de mano con anzuelos sin carnada, atarraya y red lampara (Gluyas-Millán *et al.* 2003). Se comercializa por pieza, la cual puede alcanzar un precio mayor de un dólar cada pieza.

Mercado mundial

Una revisión del mercado mundial de macarela indica que este término abarca *S. japonicus* (chub mackerel), la macarela del Atlántico *Scomber scombrus* y el charrito *Scombrus sp.* (www.globefish.org/publications/researchprogram/vols/vol64.htm). La revisión para *S. japonicus* destaca lo siguiente: 1) la porción de la captura para consumo humano difiere entre regiones; 2) en regiones del sudeste del Pacífico, como Chile y Perú, alguna porción de la captura es utilizada para producir harina y aceite de pescado, principalmente; 3) la captura mundial ha fluctuado entre 1 y 2.4 millones de toneladas, que en promedio son 2.5 veces la captura de la macarela del Atlántico; 4) debido a la sobreexplotación y a “El Niño” las capturas decrecieron fuertemente en 1998-99; 5) las naciones que han logrado las mayores capturas son Japón seguido por China; 6) el mercado mundial de *S. japonicus* es pequeño debido al gran consumo doméstico en Japón, China y República de Corea. Sin embargo, en la región de África, hay un mercado regional importante, donde Nigeria y los países de alrededor, y Egipto comercializan la macarela capturada en la costa oeste de

África, de aquí que se vislumbra un decremento en aquellas capturas que se destinen a la obtención de harina y aceite de pescado; 7) de las tres especies de macarela la que alcanza mayores volúmenes de captura es *Trachurus spp.*, con 6.5 millones de t de captura pico en 1995, la cual disminuyó a la mitad entre 1995 y 1998. Es la especie de mayor mercado mundial. El comercio mundial de las tres especies tiende a ser el congelado, mientras que el desarrollo de nuevos productos se está incrementando. En general, el mercado de macarela en los próximos años va a depender de cómo se desarrolle la situación financiera, especialmente en los mercados más grandes de Rusia y Japón. Se espera que una gran porción de la captura mundial de *S. japonicus* se destine a consumo humano, particularmente aquella del Pacífico sudeste.

Las características de mercado, preferencias y requerimientos de calidad difieren grandemente. En un extremo Japón requiere la mejor calidad y prefiere principalmente peces de tamaño grande, lo cual se refleja en el alto precio que pagan los importadores japoneses. En el otro extremo, el mercado africano, con bajo poder de compra, importa peces de tamaños pequeños de segunda calidad.

II.2.2 Ambiente físico

La costa occidental de la península de Baja California, donde se localizan las zonas de pesca de Bahía Vizcaíno y Bahía Magdalena, está influenciada por el extremo sur de la Corriente de California (CC), una corriente superficial (~0-300 m de profundidad) que proviene de altas latitudes, sus aguas son de baja salinidad con un núcleo de baja temperatura fuera de la costa (Lynn y Simpson 1987). Las masas de agua que confluyen a esas zonas son de origen tropical, subtropical, ártico y agua con propiedades de transición de las anteriores. La zona de Bahía Vizcaíno es considerada una zona de transición de aguas subtropicales y templadas y esa zona cambia de posición geográfica (Rodén 1971) especialmente en eventos “El Niño” (Durazo y Baumgartner 2002). El ambiente físico se distingue por condiciones de mesoescala, intensas surgencias estacionales, alta productividad, transporte hacia fuera y dentro de la costa, meandros y remolinos (Lynn y Simpson 1987). La CC es sensitiva a los cambios climáticos interanuales, especialmente

aquellos asociados con El Niño (Ramp *et al.* 1997; Bograd *et al.*, 2001; Durazo y Baumgartner 2002).

El Golfo de California, es el único mar marginal del océano Pacífico oriental subtropical. Se ha dividido en regiones topográficas asociadas con cuencas oceánicas individuales que aumentan su profundidad hacia la boca del Golfo. En cada una se han observado diferencias en los procesos físicos que controlan la circulación (Castro *et al.* 2000). Es una gran cuenca de evaporación que tiene una comunicación abierta con el océano Pacífico en su extremo sur. Los rasgos de las corrientes, la generación de surgencias, y alta productividad son determinadas principalmente por los vientos (Roden 1964), también por la topografía submarina, y la intensidad de las mareas (Álvarez-Borrego 1983). Los vientos son estacionales: en invierno predominan los vientos del noroeste ($8-12 \text{ m s}^{-1}$), y en el verano del sureste ($\sim 5 \text{ m s}^{-1}$) (Douglas *et al.* 1993). Los vientos de invierno y primavera producen surgencias del lado del continente, y cuando se intensifican, en primavera, se producen plumas de agua fría que cruzan el Golfo a la altura de Yavaros y Guaymas (Roden 1964; Badan Dangon *et al.* 1985). A finales de primavera los vientos cambian a un régimen del sureste, y predominan en verano, estos vientos parecen ser los responsables de surgencias en la costa oeste, en el margen de la península, aunque son menos intensos que aquellos de primavera. Este proceso de fertilización se asocia con el comportamiento de los pelágicos menores en el GC, por ejemplo la reproducción de macarela ocurre mayormente en el lado del continente en invierno y primavera (Gluyas-Millán y Quiñónez-Velázquez 1997) donde las surgencias son más intensas. La variabilidad interanual asociada con “El Niño” produce anomalías positivas del nivel medio del mar, calentamiento en la capa superior, y disminución de la salinidad (Robles y Marinone 1987; Lavin *et al.* 1997). Otra característica del GC es su alta productividad (Álvarez-Borrego 1983). El flujo neto en la superficie es hacia el sur durante invierno y primavera, y hacia el norte durante verano y otoño (Rosas-Cota 1977).

Resultados de Bakun (1996) sobre estudios comparativos del hábitat de los pelágicos menores, como la corriente de California, Humbolt, Benguela y Canarias, ha identificado tres procesos físicos principales que se combinan para promover las agregaciones y un

hábitat reproductivo favorable para éstos y otros peces: 1) procesos de enriquecimiento (surgencia, mezcla); 2) procesos de concentración (convergencia, formación de frentes, estabilidad de la columna de agua), y 3) procesos que favorecen la retención dentro (o deriva hacia) del hábitat apropiado. El primer proceso es ampliamente reconocido (surgencias, mezcla), los nutrientes que llegan a las capas superficiales originados por surgencias, crean un ambiente favorable para producir elevadas concentraciones de fitoplancton y zooplancton en la zona iluminada, alimento de los primeros estadios de vida de los pelágicos menores. El segundo proceso (formación de frentes, convergencia, estabilidad de la columna de agua), son los mecanismos físicos que permiten la concentración de grandes cantidades de energía necesarias para un rápido crecimiento, y que se requiere para pasar rápidamente por distintos estadios de tamaños donde ocurren altas probabilidades de depredación, la ocurrencia de esos procesos es vital. Contrariamente, la turbulencia es un proceso que dispersa y actúa en contra del proceso de concentración, de aquí que eventos de intensa mezcla turbulenta parezcan tener efectos adversos en la sobrevivencia larval (Lasker 1978, 1981). Por otra parte, la turbulencia a pequeña escala puede actuar igual que un mecanismo de concentración al incrementar la tasa de encuentro de pequeños organismos con las partículas de alimento (Rothschild y Osborn 1988). Entonces, para el grupo de pelágicos menores que caracterizan las zonas de surgencias, al cual pertenece *S. japonicus*, la elección de ambientes con una combinación de las características señaladas, es una estrategia de sobrevivencia para tener eventos reproductivos exitosos, y/o para usarse como zonas de alimentación. En general, los procesos físicos anteriores influyen en los procesos biológicos de escalas de tiempo cortas, los cuales parecen tener un efecto mayor en los primeros estadios de vida que en los adultos.

El agrupamiento de las especies de pelágicos menores para fines de manejo es conveniente, ya que el ambiente tiene una fuerte influencia en su biomasa, la cual es evaluada periódicamente de manera independiente a las actividades de pesca, especialmente para la sardina Monterey; otras especies son evaluadas a través del monitoreo de la captura comercial, como la macarela.

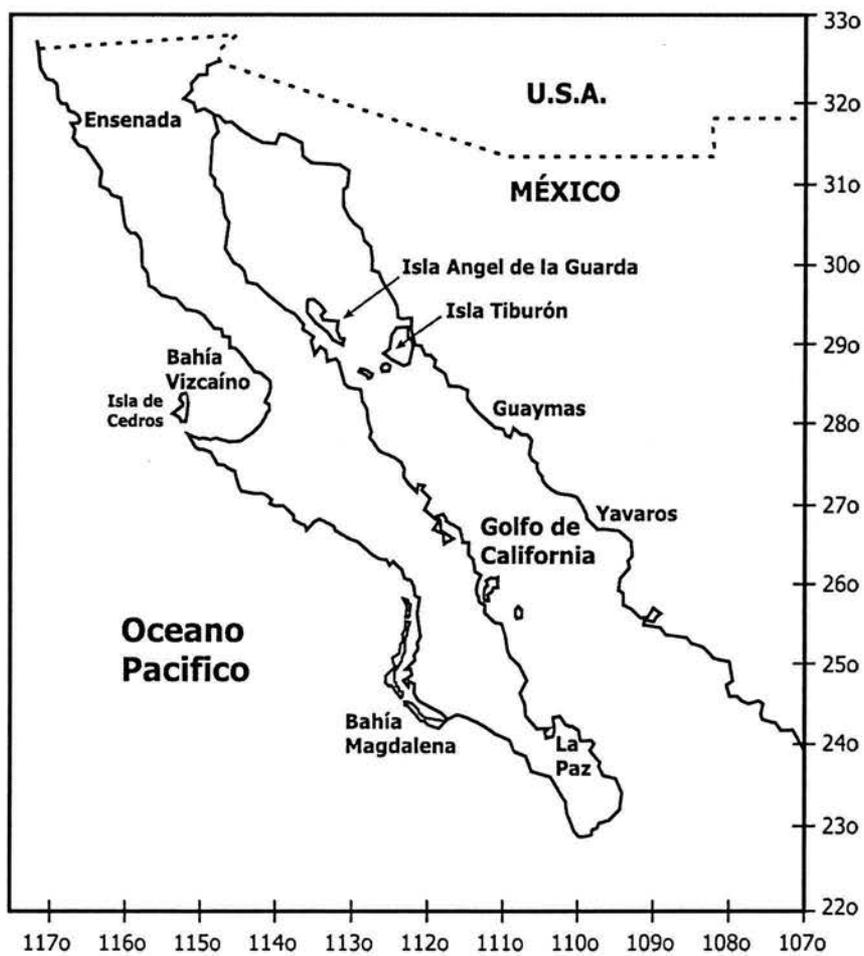


Figura 1. Área de estudio: Ensenada, Bahía Vizcaíno, Bahía Magdalena, Golfo de California y puertos de descarga de pelágicos menores.

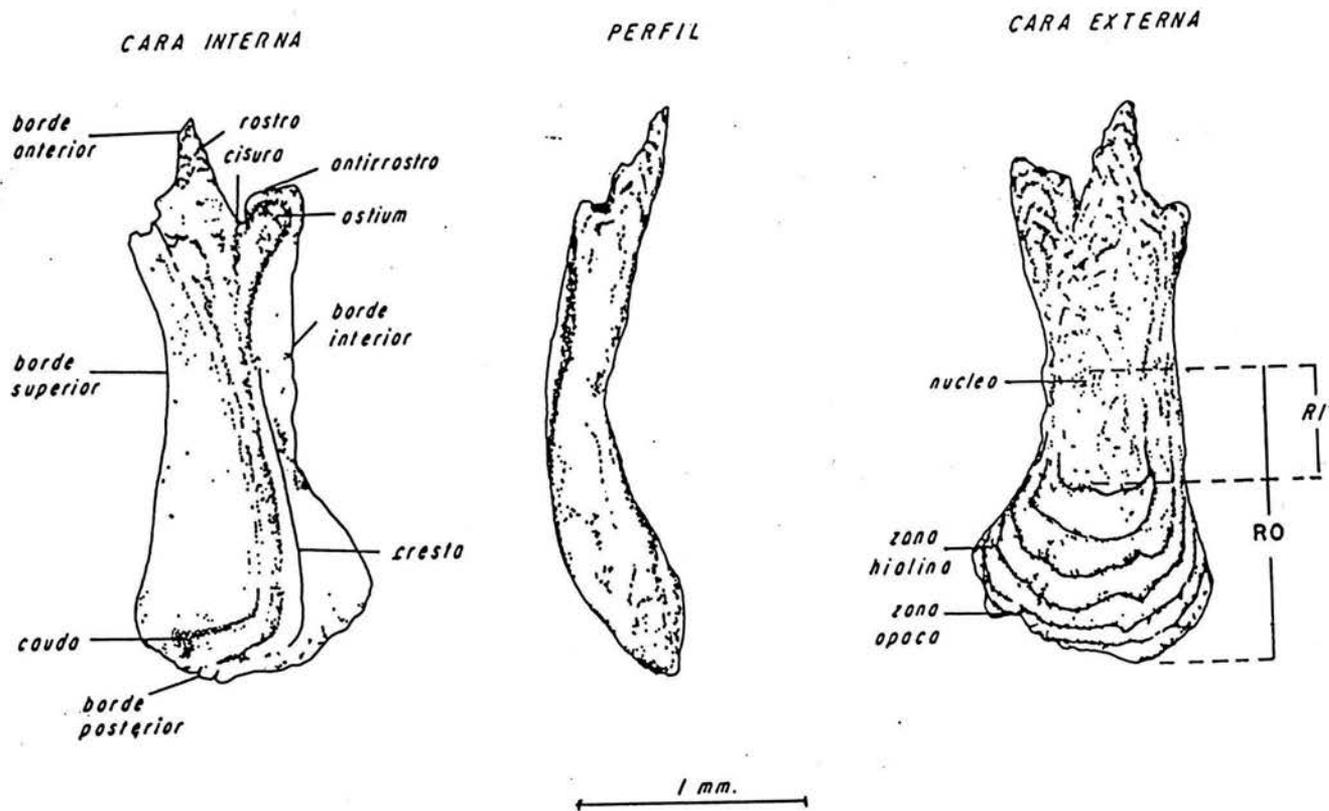


Figura 2. Vista general del otolito derecho (*saggita*) de *S. japonicus* (tomado de Aguayo y Steffens 1986).

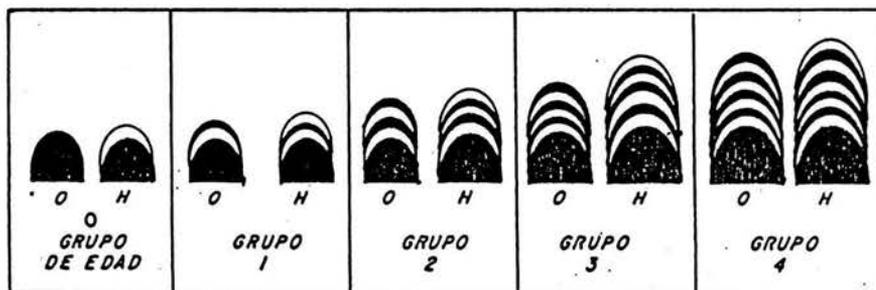


Figura 3. Esquema del numero de bandas opacas e hialinas por grupo de edad (tomada de Félix-Uraga 1986).

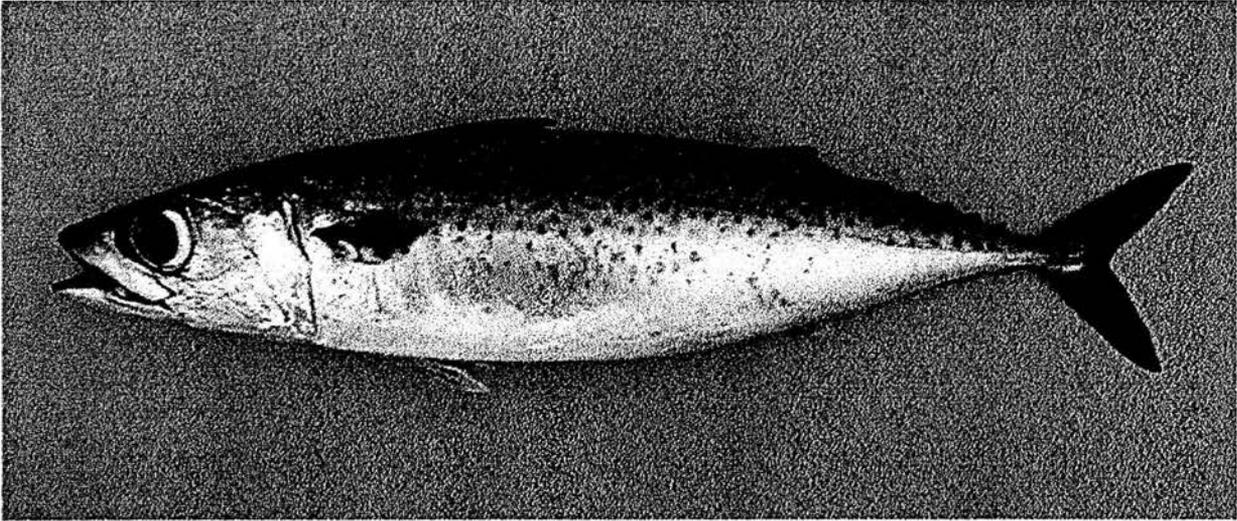


Figura 4. Vista lateral de la macarela *Scomber japonicus*.

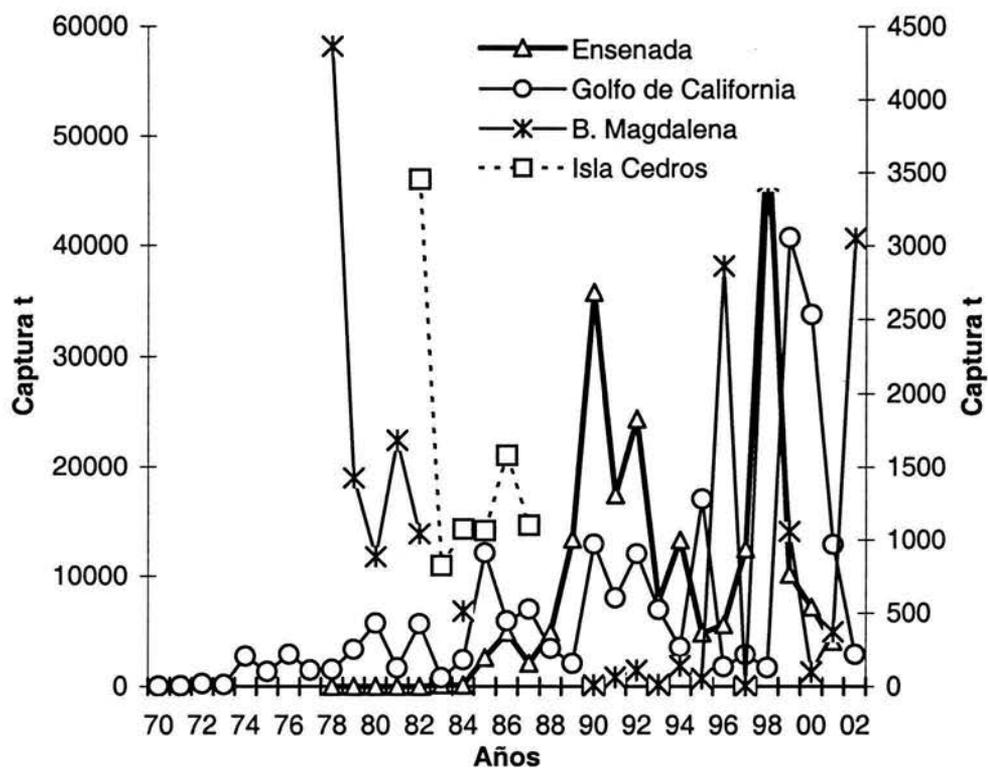


Figura 5. Captura anual de macarela *S. japonicus* en el Golfo de California, Bahía Magdalena, Isla de Cedros (Bahía Vizcaino) y Golfo de California. Eje derecho captura de B. Magdalena y B. Vizcaino.

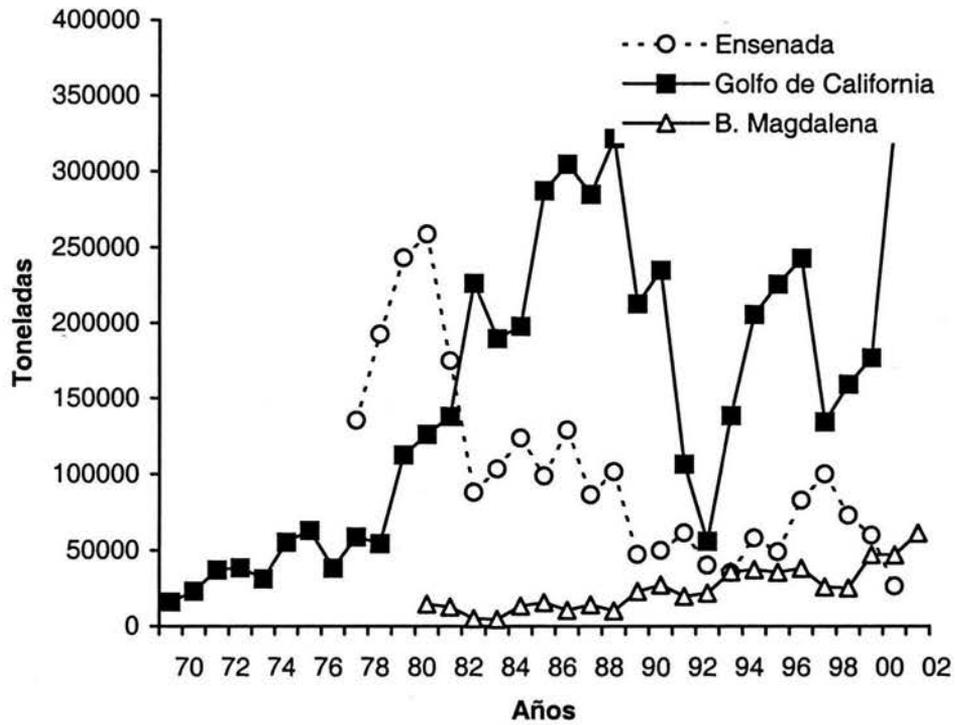


Figura 6. Captura total de pelágicos menores en el Golfo de California, Ensenada y Bahía Magdalena (fuente: CICIMAR-IPN, CRIP-Guaymas, CRIP Ensenada-IPN-SAGARPA).

Tabla IV. Algunas definiciones de stock.

Autor	Definición de stock
Cushing (1968)	Grupo de individuos de la misma especie que tiene una zona de desove a la cual los adultos regresan cada año. Es el reconocimiento de una categoría más baja que aquella hecha para población por taxónomos.
Larkin (1972)	Una población de organismos, compartiendo un pool común de genes, la cual es suficientemente discreta para garantizar consideraciones como aquella de un sistema perpetuándose que puede ser manejado. Considera stock como una unidad de manejo o producción
Ricker (1975)	Parte de una población de peces que está bajo consideración desde el punto de vista de su utilización actual o potencial.
Ihssen <i>et al.</i> (1981)	Un grupo de la misma especie de individuos que se cruzan azarosamente con integridad espacial y temporal.
Gulland (1983)	Estableció para propósitos de manejo pesquero la definición de “ <i>unidad de stock</i> ” o “ <i>unidad pesquera</i> ” que es operacional, y define que un subgrupo de una especie puede ser tratado como un stock si las posibles diferencias dentro del grupo e intercambios con otros grupos pueden ser ignoradas sin que las conclusiones alcanzadas sean invalidas.
Milton y Shaklee (1987) (citado en Begg y Walkman 1999)	Cualquier grupo de una especie que es disponible para aprovechamiento en un área dada.
Hilborn y Walters (1992)	Grupos arbitrarios de peces lo bastante grandes para estar reproduciéndose, con miembros que tienen similares historias de vida.
Krebs (1994)	Un grupo de organismos de la misma especie ocupando un espacio particular (sugiere delimitación geográfica) en un tiempo particular (sugiere cambios en le tiempo, dinámica).
Sparre y Venema (1998)	Un subgrupo de una especie que tiene los mismos parámetros de crecimiento y mortalidad, y habita un área geográfica particular. Se puede incluir, que son grupos discretos de animales que muestran poca mezcla con grupos adyacentes y como rasgo esencial, los parámetros señalados permanecen constantes en el área de distribución del stock, de aquí que es posible usarlos para hacer su evaluación.
Begg y Walkman (1999)	El concepto de stock describe las características de las unidades asumidas homogéneas para propósitos de manejo.

CAPITULO III

Evidencias de distintos grupos poblacionales de macarela *Scomber japonicus*

RESUMEN

La distinción de grupos poblacionales, se hizo con base en la determinación y comparación de: la relación entre el tamaño del otolito y la longitud del pez; el patrón de formación de bandas opacas e hialinas de los otolitos; el ciclo de madurez y periodo de reproducción; la talla y edad de madurez; y la distribución de tallas y edades, de la macarela de Ensenada, Bahía Vizcaíno, Bahía Magdalena, GC y California. Su área principal de distribución en el Pacífico nororiental. La información para California se tomó de la literatura

Los resultados mostraron: 1) El ciclo de madurez y el periodo de reproducción indicó que ocurren aproximadamente en el mismo periodo en California, Ensenada y Bahía Vizcaíno, entre abril y octubre, y en el GC, de noviembre a mayo. 2) La longitud del pez y el radio del otolito mostró una relación lineal positiva en las distintas zonas. Se observaron diferencias en el tamaño del otolito entre zonas, aquellos de Ensenada y Bahía Vizcaíno fueron más grandes que los de Bahía Magdalena y GC, sugiriendo diferencias geográficas en crecimiento. 3) El patrón de formación de bandas opacas e hialinas de los otolitos, mostró consistencia en el tiempo en que tardan en formarse, pero en periodos distintos. En el GC la banda opaca se forma en invierno-primavera, mientras que en California, Ensenada y Bahía Vizcaíno en primavera y verano. En Bahía Magdalena no fue completamente claro el patrón de formación, mostró más semejanza con aquel de la macarela del GC. Este análisis también permitió validar la periodicidad anual de formación de las marcas de crecimiento en los otolitos de cada zona. 4) Las tallas de hembras con gónadas maduras mostró una moda, cuyo intervalo de tallas disminuye de norte a sur. El intervalo de edad de las hembras maduras fue de 1 a 7 años, su distribución de frecuencia mostró un máximo de individuos de 4, 5 y 3 años en Ensenada, Bahía Vizcaíno y GC, respectivamente. La mayoría alcanzó la madurez ($E_{50\%}$) entre 3 y 4 años, excepto en Bahía Magdalena. Un comportamiento similar mostró la distribución de tallas y edades de Ensenada al GC, individuos más grandes en el norte que en el sur. 5) Las características biológicas de la macarela en Bahía Magdalena, no mostraron un patrón claro en el periodo de deposición de las bandas opacas e hialinas ni en el periodo de reproducción, los individuos con gónadas maduras fueron más jóvenes y pequeños que en cualquier otra zona, la longitud y edad de madurez fue 213.7 mm L y 1.7 años, un comportamiento similar mostró la distribución de tallas y edades. 6) Se observaron diferencias geográficas en el crecimiento individual, a una misma edad son más grandes en el norte que en sur, sin incluir Bahía Magdalena. 7) Los resultados sugieren que un grupo poblacional que se distribuye de California a Bahía Vizcaíno, y otro grupo en el GC. En Bahía Magdalena parece ocurrir una sobreposición de ambos grupos poblacionales. La alta proporción de individuos <3 años y con gónadas maduras, sugiere que esa zona no es estrictamente de reproducción, sino posiblemente de crianza, alimentación, y/o un refugio, donde ocurren individuos que aún no se reclutan a la fracción reproductora de la población, y pueden pertenecer a cualquiera de los dos grupos poblacionales definidos. 8) Las características que mostró la macarela de Bahía Magdalena mostraron aproximadamente semejanza con aquellas de la macarela del GC, por lo que suponemos que este grupo podría tener influencia importante en Bahía Magdalena. 9) Los resultados apoyan la separación y

manejo operativo de un grupo poblacional en el GC y otro en la costa occidental de Baja California. Bahía Magdalena podría ser una zona de sobre posición de ambos grupos, donde no se evaluó el grado de mezcla. Con base en estos resultados se analiza por separado la información de macarela del GC.

**REPRODUCCION, EDAD Y TALLA DE PRIMERA MADUREZ
DE LA MACARELA *Scomber japonicus* (HOUTTUYN, 1872)
EN BAHIA VIZCAINO**

**REPRODUCTION, AGE AND LENGTH OF FIRST MATURITY OF
PACIFIC MACKEREL *Scomber japonicus* (HOUTTUYN, 1872) IN
VIZCAINO BAY**

María Georgina Gluyas-Millán

Centro Regional de Investigación Pesquera La Paz
Instituto Nacional de La Pesca
Carretera a Pichilingue km 1 s/n
La Paz, Baja California Sur, México.

Recibido en junio de 1993; aceptado en junio de 1994

RESUMEN

El periodo reproductivo, edad y talla de primera madurez de *Scomber japonicus* fueron determinados a partir de 820 ejemplares de 173 a 383 mm de longitud estándar, tomados mensualmente de la captura comercial de barcos cerqueros en bahía Vizcaíno, de 1984 a 1986. Las observaciones macroscópicas de las gónadas indicaron un periodo de reproducción anual, de abril a agosto con un máximo en junio. Dos factores de condición y la proporción mensual de crecimiento en peso por edad variaron a la vez que el periodo de reproducción. La edad fue determinada en otolitos. La talla y edad de primera madurez fueron 293 mm de longitud estándar y 4.3 años, respectivamente. Una proporción importante de hembras maduras de cuatro años y mayores sugiere que estas edades contribuyen de manera significativa a la biomasa reproductora.

Palabras clave: *Scomber japonicus*, reproducción, edad, talla, bahía Vizcaíno.

ABSTRACT

The spawning period, length and age at first maturity of *Scomber japonicus* were determined from fish measuring 173 to 383 mm, sampled monthly from commercial purse-seine catches in Vizcaíno Bay from 1984 to 1986. Macroscopic observations of the gonads indicate an annual spawning period from April to August with a maximum in June. Two condition factors and the monthly growth rate in weight per age varied with the spawning period. Otoliths were used to determine age. Length and age at first maturity were 293 mm standard length and 4.3 years, respectively. An important proportion of four-year-old and older mature females suggests that these ages contribute significantly to the spawning biomass.

Key words: *Scomber japonicus*, reproduction, age, length, Vizcaíno Bay.

INTRODUCCION

La macarela *Scomber japonicus* es un pez pelágico nerítico que forma cardúmenes y se captura con embarcaciones cerqueras, en las

INTRODUCTION

The Pacific mackerel *Scomber japonicus* is a pelagic neritic school forming fish caught by purse-seiners in the same fishing operations

mismas faenas de pesca que la sardina y la anchoveta. En el Pacífico nororiental, se distribuye desde Alaska hasta bahía Banderas y en el interior del golfo de California (Schaefer, 1981). Las zonas de pesca en México corresponden a Ensenada, bahía Vizcaíno, bahía Magdalena y la porción norte del golfo de California. En bahía Vizcaíno la macarela se captura durante todo el año; la captura por viaje es variable pero en general es mayor en verano y otoño. En 1982 la captura de macarela predominó con respecto a la de sardina: 3,450 t de macarela *versus* 2,600 t de sardina (Gluyas-Millán, 1990).

La reproducción de *S. japonicus* en el sur de California está documentada por Ahlstrom (1959), quien señala que esta especie desova durante todo el año y el máximo de reproducción ocurre posiblemente entre abril y mayo. Kramer (1960) reportó, con base en censos de huevos y larvas, el máximo desove en junio e indicó que bahía Vizcaíno es una zona importante de reproducción de *S. japonicus* del Pacífico nororiental. Knaggs y Parrish (1973), utilizando criterios morfocromáticos de madurez gonádica, encontraron un máximo de actividad reproductiva en mayo, para la macarela en el sur de California. En bahía Vizcaíno, Gluyas-Millán (1989) definió el periodo de reproducción de marzo a agosto con un máximo en junio, siguiendo los mismos criterios de Knaggs y Parrish (1973), y encontró que el periodo reproductivo presenta desfaseamiento en tiempo en las distintas zonas de pesca del Pacífico mexicano. En Bahía Magdalena, esto fue corroborado a través de técnicas histológicas por Arcos-Huitrón y Torres-Villegas (1990), quienes definen el periodo de reproducción de enero a mayo, con un máximo en febrero y marzo.

Los resultados detallados en el presente trabajo son parte de un programa de investigación de la biología de *S. japonicus* de aguas mexicanas, y tienen por objeto aportar evidencias del periodo de actividad reproductiva de *S. japonicus* en bahía Vizcaíno, con análisis adicionales a los de Gluyas-Millán (1989), así como estimar la talla y edad a la cual el 50% de las hembras maduran sexualmente.

as sardines and anchovies. In the Pacific Northwest, it is found from Alaska to Banderas Bay, and in the Gulf of California (Schaefer, 1981). The fishing zones in Mexico correspond to: Ensenada, Vizcaíno Bay, Magdalena Bay and the northern portion of the Gulf of California. Pacific mackerel are caught throughout the entire year in Vizcaíno Bay; the catch varies per trip, but generally it is greater in summer and fall. In 1982, the Pacific mackerel catch predominated over sardine: 3,450 t of Pacific mackerel *versus* 2,600 t of sardines (Gluyas-Millán, 1990).

The reproduction of *S. japonicus* in Southern California is documented by Ahlstrom (1959), who points out that this species spawns throughout the year, and that maximum reproduction occurs possibly between April and May. Kramer (1960), based on egg and larvae data, reported maximum spawning in June, and indicated that Vizcaíno Bay is an important reproduction zone for *S. japonicus* in the Pacific Northwest. Knaggs and Parrish (1973), using morphochromatic criteria of gonadal maturity, found a peak of reproductive activity in May for the Southern California Pacific mackerel. Gluyas-Millán (1989), following the same criteria of Knaggs and Parrish (1973), defined the reproductive period in Vizcaíno Bay from March to August with a peak in June, and found that the reproductive period is out of phase throughout the different fishing zones of the Mexican Pacific. This was corroborated for Magdalena Bay by Arcos-Huitrón and Torres-Villegas (1990), who defined the period of reproduction from January to May, with a peak in February and March, by means of histological techniques.

The results detailed in the present study are part of a program of investigation of the biology of *S. japonicus* in Mexican waters, with the objective of providing evidence of the period of reproductive activity of *S. japonicus* in Vizcaíno Bay, with analyses additional to those of Gluyas-Millán (1989), as well as to estimate the length and age at which 50% of the females mature sexually.

MATERIALES Y METODOS

El material provino de muestras biológicas tomadas al azar mensualmente de la captura comercial de macarela en bahía Vizcaíno (Fig. 1), de julio de 1984 a noviembre de 1986. Se examinaron 820 ovarios de peces de 173 a 383 mm de longitud estándar y el 57% de los ovarios correspondió al periodo de reproducción. Las macarelas fueron medidas (longitud estándar, en milímetros; peso total y peso sin vísceras, en gramos). Se extrajeron los otolitos para determinar la edad y se examinó cada individuo para determinar el sexo y el estadio de madurez gonádica, de acuerdo con la escala morfocromática de madurez de Sokolov y Wong (1973). Esta escala se modificó para hacer comparables los resultados con los obtenidos por Knaggs y Parrish (1973) para la macarela del sur de California. La escala se define como sigue: estadio 1, cuando los huevos no son visibles a simple vista (inmaduro); estadio 2, cuando el pez tiene huevos inmaduros amarillos visibles a simple vista (en proceso de maduración); y estadio 3, cuando el pez presenta grandes huevos maduros transparentes (maduro). Estos estadios son aceptables cuando se establecen criterios de madurez por observaciones anatómicas, y para conocer el ciclo de madurez y la duración del periodo reproductivo (Dickerson *et al.*, 1992). Los estadios se definieron mensualmente y su proporción graficada.

Los otolitos se examinaron bajo un microscopio con luz reflejada, para contar las bandas opacas e hialinas y determinar el grupo de edad correspondiente. Las determinaciones de edad fueron validadas por Gluyas-Millán y Félix-Uraga (1990), quienes establecieron una periodicidad anual en la formación de las bandas opaca e hialina.

Para apoyar los resultados del periodo reproductivo, se estimaron y graficaron mensualmente dos factores de condición: uno con el peso total y otro con el peso sin vísceras. No fue posible estimar un índice gonadosomático porque no se pesaron las gónadas. El factor de condición se definió como *K*. Las variaciones en el tiempo de este factor, sugieren cambios fisiológicos que pueden indicar eventos importantes

MATERIALS AND METHODS

The material came from biological samples taken monthly at random from the commercial catches of Pacific mackerel in Vizcaíno Bay (Fig. 1) from July 1984 to November 1986. Eight hundred twenty ovaries were examined from fish measuring 173 to 383 mm standard length, and 57% of the ovaries corresponded to the reproductive period. The Pacific mackerel were measured (standard length in millimeters, total weight and weight without viscera in grams). The otoliths were extracted for age determination, and each individual was examined to determine sex and gonadal maturity based on the morphochromatic maturity scale by Sokolov and Wong (1973). This scale was modified in order to make the results comparable to those obtained by Knaggs and Parrish (1973) for the Southern California Pacific mackerel. The scale is defined as: stage 1, when the eggs are not visible to the naked eye (immature); stage 2, when the fish has yellow immature eggs visible to the naked eye (in the maturation process); and stage 3, when the fish presents large transparent mature eggs (mature). These stages are acceptable when maturity criteria are established by anatomic observations, and are useful in identifying the maturity cycle and duration of the reproductive period (Dickerson *et al.*, 1992). The stages were defined monthly and their proportion plotted.

The otoliths were examined under a reflected light microscope in order to count the opaque and hyaline bands, and determine the corresponding age group. The age determinations were validated by Gluyas-Millán and Félix-Uraga (1990), who established an annual periodicity in the formation of the opaque and hyaline bands.

In order to support the results from the reproductive period, two condition factors were estimated and plotted monthly: one with total weight and the other with weight without viscera. It was not possible to estimate a gonadosomatic index because the gonads were not weighed. The condition factor was defined as *K*. The variations in time of this factor suggest physiological changes that can indicate

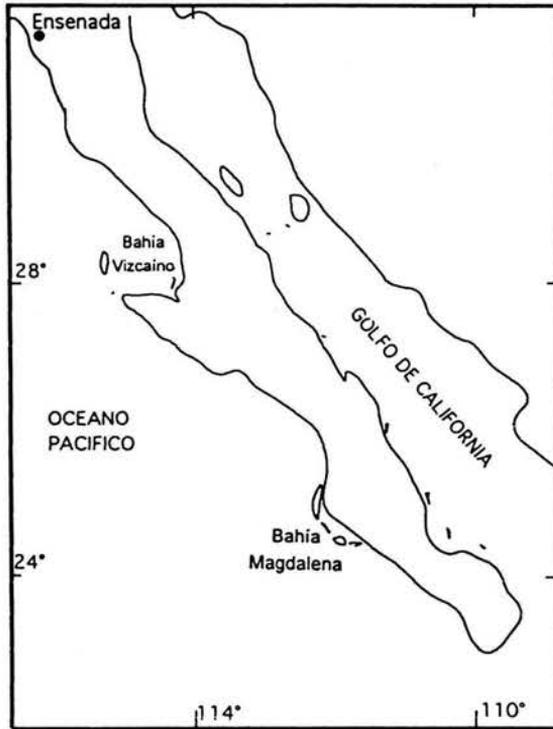


Figura 1. Bahía Vizcaíno
Figure 1. Vizcaíno Bay

en la vida de los individuos (Ricker 1975), como la reproducción. Por ello, se estimó mensualmente la siguiente relación:

$$K = W/L^3$$

donde K es la constante de proporcionalidad o factor de condición de Fulton (Ricker, 1975); W , peso total, en gramos; L , longitud estándar, en milímetros; y 3, exponente o factor de isometría. K se compara mes con mes, manteniendo fijo el exponente 3. Esto supone que en todos los casos se trata de individuos adultos que presentan crecimiento isométrico (Blackburn, 1960; Ricker, 1975), y que entre más pesado sea el pez de una longitud dada, más grande será el factor y mejor su condición (Ricker, 1975). El factor de Fulton es útil para estos casos, si bajo condiciones promedio o estándar el exponente es 3 (Ricker, 1975), pero debido a que es difícil decidir cuáles son con-

important events in the lives of the individuals (Ricker, 1975), such as reproduction. For this reason, the following equation was estimated monthly:

$$K = W/L^3$$

where K is the proportionality constant or Fulton condition factor (Ricker, 1975); W , total weight in grams; L , standard length in millimeters; and 3, isometric exponent or factor. K is compared monthly maintaining the exponent fixed at 3. This assumes that adult individuals with isometric growth are used in all of the cases (Blackburn, 1960; Ricker, 1975), and that the heavier the fish is at a given length, the greater the factor will be, and the better the condition (Ricker, 1975). The Fulton factor is useful in these cases, if under average or standard conditions the exponent equals 3 (Ricker, 1975), but due to difficulty in deciding which

diciones estándar, se mantiene fijo el 3, y se asumen esas condiciones. Se procede de la misma manera con el peso sin vísceras.

Para definir en qué época del año los individuos muestran el mayor incremento en peso, se estimó la proporción mensual de crecimiento en peso respecto a enero, de los individuos de tres y cuatro años capturados en 1985, y se asumió que una proporción importante de ese incremento se debió al peso de las gónadas. Se estimó a partir de enero, porque es el mes representativo del reclutamiento, y se eligieron los individuos de tres y cuatro años por estar mejor representados y porque a esa edad ya son reclutados por la pesquería (Gluyas-Millán, 1990). La proporción se calculó dividiendo el promedio mensual del peso de cada edad entre el correspondiente promedio del peso de enero.

La longitud y edad crítica, L50% y E50% (longitud y edad a la cual el 50% de las hembras están maduras), se estimaron con la longitud estándar en milímetros y la edad en años de las hembras en el tercer estadio (madurez), encontradas en periodo de reproducción. Se construyeron distribuciones de frecuencias relativas respecto al total y frecuencias acumuladas, para luego ajustar la ecuación logística con el método iterativo de Marquardt (1963), usando FSAS (*Fisheries Science Applications System*) (Saila *et al.*, 1988).

RESULTADOS

El ciclo de madurez y la duración del periodo reproductivo son definidos desde la progresión mensual de hembras en diferentes estadios de madurez en 1985 y 1986 (Fig. 2a). Se observó un prolongado periodo de actividad reproductiva, desde febrero hasta junio en 1985 y desde marzo hasta agosto en 1986. Si consideramos el 20% en adelante de hembras maduras, el periodo de reproducción va de abril a agosto, con un máximo en junio. Al juntar los dos años (Fig. 2b) este ciclo es más claro. Esto indica que hay un solo periodo de reproducción anual, lo cual es apoyado con el cambio mensual de los factores de condición con peso total y peso sin vísceras (Fig. 3), que muestran un máximo cada año en el mismo periodo. La diferencia máxima entre ambos factores se observa entre junio y ju-

conditions are standard, these conditions are assumed, and the exponent is fixed at 3. The same process is used for the weight without viscera.

In order to determine in which season of the year the individuals present the greatest increase in weight, the monthly growth rate in weight for January was estimated for the three to four-year-old individuals caught in 1985, and it was assumed that an important portion of this increase was due to the weight of the gonads. Estimation began in January since it is the representative month for recruitment. The three to four-year-old individuals were selected because they were better represented, and because at this age they are already recruited to the fishery (Gluyas-Millán, 1990). The ratio was calculated by dividing the monthly average weight of each age by the corresponding average weight from January.

Critical length and age, L50% and A50% (length and age at which 50% of the females are mature) were estimated with standard length in millimeters, and age in years from the females in stage 3 (maturity) found in the reproductive period. Relative frequency distributions were made with respect to total and accumulated frequencies, in order to later fit the logistical equation with the iterative method of Marquardt (1963) using FSAS (*Fisheries Science Applications System*) (Saila *et al.*, 1988).

RESULTATS

The maturity cycle and duration of the reproductive cycle are defined from the monthly progression of females in different stages of maturity in 1985 and 1986 (Fig. 2a). A prolonged period of reproductive activity was observed from February to June 1985, and from March to August 1986. If we consider 20% and up of the mature females, the reproductive period is from April to August with a peak in June. This cycle is clearer when the two years are joined together (Fig. 2b). This indicates that there is only one annual period of reproduction, which is supported by the monthly change in the total weight and weight without viscera condition factors (Fig. 3), which demonstrate a yearly peak in the same period. The maximum difference between both factors is observed be-

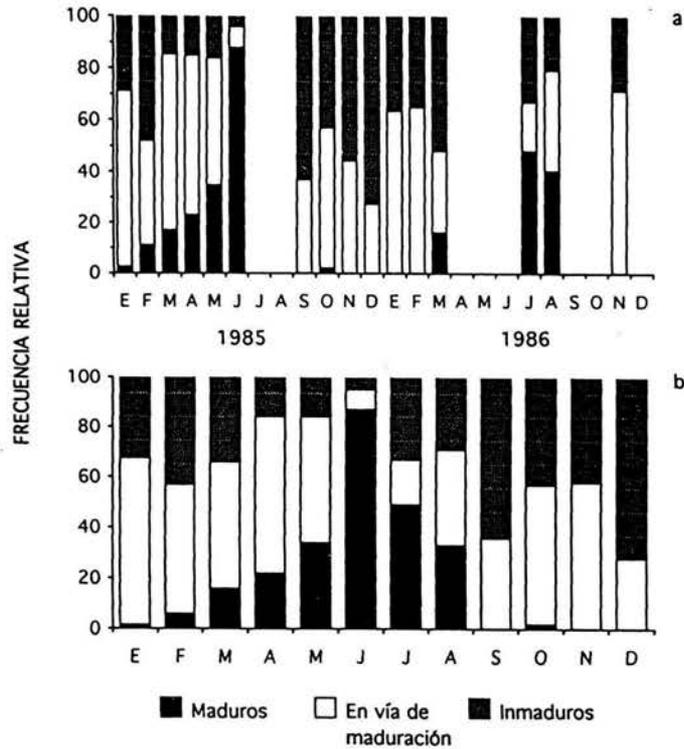


Figura 2. a) Proporción mensual de hembras por estadio de madurez para 1985 y 1986; b) proporción mensual de hembras por estadio de madurez, 1985 y 1986 combinados.
 Figure 2. a) Monthly proportion of females by maturity stage for 1985 and 1986; b) monthly proportion of females by maturity stage, 1985 and 1986 combined.

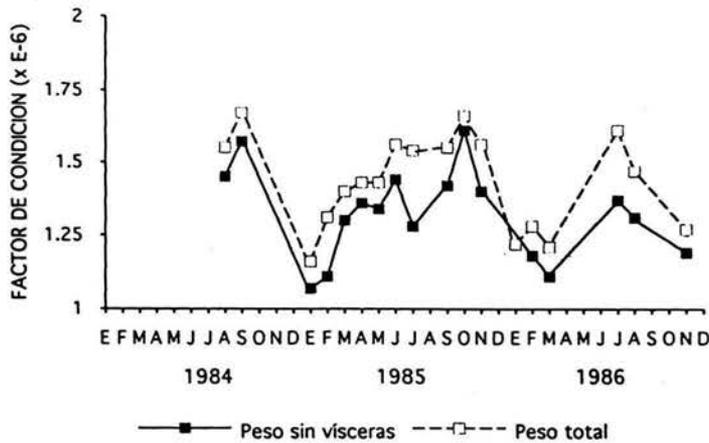


Figura 3. Factor de condición para 1984, 1985 y 1986.
 Figure 3. Condition factor for 1984, 1985 and 1986.

lio, lo que sugiere que en ese tiempo ocurre la mayor actividad reproductiva.

La proporción mensual de crecimiento en peso de los individuos de tres años (Fig. 4) muestra que éstos comienzan a ganar peso en el periodo de reproducción; en abril se observa un aumento, en junio y agosto estos individuos no están presentes en las capturas, y en septiembre vuelven a aparecer y aún muestran aumento. Los de cuatro años y mayores presentan la misma tendencia, tienen el máximo en julio, después disminuyen y en noviembre aumentan ligeramente.

El intervalo de tallas de las hembras maduras fue de 213 a 383 mm. Las longitudes y edades a las cuales el 25, 50 y 75% de las hembras maduraron fueron 281.4, 300.6 y 320 mm LE (igual a 300.3, 320.7, 341.3 mm LF), y 3.6, 4.3 y 4.9 años, respectivamente (Figs. 5, 6). Se encontraron hembras con gónadas maduras de dos a siete años, inclusive. La distribución de frecuencia de edades indica una frecuencia no mayor de 7% de hembras de dos y tres años, y de 22 a 36% de hembras entre cuatro y seis años. Esto señala que los individuos que contribuyen de manera importante a la reproducción son de cuatro años y mayores.

DISCUSION

Los datos de maduración gonádica sugieren que el desove ocurre en toda el área de muestreo de bahía Vizcaíno, pero la magnitud de éste y la extensión de las áreas de desove no son evaluadas y se desconocen. El ciclo de maduración gonádica, y los cambios de los factores de condición y de la proporción del incremento en peso por edad apoyan la conclusión de que la macarela *S. japonicus* de bahía Vizcaíno tiene un ciclo de reproducción anual, de abril a agosto con un máximo en junio, responsable de generar los grupos de edad anuales (Gluyas-Millán y Félix-Uraga, 1990). Los cambios del incremento en peso por edad encontrados en el presente trabajo coinciden con lo reportado para la macarela del sur de California (Fitch, 1951; Mallicoate y Parrish, 1981) e indican que el peso por edad muestra variación estacional que, en este caso, puede estar relacionada con la reproducción.

tween June and July, which suggests that the greatest reproductive activity occurs at this time.

The monthly growth rate in weight of the three-year-old individuals (Fig. 4) shows that these begin to gain weight in the reproductive period; an increase is observed in April, they are not present in the June nor August catches, and they reappear in September still showing growth. The same tendency was observed in the four-year-old and older individuals; the maximum in July, a subsequent decrease and in November a slight increase.

The size interval of the mature females was 213 to 383 mm. The length and age at which 25, 50 and 75% of the females matured were 281.4, 300.6 and 320 mm SL (equal to 300.3, 320.7, 341.3 mm FL); and 3.6, 4.3 and 4.9 years, respectively (Figs. 5, 6). Females with mature gonads were found from two to seven years of age, inclusive. The age frequency distribution indicates a frequency not greater than 7% in the two to three-year-old females, and 22 to 36% in the females between four and six years of age. This indicates that the individuals who make an important contribution to reproduction are the four year olds and older.

DISCUSSION

The data on gonadal maturity suggest that spawning occurs throughout the sampling area in Vizcaíno Bay, but its magnitude and extension areas are not evaluated nor known. The gonadal maturity cycle, changes in the condition factors and in the growth rate in weight per age support the conclusion that *S. japonicus* in Vizcaíno Bay has an annual reproduction cycle from April to August with a peak in June, that is responsible for generating annual age groups (Gluyas-Millán and Félix-Uraga, 1990). The changes in the increase in weight per age found in the present study coincide with that reported for the Southern California Pacific mackerel (Fitch, 1951; Mallicoate and Parrish, 1981), and indicate that the weight per age shows seasonal variation that, in this case, can be related to reproduction.

The period of maximum reproductive activity in Vizcaíno Bay (June) is out of phase with

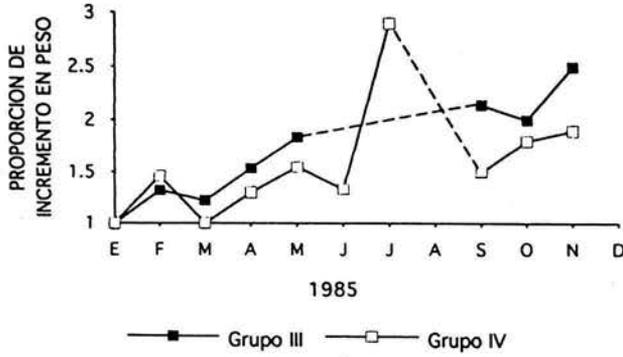


Figura 4. Proporción de crecimiento en peso, para individuos de tres y cuatro años.
 Figure 4. Growth rate in weight for three and four year old individuals.

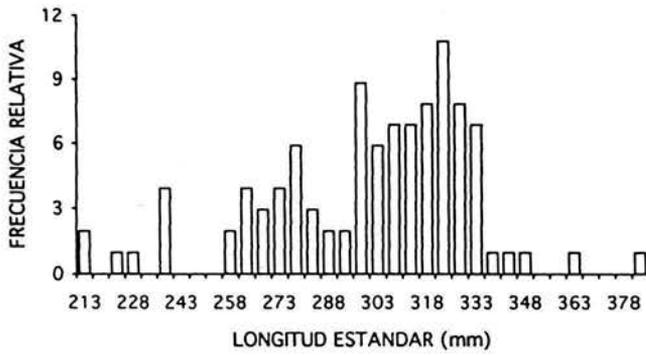


Figura 5. Distribución de frecuencia de tallas de hembras maduras de macarela del Pacífico.
 Figure 5. Length frequency distribution of mature female Pacific mackerel.

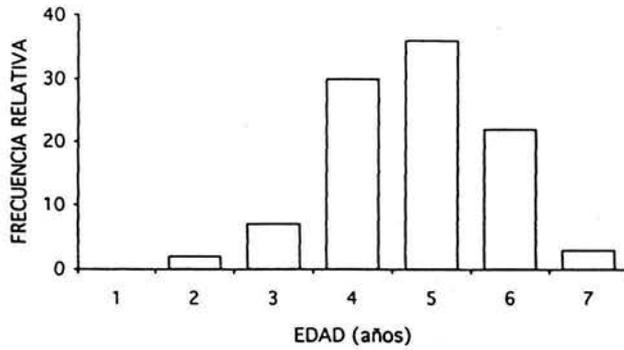


Figura 6. Distribución de frecuencia de edades de hembras maduras de macarela del Pacífico.
 Figure 6. Age frequency distribution of mature female Pacific mackerel.

El periodo de máxima actividad reproductiva en bahía Vizcaíno, en junio, mostró un desfase en tiempo con respecto al de la macarela del sur de California, en mayo (Knaggs y Parrish, 1973) y al de la macarela de bahía Magdalena, en febrero y marzo (Arcos-Huitrón y Torres-Villegas, 1990). Una posible explicación es que la especie puede estar adaptada a la variabilidad estacional de la biomasa de zooplancton del sistema de la corriente de California, donde el florecimiento del zooplancton en primavera se inicia dos meses antes en el norte que en el sur (Roesler y Chelton, 1987). Esto sugiere que los eventos que provocan esa variabilidad pueden influir directa o indirectamente en el reclutamiento de la macarela y otras especies pelágicas de la región. Por ejemplo, cuando la corriente de California es fuerte y transporta grandes depredadores de origen subártico hasta la porción sur de Baja California (Roesler y Chelton, 1987), puede haber altas tasas de depredación sobre las larvas de macarela, y esto es un factor importante para determinar el éxito de las clases anuales en las zonas de reproducción.

Los valores de L25% y L75%, 281 y 320 mm LE, indican el amplio intervalo de tallas en que ocurre la madurez sexual. Este amplio intervalo es un rasgo común de los desovadores parciales y de los peces en general (Nikolski, 1969). La L50% (300.6 mm) de la macarela de bahía Vizcaíno es menor que la estimada por Knaggs y Parrish (1973) para la macarela del sur de California (313.1 mm), y mayor que la señalada para la macarela de bahía Magdalena (219.7 mm) (Arcos-Huitrón y Torres-Villegas, 1990) y el golfo de California (229.4 mm) (Gluyas-Millán, en preparación).

Para comprender mejor el desfase en tiempo del periodo de reproducción y la tendencia a disminuir de la L50% de norte a sur, es recomendable: conocer las condiciones biológicas de la especie fuera de bahía Magdalena y en el golfo de California; considerar la posibilidad de una subpoblación separada de aquella de bahía Vizcaíno por dos remolinos ciclónicos señalados por Bakun y Nelson (1977) y Parrish *et al.* (1981), uno al norte y otro al sur de punta Eugenia; considerar los patrones migratorios de la especie y los cambios ambientales.

respect to that presented by the Southern California Pacific mackerel in May (Knaggs and Parrish, 1973), and the Pacific mackerel in Magdalena Bay in February and March (Arcos-Huitrón and Torres-Villegas, 1990). A possible explanation is that the species is able to adapt to the seasonal variability of the zooplankton biomass in the California Current System, where the spring bloom of the zooplankton begins two months earlier in the north than in the south (Roesler and Chelton, 1987). This suggests that the events that provoke this variability can directly or indirectly influence the recruitment of the Pacific mackerel and other pelagic species of the region. For example, when the California Current is strong and transports large subarctic predators to the southern portion of Baja California (Roesler and Chelton, 1987), there can be high depredation rates for the Pacific mackerel larvae, and this is an important factor in determining the success of the annual classes in the reproductive zones.

The values L25% and L75%, 281 and 320 mm SL indicate a broad range of sizes at which sexual maturity occurs. This variation in body size is a trait common to serial spawners and to fish in general (Nikolski, 1969). L50% (300.6 mm) of the Pacific mackerel in Vizcaíno Bay is smaller than that estimated by Knaggs and Parrish (1973) for the Southern California Pacific mackerel (313.1 mm), greater than that reported for the Pacific mackerel in Magdalena Bay (219.7 mm) (Arcos-Huitrón and Torres-Villegas, 1990) and in the Gulf of California (229.4 mm) (Gluyas-Millán, in progress).

In order to better understand the out of phase reproductive period, and the tendency of L50% to decrease from north to south, it is recommended to: know the biological conditions of the species outside of Magdalena Bay and in the Gulf of California; consider the possibility of a subpopulation separated from the one in Vizcaíno Bay by two cyclonic whirlwinds identified by Bakun and Nelson (1977) and Parrish *et al.* (1981), one to the north and another to the south of Eugenia Point; and consider the migratory patterns of the species as well as environmental changes.

The condition factor used to define the reproductive period is inexact, and the morpho-

El factor de condición usado para definir el periodo reproductivo es inexacto y los criterios morfocromáticos para detectar el grado de madurez de la gónada no permiten identificar a todas las hembras en desove. Sin embargo, ambos son de utilidad como estimadores gruesos para detectar el patrón de reproducción, su duración aproximada y el periodo de máxima actividad.

La edad de primera madurez, 4.3 años, sugiere que la fracción de la población de cuatro años y más, que domina en la captura comercial durante el periodo reproductivo (Gluyas-Millán y Gómez-Muñoz, 1993), contribuye de manera importante a la reproducción, lo cual coincide con lo informado sobre la macarela del sur de California (Prager y McCall, 1988).

La estructura por edades de la captura comercial de la macarela en bahía Vizcaíno está sustentada en individuos de cuatro años y mayores (Gluyas-Millán y Gómez-Muñoz 1993). A esa edad ya han sido reclutados por la pesquería, se han reproducido al menos una vez y han logrado su mayor tasa de crecimiento en longitud y peso (Gluyas-Millán, 1990). Esto indica un buen esquema de pesca en bahía Vizcaíno; no obstante, es necesario evaluar la biomasa de la población.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas el haber proporcionado los datos biológicos, así como a los revisores de la revista y Casimiro Quiñonez, sus comentarios y sugerencias.

REFERENCIAS

- Ahlstrom, E.H. (1959). Sardine eggs and larvae and other fish larvae. Pacific Coast 1957. U.S. Fish. Wild. Serv. Spec. Sci. Rep. Fish., 328, 1-84.
- Arcos-Huitrón, E. y Torres-Villegas, R. (1990). Ciclo reproductor de la macarela del Pacífico *Scomber japonicus* Houttuyn (Pisces: Scombridae) en bahía Magdalena, B.C.S, México. *Investigaciones Marinas, CICIMAR*, 5(1): 37-46.
- Bakun, A. and Nelson, C.S. (1977). Climatology of upwelling related processes off California and Baja California. *CalCOFI Rep.* XIX:107-127.
- Blackburn, M. (1960). A study of condition (weight for length) of Australian *Barbacouta thysites* tuna (Euphrasen). *Aust. J. Mar. Freshw. Res.* 2(1): 14-41.
- Dickerson, T.L., Macewicz, B.J. and Hunter, J.R. (1992). Spawning frequency and batch fecundity of chub mackerel *Scomber japonicus*, during 1985. *CalCOFI Rep.*, 33: 130-140.
- Fitch, J.E. (1951). Age composition of the southern California catch of Pacific mack-

chromatic criteria used to detect the grade of gonadal maturity do not permit the identification of all of the spawning females. However, both are useful as rough estimators in detecting the reproductive pattern, its approximate duration and period of maximum activity.

The age of first maturity (4.3 years) suggests that the four year old and older portion of the stock that dominates the commercial catch during the reproductive period (Gluyas-Millán and Gómez-Muñoz, 1993), contributes in an important manner to reproduction. This coincides with that reported for the Southern California Pacific mackerel (Prager and McCall, 1988).

The age structure of the commercial catch of the Pacific mackerel in Vizcaíno Bay is sustained by four-year-old and older individuals (Gluyas-Millán and Gómez-Muñoz, 1993). At this age they have already been recruited to the fishery, have reproduced at least one time, and have reached their greatest growth rate in length and weight (Gluyas-Millán, 1990). This indicates a good fishery program in Vizcaíno Bay; however, it is necessary to evaluate the biomass of the stock.

ACKNOWLEDGMENTS

Thanks to the *Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas* for supplying the biological data, to the reviewers of the journal, and Casimiro Quiñonez for his comments and suggestions.

English translation by Jennifer Davis.

- erel 1930-40 through 1950-51. Calif. Dept. Fish and Game, Fish Bull., 83: 1-73.
- Gluyas-Millán, M.G. (1989). Epoca de reproducción, distribución de tallas y relación peso-longitud de la macarela del litoral de Baja California. *Investigaciones Marinas, CICIMAR*, 4(1): 65-72.
- Gluyas-Millán, M. G. (1990). Edad, crecimiento y composición de la captura de macarela *Scomber japonicus* de bahía Vizcaíno durante 1984-1986. Tesis de maestría. *CICIMAR, IPN, La Paz, Baja California Sur, México*, 83 pp.
- Gluyas-Millán, G. y Félix-Uraga, R. (1990). Periodicidad de las bandas de crecimiento en otolitos de la macarela *Scomber japonicus* de bahía Vizcaíno, México. *Investigaciones Marinas, CICIMAR*, 5(1): 33-36.
- Gluyas-Millán, M.G. y Gómez-Muñoz, V. (1993). Composición por tallas de edades de la macarela *Scomber japonicus* de bahía Vizcaíno. *Investigaciones Marinas, CICIMAR*, 8 (1): 33-38.
- Knaggs, E.H. and Parrish, R. (1973). Maturation and growth of Pacific mackerel *Scomber japonicus*. *Calif. Fish. and Game*, 59(2): 114-120.
- Kramer, D. (1960). Development of eggs and larvae of Pacific mackerel and distribution and abundance of larvae 1952-56. *Fish Bull. U.S.*, 60(174): 393-438.
- Mallicoate, D.L. and Parrish, R.H. (1981). Seasonal growth patterns of California stocks of northern anchovy, *Engraulis mordax*, Pacific mackerel, *Scomber japonicus*, and jack mackerel, *Trachurus symmetricus*. *CalCOFI Rep.* XXII: 69-81.
- Marquardt, D.W. (1963). An algorithm for the least squares estimation of nonlinear parameters. *J. Soc. Ind. Applied. Math.* 2: 431-441.
- Nikolski, G.V. (1969). *Theory of fish population dynamics as the biological background for the national exploitation and management of fishery resources*. Oliver & Boyd, Edinburgh, 323 pp.
- Parrish, R., Nelson, C.S. and Bakun, A. (1981). Transport mechanisms and reproductive success of fishes in the California Current. *Biol. Oceanogr.*, 1: 175-203.
- Prager, M.H. and MacCall, A. (1988). Revised estimates of historical spawning biomass of the Pacific mackerel *Scomber japonicus*. *CalCOFI Rep.*, XXIX: 81-90.
- Ricker, W.E. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish population. *Bull. Fish. Res. Board Can.*, 191: 382 pp.
- Roesler, C.S. and Chelton, D.B. (1987). Zooplankton variability in the California current, 1951-1982. *CalCOFI Rep.*, XXVII: 59-96.
- Saila, S.B.; Recksiek, C.W. and Prager, M.H. (1988). *Basic fishery science programs, a compendium of microcomputer programs and manual of operation*. Elsevier Sci. Publ., N.Y., 230 pp.
- Schaefer, K.M. (1981). Synopsis of biological data on the Pacific mackerel *Scomber japonicus* Houyttun, 1872, in the Pacific ocean. In: W.H. Bayliff (ed.) *Synopsis of Biological data on eight species of scombrids*. Inter-American Tropical Tuna Commission, Special Report No. 2: 373-448.
- Sokolov, V.A. y Wong-Rios, M. (1973). *Programa general para las investigaciones de peces pelágicos del Golfo de California. Contribución al estudio de las pesquerías en México*. Proy. Invest. y Fom. Pesq. México/PNUD/FAO: 1-51.

**EVIDENCIAS DE DISTINTOS GRUPOS POBLACIONALES DE
MACARELA *Scomber japonicus***

**EVIDENCE OF DIFFERENT STOCKS OF MACKEREL
*Scomber japonicus***

María Georgina Gluyas-Millán¹
Casimiro Quiñónez-Velázquez²

¹ Centro Regional de Investigación Pesquera La Paz
Instituto Nacional de la Pesca
Carretera a Pichilingue km 1 s/n
La Paz, Baja California Sur
México

² Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas
Instituto Politécnico Nacional
Apartado postal 592
La Paz, Baja California Sur 23000
México

Recibido en enero de 1996; aceptado en junio de 1996

RESUMEN

A partir de muestras de la captura comercial de la macarela *Scomber japonicus* en Ensenada, Bahía Vizcaíno, Bahía Magdalena y el Golfo de California, se presentan evidencias biológicas que soportan una hipótesis de dos grupos poblacionales de macarela. Esas evidencias son el periodo de reproducción y ciclo de madurez, patrón de deposición de las bandas de los otolitos, talla $L_{50\%}$ y edad $E_{50\%}$ de reproducción, y composición por talla y edad de la captura. Se distinguen dos grupos poblacionales, uno que se distribuye desde el sur de California hasta Bahía Vizcaíno y el otro en el Golfo de California. Una zona de sobreposición de ambos grupos poblacionales fue Bahía Magdalena, la cual parece ser un sitio de alimentación donde habitan individuos que aún no se reclutan completamente a la fracción del grupo poblacional reproductor.

Palabras clave: *Scomber japonicus*, Baja California, grupo poblacional, otolito, edad.

ABSTRACT

Samples of the commercial catch of mackerel *Scomber japonicus* from Ensenada, Vizcaíno Bay, Magdalena Bay and the Gulf of California were analyzed to show biological evidence that supports a hypothesis of two stocks of mackerel. This evidence is the reproductive period, maturity cycle, deposition pattern of the otolith bands, length ($L_{50\%}$) and age ($E_{50\%}$) of reproduction and composition by length and age of the catch. Two stocks were identified, one that is distributed from southern California to Vizcaíno Bay and the other in the Gulf of California. Both stocks overlapped at Magdalena Bay, which seems to be a feeding site where young individuals that have not been recruited to the spawning stock inhabit.

Key words: *Scomber japonicus*, Baja California, stock, otolith, age.

INTRODUCCIÓN

La macarela y algunos atunes pertenecen a la familia Scombridae que agrupa a 49 especies de peces marinos que viven en aguas tropicales y templadas (Collete y Nauen, 1983). La macarela *Scomber japonicus* es una de las especies que habitan en el Océano Pacífico; su distribución en la porción nororiental es desde Columbia Británica hasta el Golfo de California (Schaefer, 1980). En las costas mexicanas existen cuatro zonas de pesca de macarela: Ensenada, Bahía Vizcaíno, Bahía Magdalena y Golfo de California. En ellas se captura la especie todo el año, y los mayores volúmenes se obtienen desde finales de invierno hasta mediados de verano (Gluyas-Millán, 1989). La captura de *S. japonicus* es por naturaleza altamente variable (MacCall *et al.*, 1985; Prager y MacCall, 1988) y presenta amplias fluctuaciones en su abundancia. Estas fluctuaciones son característica común en los pelágicos menores (Csirke, 1988). Para la identificación de las causas de esas fluctuaciones y definir un sistema de manejo del recurso, es necesario primero establecer la identidad del grupo poblacional. A la fecha, los antecedentes de Fry y Roedel, 1949; Roedel, 1952) no muestran claramente esa identidad.

Fry y Roedel (1949), con base en los resultados de un estudio de marcado, señalan que en el sur de California la disponibilidad de macarela marcada en la Bahía Vizcaíno y la Bahía San Roque fue baja, y que la disponibilidad de los individuos marcados al norte del sur de California fue mayor. Los años en que el estudio se realizó (1939-41) corresponden a un periodo de calentamiento del agua, que condujo a una fuerte migración hacia el norte de muchas especies de peces (Radovich, 1961) y la macarela posiblemente pudo ser afectada (Parrish y MacCall, 1978). Roedel (1952), analizando algunos caracteres merísticos de vértebras, mediciones de la cabeza y la longitud furcal, encontró que la población del Golfo de California y Cabo San Lucas se distingue de aquella de peces más norteños. Concluyó que hubo poca mezcla entre los peces de Bahía Vizcaíno y Ensenada, y admite que sus conclusiones no son

INTRODUCTION

Mackerel and some tuna belong to the family Scombridae that includes 49 species of marine fish that inhabit tropical and warm waters (Collete and Nauen, 1983). The mackerel *Scomber japonicus* is one species that inhabits the Pacific Ocean; its north-eastern distribution extends from British Columbia to the Gulf of California (Schaefer, 1980). There are four mackerel fishing areas along the coast of Mexico: Ensenada, Vizcaíno Bay, Magdalena Bay and the Gulf of California. This species is caught throughout the year in these areas, with the greatest volumes occurring from the end of winter to the middle of summer (Gluyas-Millán, 1989). The catch of *S. japonicus* is, by nature, highly variable (MacCall *et al.*, 1985; Prager and MacCall, 1988), presenting wide fluctuations in its abundance. These fluctuations are a common characteristic of small pelagic fish (Csirke, 1988). In order to identify the causes of these fluctuations and define a management program for this resource, the stock(s) must first be identified. To date, this identity has not yet been clearly established in previous studies (Fry and Roedel, 1949; Roedel, 1952).

Fry and Roedel (1949), based on the results of a tagging experiment, indicate that in southern California the availability of mackerel tagged in Vizcaíno Bay and San Roque Bay was low, whereas availability of individuals tagged to the north of southern California was greater. The years during which that study was conducted (1939-41) correspond to a period of warm water that caused a strong northward migration of many species of fish (Radovich, 1961), possibly affecting the mackerel (Parrish and MacCall, 1978). Roedel (1952) analyzed meristic characters in vertebrae, head measurements and fork length, and found that populations from the Gulf of California and Cabo San Lucas are distinguishable from those of more northerly fish. This author concluded that there was little mixing between the fish of Vizcaíno Bay and Ensenada, and admits that his results do not concur with those of Fry and

compatibles con los resultados del estudio de marcado de Fry y Roedel (1949), debido a la heterogeneidad de los cardúmenes y/o al periodo en el que se tomaron las muestras. Gluyas-Millán (1989) reporta diferencias en tallas y en el periodo de reproducción entre la macarela del Golfo de California y Bahía Vizcaíno, y sugiere la posibilidad de la existencia de más de un grupo poblacional.

La macarela se distribuye en una amplia zona, donde es posible reconocer grupos poblacionales con características biológicas definidas. Este trabajo presenta evidencias que sustentan una hipótesis de la existencia de dos grupos poblacionales de macarela en la costa occidental de la península de Baja California y el Golfo de California. Las características biológicas que definen los grupos poblacionales son: el periodo de desove, ciclo de madurez, patrón de deposición de la banda opaca e hialina en los otolitos, talla y edad al 50% de madurez y composición por edad de la captura comercial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizan muestras de macarela de Ensenada, la Bahía Magdalena y el Golfo de California (fig. 1). Se usó la metodología de Fitch (1951), Gluyas-Millán y Félix-Uraga (1990) y Gluyas-Millán y Gómez-Muñoz (1993), quienes estudiaron la macarela del sur de California y Bahía Vizcaíno. Los resultados de esas investigaciones se integran en el análisis y se contrastan con los del presente trabajo.

Las muestras provienen de la pesca comercial; las de Bahía Magdalena corresponden al periodo de 1980 a 1989 (Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas), y las de Ensenada y el Golfo de California a 1989, 1990 y 1993, y de 1984 a 1992, respectivamente (Instituto Nacional de la Pesca). Las actividades de la pesca se efectuaron principalmente durante la fase de oscuro lunar. Se tomaron dos tipos de muestras: una masiva (MM) y otra biológica (MB). En la MM se recolectaron al azar un promedio de 30 individuos por embarcación. De cada individuo se midió la longitud estándar (LE) y se distribuyó en intervalos de 5 mm. La MB

Roedel's (1949) tagging experiment, due to the heterogeneity of the schools and/or the sampling period. Gluyas-Millán (1989) reports differences in sizes and period of reproduction for mackerel from the Gulf of California and Vizcaíno Bay, and suggests the possibility of more than one stock.

Mackerel are widely distributed, making it possible to recognize stocks with definite biological characteristics. This study provides evidence that supports the hypothesis of the existence of two stocks of mackerel along the west coast of the Baja California Peninsula and the Gulf of California. The biological characteristics that define the stocks are: spawning period, maturity cycle, deposition pattern of the opaque and hyaline bands in the otoliths, size and age at 50% maturity and age composition of the commercial catch.

MATERIALS AND METHODS

Mackerel samples from Ensenada, Magdalena Bay and the Gulf of California are analyzed (fig. 1). The methods of Fitch (1951), Gluyas-Millán and Félix-Uraga (1990) and Gluyas-Millán and Gómez-Muñoz (1993) were used. These authors studied the mackerel of southern California and Vizcaíno Bay. The results of these studies are included in the analysis and compared with those of the present study.

The samples came from commercial landings; those of Magdalena Bay correspond to the period from 1980 to 1989 (Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas), and those of Ensenada to 1989, 1990 and 1993, and of the Gulf of California from 1984 to 1992 (Instituto Nacional de la Pesca). The fishing activities were conducted mainly during the new moon phase. Two types of samples were taken: one massive (MS) and one biological (BS). In the MS, an average of 30 individuals per boat were randomly collected. The standard length (SL) of each individual was measured and distributed in 5 mm intervals. The BS

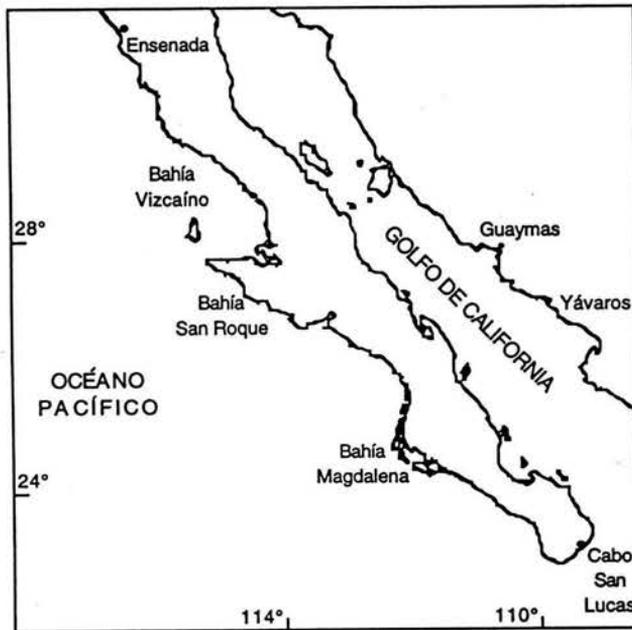


Figura 1. Zona de pesca de *Scomber japonicus*: Ensenada, Bahía Vizcaíno, Bahía Magdalena y Golfo de California.

Figure 1. Fishing areas of *Scomber japonicus*: Ensenada, Vizcaíno Bay, Magdalena Bay and Gulf of California.

consistió de una submuestra del MM; a cada individuo se midió su LE y longitud furcal (LF) en milímetros, peso total, peso sin vísceras en gramos y se registró el sexo, el estadio de madurez y se recolectaron otolitos para determinar la edad. La muestra total del MM de Ensenada, Bahía Magdalena y el Golfo de California fue $n = 982$, $n = 5,298$ y $n = 18,137$, y del MB de $n = 842$, $n = 1,439$ y $n = 3,793$, respectivamente. Los estadios de madurez se definieron de acuerdo con la escala morfocromática de Knaggs y Parrish (1973). Únicamente las hembras fueron incluidas para definir el ciclo reproductivo. Se consideraron maduras cuando el pez presentó grandes huevos transparentes que son expulsados con facilidad (estadio 3), en proceso de maduración si la gónada presentó huevos amarillos visibles a simple vista (estadio 2), e inmaduras si los huevos no fueron visibles a simple vista (estadio 1).

was a subsample of the MS. The SL and fork length (FL) of each individual were measured in millimeters, as well as total weight and weight without viscera in grams. The sex and maturity stage of each individual were recorded. Otoliths were collected to determine age. The total MS sample from Ensenada, Magdalena Bay and the Gulf of California was $n = 982$, $n = 5,298$ and $n = 18,137$, and the BS was $n = 842$, $n = 1,439$ and $n = 3,793$, respectively. The maturity stages were defined according to the morphochromatic scale of Knaggs and Parrish (1973). Only females were used to establish the reproductive cycle. The specimens were considered mature when the fish had large transparent eggs that were easily expelled (stage 3); developing, if the gonad had easily observable yellow eggs (stage 2); and immature if the eggs could not be observed with the naked eye (stage 1).

Para establecer la relación entre el tamaño del pez y el tamaño del otolito, se midió el radio del otolito con un micrómetro ocular en un microscopio estereoscópico. Con un análisis de regresión se estimó la relación entre ambos y con un análisis de covarianza se determinó si las pendientes fueron diferentes. Los otolitos se montaron en portaobjetos con resina sintética, se observaron al microscopio con luz reflejada bajo un fondo oscuro y se determinó la edad contando el número de bandas opacas. Bajo estas condiciones, la zona opaca se observó blanca y la hialina más oscura. Para validar la naturaleza temporal (anual) de la formación de la banda opaca e hialina, se graficó la proporción mensual de la característica del borde opaco e hialino. Posteriormente, se determinó la edad en años contando el número de bandas en los otolitos. La edad y la talla a la cual el 50% de los individuos maduran ($E_{50\%}$ y $L_{50\%}$) se estimó en hembras maduras (estadio 3). La distribución de frecuencias acumuladas de talla y edad se ajustó a un modelo logístico con el módulo NONLIN de SYSTAT (Wilkinson, 1990).

La distribución de frecuencia de tallas de la captura total por mes y una relación peso-longitud se utilizaron para obtener la composición por tallas de la captura. Posteriormente, se integró la distribución de frecuencias de edad, se construyeron claves edad-longitud (Ricker, 1975) y se estimó la composición por edades de la captura. Esto se hizo con una frecuencia mensual y anual. La composición por edades de la captura de macarela del Golfo de California corresponde a un promedio de 1984-1990, de Bahía Magdalena de 1984-1989, y de Bahía Vizcaíno de 1984-1986 (Gluyas-Millán y Gómez-Muñoz, 1993). La composición por edades de la macarela de Ensenada corresponde a 1990.

RESULTADOS

Relación entre el tamaño del pez y del otolito

Una relación lineal positiva se encontró entre la longitud del cuerpo y radio del otolito de la macarela de Ensenada, Bahía Vizcaíno, Bahía Magdalena y Golfo de California:

In order to establish the relationship between fish and otolith size, the radius of the otolith was measured with a micrometer eyepiece on a stereoscopic microscope. A regression analysis was used to determine the relationship between them, and an analysis of covariance to determine if the slopes were different. The otoliths were mounted on slides with synthetic resin and were observed under a microscope with reflected light against a dark background. Age was determined by counting the number of opaque bands. Under these conditions, the opaque zone appeared white and the hyaline darker. In order to validate the temporal nature (annual) of the formation of the opaque and hyaline bands, the monthly proportion of the characteristics of the opaque and hyaline margin was plotted. Age in years was then determined by counting the number of otolithic bands. The age and size at which 50% of the individuals mature ($E_{50\%}$ and $L_{50\%}$) was estimated in mature females (stage 3). The accumulated size and age frequency distribution was fit to a logistical model using the NONLIN mode of SYSTAT (Wilkinson, 1990).

The size frequency distribution of the total catch per month and a weight/length relationship were used to obtain the size composition of the catch. The age frequency distribution was later integrated, the age/length keys constructed (Ricker, 1975) and the age composition of the catch estimated. This was done with a monthly and annual frequency. The age composition of the mackerel catch from the Gulf of California corresponds to an average of 1984-1990, from Magdalena Bay to 1984-1989 and from Vizcaíno Bay to 1984-1986 (Gluyas-Millán and Gómez-Muñoz, 1993). The age composition of the mackerel from Ensenada corresponds to 1990.

RESULTS

Relationship between fish and otolith size

A positive linear relationship was found between body length and otolith radius of the mackerel from Ensenada, Vizcaíno Bay, Magdalena Bay and the Gulf of California:

Ensenada	LE = 42.51266 + 113.3756 R ($n = 248$, $r^2 = 0.55$, R = 1.5-3.0 mm)
Bahía Vizcaíno	LE = 77.23205 + 96.3176 R ($n = 328$, $r^2 = 0.49$, R = 1.2-2.4 mm)
Bahía Magdalena	LE = 53.71849 + 92.0774 R ($n = 467$, $r^2 = 0.52$, R = 1.1-2.2 mm)
Golfo de California	LE = 20.39705 + 109.872 R ($n = 381$, $r^2 = 0.73$, R = 0.4-2.4 mm)

donde LE es la longitud estándar y R el radio del otolito. Los coeficientes de correlación resultaron significativamente diferentes de cero ($P < 0.05$).

Se observaron diferencias en el tamaño de los otolitos de macarela entre las distintas zonas de pesca. Los de Ensenada fueron mayores que los del Golfo de California y Bahía Magdalena. Un análisis de covarianza, para un mismo intervalo de longitud, indicó diferencias significativas ($P < 0.001$) entre la relación longitud estándar del pez (LE) y radio del otolito (R), lo que sugiere diferencias geográficas en el crecimiento.

Patrón de formación de bandas opacas e hialinas en los otolitos

Los otolitos de macarela del sur de California, Ensenada, Bahía Vizcaíno y el Golfo de California muestran un patrón claro en la formación de bordes opacos e hialinos en años diferentes, por lo cual se integró la información por mes y se construyó una distribución de frecuencia de enero a diciembre para cada sitio (fig. 2). Un rasgo común en los otolitos de la macarela desde el sur de California a Bahía Vizcaíno fue una elevada proporción de bordes opacos entre abril y octubre, con un máximo en julio, mientras que para la macarela del Golfo de California ese máximo ocurrió en invierno. Esto indica que en un periodo de reproducción se genera una cohorte anual pero en distintos periodos. En cambio, los otolitos de macarela de Bahía Magdalena no mostraron un patrón bien definido. Se observan varios máximos de bordes opacos durante el periodo de invierno y un mínimo en verano (fig. 2). La falta de un patrón definido en la deposición de las bandas en los otolitos de la macarela en Bahía Magdalena nos indica: (1) dos patrones de deposición que caracterizan a dos grupos poblacionales, uno que se distribuye desde el sur de California hasta Bahía Vizcaíno y otro en el Golfo de

where LE is the standard length and R the radius of the otolith. The correlation coefficients were significantly different from zero ($P < 0.05$).

There were differences in the size of the mackerel otoliths from the different fishing areas. Those from Ensenada were larger than those from the Gulf of California and Magdalena Bay. An analysis of covariance of a same length range indicated significant differences ($P < 0.001$) in the relationship between the standard length (SL) of the fish and radius of the otolith (R), suggesting geographic differences in their growth.

Formation pattern of the opaque and hyaline bands in the otoliths

The otoliths of the mackerel from southern California, Ensenada, Vizcaíno Bay and Gulf of California show a clear pattern in the formation of the opaque and hyaline margins during different years. Hence, the monthly data were integrated and a frequency distribution established from January to December for each site (fig. 2). A common trait of the otoliths of mackerel from southern California to Vizcaíno Bay was the high percentage of opaque margins between April and October and a maximum in July. The maximum for the mackerel from the Gulf of California, however, occurred during winter. This indicates that during one reproduction period, an annual cohort is generated but in different periods. The otoliths of the mackerel from Magdalena Bay did not show a well-defined pattern. Various maximums are observed in the opaque margins during winter and a minimum during summer (fig. 2). This lack of a definite pattern in the deposition of the bands in the otoliths of the mackerel from Magdalena Bay indicates: (1) two deposition patterns that characterize two stocks, one that is distributed from southern California to Vizcaíno Bay and another in the Gulf of California; (2) the

California; (2) la irregularidad del patrón de deposición es evidencia de una sobreposición de los dos grupos poblacionales; (3) los grupos de edad determinados en Bahía Magdalena son anuales y ellos pueden pertenecer a uno u otro grupo poblacional; (4) la sobreposición de los grupos poblacionales sería durante invierno y primavera, y en el resto del año predominarían individuos con características del Golfo de California.

Reproducción, talla y edad de madurez

El ciclo de madurez de la macarela en las zonas de pesca se determinó con la información mensual de varios años, después de verificar que en cada zona se presentó anualmente un patrón similar en la disposición de estadios de madurez. Únicamente la macarela de Bahía Magdalena no mostró un patrón claro. El ciclo de madurez en cada zona de pesca (fig. 3) indica que la macarela, desde el sur de California hasta Bahía Vizcaíno, se reproduce de abril a octubre, con un máximo alrededor de junio, es decir, genera grupos de edad anuales en la misma época. Mientras que la macarela del Golfo de California se reproduce de noviembre a abril, con un máximo entre enero y marzo. Esas diferencias temporales en el ciclo reproductivo entre la macarela de la costa occidental y aquella del Golfo de California, pueden conducir a la existencia de dos grupos poblacionales. La macarela de Bahía Magdalena mostró evidencias de reproducción de febrero a mayo y en septiembre, una fracción de ese período es similar a el de la macarela del Golfo de California. Sin embargo, los individuos son más jóvenes que en cualquier otra zona de pesca, como se observa posteriormente.

La distribución de tallas de hembras con evidencia de reproducción en las distintas zonas de pesca (fig. 4) muestra más de un grupo modal, una disminución del intervalo de tallas de norte a sur, y un desplazamiento hacia tallas pequeñas en el mismo sentido. Las hembras más pequeñas con evidencias de reproducción midieron 148 mm LE y se capturaron en el Golfo de California. Las más grandes midieron 368 mm LE y se capturaron en Ensenada.

irregularity in the deposition pattern is evidence of an overlapping of the two stocks; (3) the age groups determined for Magdalena Bay are annual and can belong to either stock; and (4) the overlapping of the two stocks occurs during winter and spring and individuals from the Gulf of California would dominate during the rest of the year.

Reproduction, size and age of maturity

The maturity cycle of the mackerel in the fishing areas was determined with monthly data from various years, after verifying that each area had a similar annual pattern in the disposition of maturity stages. Only the mackerel from Magdalena Bay did not show a clear pattern. The maturity cycle in each fishing area (fig. 3) indicates that the mackerel from southern California to Vizcaíno Bay reproduce from April to October, with a maximum around June, that is, it generates annual age groups during the same season. However, the mackerel from the Gulf of California reproduce from November to April, with a maximum between January and March. These temporal differences in the reproductive cycle between west coast and Gulf of California mackerel might indicate two stocks. The mackerel from Magdalena Bay showed evidence of reproduction from February to May and, in September, a portion of this period is similar to that of the mackerel from the Gulf of California. However, the individuals are younger than in any other fishing area, as will be shown below.

The size distribution of females with evidence of reproduction in the different fishing areas (fig. 4) shows more than one modal group, with a decrease in the size range from north to south, and a displacement towards smaller sizes in the same direction. The smallest females with evidence of reproduction measured 148 mm SL and were caught in the Gulf of California. The largest measured 368 mm SL and were caught in Ensenada.

In the different fishing areas, 1 to 7 year old females were recorded with mature gonads. The age frequency distributions of mature females per fishing area (fig. 5) show a maximum of

California; (2) la irregularidad del patrón de deposición es evidencia de una sobreposición de los dos grupos poblacionales; (3) los grupos de edad determinados en Bahía Magdalena son anuales y ellos pueden pertenecer a uno u otro grupo poblacional; (4) la sobreposición de los grupos poblacionales sería durante invierno y primavera, y en el resto del año predominarían individuos con características del Golfo de California.

Reproducción, talla y edad de madurez

El ciclo de madurez de la macarela en las zonas de pesca se determinó con la información mensual de varios años, después de verificar que en cada zona se presentó anualmente un patrón similar en la disposición de estadios de madurez. Únicamente la macarela de Bahía Magdalena no mostró un patrón claro. El ciclo de madurez en cada zona de pesca (fig. 3) indica que la macarela, desde el sur de California hasta Bahía Vizcaíno, se reproduce de abril a octubre, con un máximo alrededor de junio, es decir, genera grupos de edad anuales en la misma época. Mientras que la macarela del Golfo de California se reproduce de noviembre a abril, con un máximo entre enero y marzo. Esas diferencias temporales en el ciclo reproductivo entre la macarela de la costa occidental y aquella del Golfo de California, pueden conducir a la existencia de dos grupos poblacionales. La macarela de Bahía Magdalena mostró evidencias de reproducción de febrero a mayo y en septiembre, una fracción de ese periodo es similar a el de la macarela del Golfo de California. Sin embargo, los individuos son más jóvenes que en cualquier otra zona de pesca, como se observa posteriormente.

La distribución de tallas de hembras con evidencia de reproducción en las distintas zonas de pesca (fig. 4) muestra más de un grupo modal, una disminución del intervalo de tallas de norte a sur, y un desplazamiento hacia tallas pequeñas en el mismo sentido. Las hembras más pequeñas con evidencias de reproducción midieron 148 mm LE y se capturaron en el Golfo de California. Las más grandes midieron 368 mm LE y se capturaron en Ensenada.

irregularity in the deposition pattern is evidence of an overlapping of the two stocks; (3) the age groups determined for Magdalena Bay are annual and can belong to either stock; and (4) the overlapping of the two stocks occurs during winter and spring and individuals from the Gulf of California would dominate during the rest of the year.

Reproduction, size and age of maturity

The maturity cycle of the mackerel in the fishing areas was determined with monthly data from various years, after verifying that each area had a similar annual pattern in the disposition of maturity stages. Only the mackerel from Magdalena Bay did not show a clear pattern. The maturity cycle in each fishing area (fig. 3) indicates that the mackerel from southern California to Vizcaino Bay reproduce from April to October, with a maximum around June, that is, it generates annual age groups during the same season. However, the mackerel from the Gulf of California reproduce from November to April, with a maximum between January and March. These temporal differences in the reproductive cycle between west coast and Gulf of California mackerel might indicate two stocks. The mackerel from Magdalena Bay showed evidence of reproduction from February to May and, in September, a portion of this period is similar to that of the mackerel from the Gulf of California. However, the individuals are younger than in any other fishing area, as will be shown below.

The size distribution of females with evidence of reproduction in the different fishing areas (fig. 4) shows more than one modal group, with a decrease in the size range from north to south, and a displacement towards smaller sizes in the same direction. The smallest females with evidence of reproduction measured 148 mm SL and were caught in the Gulf of California. The largest measured 368 mm SL and were caught in Ensenada.

In the different fishing areas, 1 to 7 year old females were recorded with mature gonads. The age frequency distributions of mature females per fishing area (fig. 5) show a maximum of

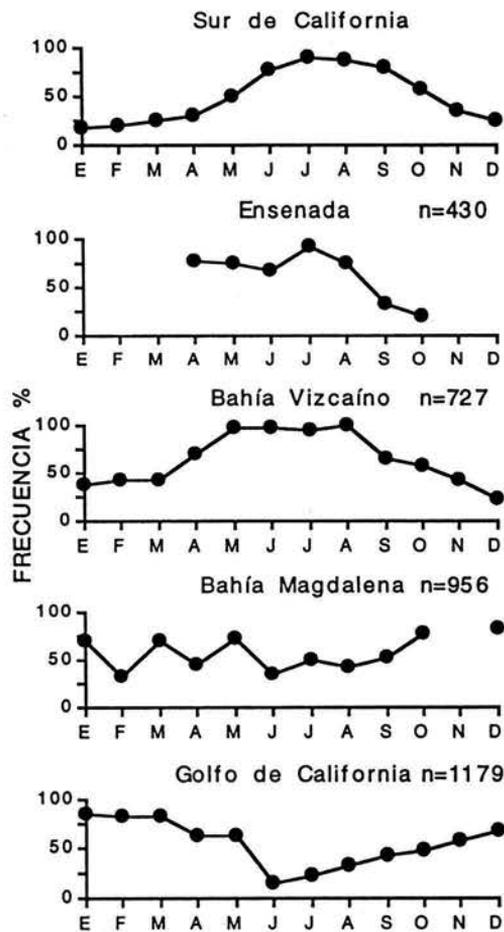


Figura 2. Proporción mensual de bordes opacos en los otolitos de *Scomber japonicus* del sur de California (de Fitch, 1951), Ensenada, Bahía Vizcaíno (de Gluyas-Millán, 1994), Bahía Magdalena y Golfo de California.

Figure 2. Monthly proportion of opaque margins in the otoliths of *Scomber japonicus* from southern California (from Fitch, 1951), Ensenada, Vizcaíno Bay (from Gluyas-Millán, 1994), Magdalena Bay and Gulf of California.

En las distintas zonas de pesca se registran hembras con gónadas maduras de 1 a 7 años de edad. Las distribuciones de frecuencia de edades, por zona de pesca, de hembras maduras (fig. 5) muestran un máximo de individuos de 4, 5 y 3 años en Ensenada, Bahía Vizcaíno y el Golfo de California, respectivamente. En Bahía Magdalena, 78% de las macarelas tuvieron de 1 a 3 años de edad, más jóvenes que en cualquier otra zona. Esto indica que hacia el sur de

individuals of 4, 5 and 3 years in Ensenada, Vizcaíno Bay and the Gulf of California, respectively. In Magdalena Bay, 78% of the mackerels were 1 to 3 years old, younger than in any other area. This indicates that in the southern distribution of the mackerel, the predominant age is younger than in the northern. Magdalena Bay is different; 80% of the individuals with evidence of maturity were younger than 3 years of age, suggesting that this fishing

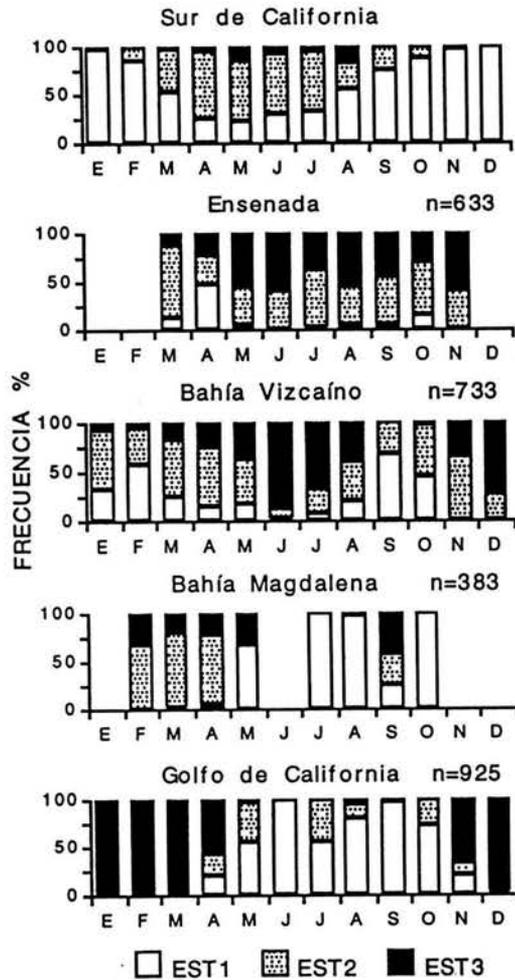


Figura 3. Proporción mensual de estadios de madurez gonádica de *Scomber japonicus* del sur de California (de Knaggs y Parrish, 1973), Ensenada, Bahía Vizcaíno (de Gluyas-Millán, 1994), Bahía Magdalena y Golfo de California. Estadio 1, inmaduro; estadio 2, en proceso de maduración; estadio 3, maduro.

Figure 3. Monthly proportion of gonadal maturity stages of *Scomber japonicus* from southern California (from Knaggs and Parrish, 1973), Ensenada, Vizcaíno Bay (from Gluyas-Millán, 1994), Magdalena Bay and Gulf of California. Stage 1, immature; stage 2, developing; stage 3, mature.

la distribución de la macarela, la edad que predomina es menor que en el norte. Bahía Magdalena se comporta diferente; 80% de individuos con evidencias de maduración tuvieron menos de 3 años de edad. Este esquema sugiere que esa zona no es estrictamente de reproducción, sino posiblemente de alimentación.

area is not strictly for reproduction, but possibly for feeding.

The size distribution at Vizcaíno Bay has a greater percentage of smaller individuals than at Ensenada, whereas the age distributions present an inverse situation (figs. 4, 5). Gluyas-Millán and Gómez-Muñoz (1993) comment that from

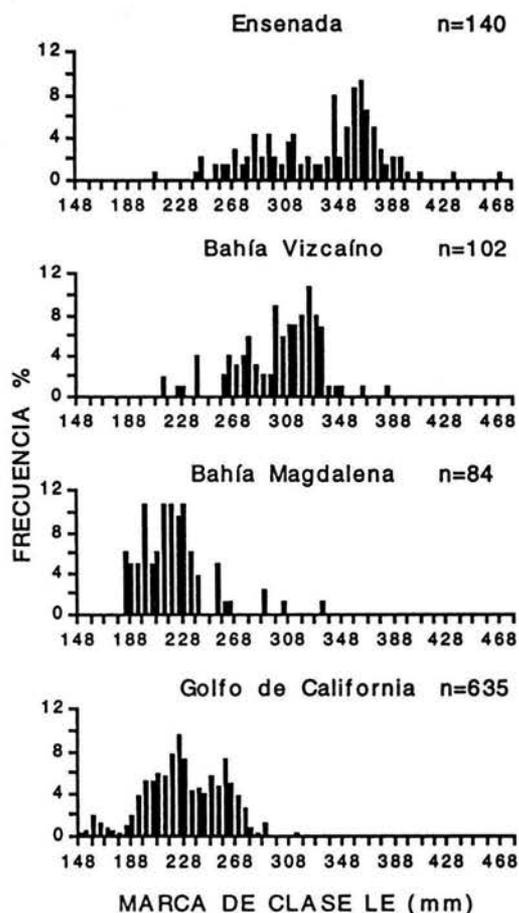


Figura 4. Distribución de frecuencia de tallas de hembras de macarela en el estadio 3 de Ensenada, Bahía Vizcaíno (de Gluyas-Millán, 1994), Bahía Magdalena y Golfo de California.

Figure 4. Size frequency distribution of stage 3 female mackerels from Ensenada, Vizcaíno Bay (from Gluyas-Millán, 1994), Magdalena Bay and Gulf of California.

En la distribución de tallas de Bahía Vizcaíno se observa una proporción mayor de individuos pequeños que en Ensenada, mientras que las distribuciones de edad presentan una situación inversa (figs. 4, 5). Gluyas-Millán y Gómez-Muñoz (1993) comentan al respecto que en Bahía Vizcaíno, durante julio y agosto de 1984, se capturaron individuos pequeños fuera del periodo de reclutamiento (noviembre a marzo). Es posible que se trate de individuos sureños, puesto que fueron capturados en el año que sucede a un evento El Niño y las condi-

July to August 1984 at Vizcaíno Bay, small individuals were caught outside the recruitment period (November to March). It is possible that southern individuals were involved, since they were caught during the year following the El Niño event when the environmental conditions may not have been restored, modifying the distribution of the mackerel.

The $L_{50\%}$ and $E_{50\%}$ values for the mackerel at Magdalena Bay were 213.7 mm SL and 1.7 years, respectively, smaller than in any other fishing area (table 1). The $L_{50\%}$ and $E_{50\%}$ values

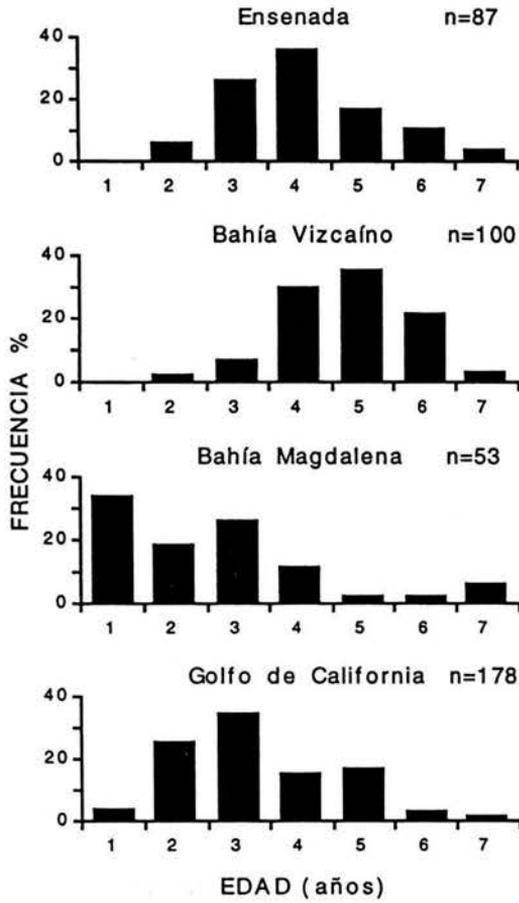


Figura 5. Distribución de edades de hembras de macarela en el estadio 3 de Ensenada, Bahía Vizcaíno (de Gluyas-Millán, 1994), Bahía Magdalena y Golfo de California.

Figure 5. Age frequency distribution of stage 3 female mackerels from Ensenada, Vizcaíno Bay (from Gluyas-Millán, 1994), Magdalena Bay and Gulf of California.

Tabla 1. $L_{50\%}$ y $E_{50\%}$ de *Scomber japonicus* de Ensenada, Bahía Vizcaíno (de Gluyas-Millán, 1994), Bahía Magdalena y Golfo de California.

Table 1. $L_{50\%}$ and $E_{50\%}$ of *Scomber japonicus* from Ensenada, Vizcaíno Bay (from Gluyas-Millán, 1994), Magdalena Bay and Gulf of California.

Zona	$L_{50\%}$ (LE mm)	$E_{50\%}$ (años)
Ensenada	311.3	3.5
Bahía Vizcaíno	300.6	4.3
Bahía Magdalena	213.7	1.7
Golfo de California	228.0	3.7

ciones ambientales pudieron no estar restablecidas, modificando la distribución de la macarela.

El valor de $L_{50\%}$ y $E_{50\%}$ para la macarela de la Bahía Magdalena fue de 213.7 mm LE y 1.7 años, respectivamente, menor que en cualquier otra zona de pesca (tabla 1). Los valores de $L_{50\%}$ y $E_{50\%}$ presentan una disminución de Ensenada al Golfo de California, sin considerar Bahía Magdalena.

Composición de la captura por talla y edad

La composición de tallas de la captura comercial de macarela en las zonas de pesca (fig. 6) muestra, en general, una disminución del intervalo de talla y un desplazamiento hacia tallas más pequeñas desde Ensenada al Golfo de California. La composición por edades presenta una estructura similar, con un máximo de individuos de 3 años de edad en Ensenada y el Golfo de California, e individuos de 4 años de edad en Bahía Vizcaíno (fig. 7). La diferencia entre Ensenada y Bahía Vizcaíno se debe a que la composición por edades en la primera zona corresponde a 1990, año en que se registró la captura más elevada, la cual estuvo dominada por individuos de la clase anual de 1987.

Con el propósito de conocer si los individuos <3 años de edad en Bahía Magdalena provienen de algún mes en especial, se determinó mensualmente la composición promedio por edad (fig. 8). En la figura se observa que los individuos <3 años de edad representaron 85% de la captura y se capturaron de abril a octubre; los individuos >4 años de edad se encontraron en diciembre, febrero y marzo. Esto indica que Bahía Magdalena es una zona donde habitan principalmente individuos jóvenes a lo largo del año.

DISCUSIÓN

Las diferencias y similitudes en las características biológicas descritas para la macarela capturada desde el sur de California hasta el Golfo de California apoyan la hipótesis de la existencia de dos grupos poblacionales. Uno se distribuye al menos desde el sur de California a Bahía Vizcaíno, donde existe un intercambio de macarela de acuerdo con los estudios de

decrease from Ensenada to the Gulf of California, without considering Magdalena Bay.

Catch composition per size and age

The size composition of the commercial catches of mackerel in the fishing areas (fig. 6) shows a general decrease in the size range and a displacement towards smaller sizes from Ensenada to the Gulf of California. The age composition has a similar structure, with a maximum of 3 year old individuals at Ensenada and the Gulf of California and 4 year old individuals at Vizcaíno Bay (fig. 7). This difference between Ensenada and Vizcaíno Bay is because the age composition in the first area corresponds to 1990, year in which the largest catch was recorded that consisted mainly of individuals from the 1987 year class.

In order to determine if the individuals <3 years of age at Magdalena Bay come from a certain month, the average age composition was calculated monthly (fig. 8). The figure shows that these individuals represented 85% of the catch and were caught from April to October; individuals >4 years of age occurred in December, February and March. This indicates that Magdalena Bay is an area where mainly young individuals inhabit throughout the year.

DISCUSSION

The differences and similarities in the biological characteristics of the mackerel catch from southern California to the Gulf of California support the hypothesis of the existence of two stocks. One is distributed from southern California to Vizcaíno Bay, where, according to tagging studies (Fry and Roedel, 1949); there is an exchange of mackerel. The other stock is distributed in the Gulf of California, which was distinguished from that of the west coast by morphometric and meristic characteristics (Roedel, 1952). Another factor to consider is that the yields of both stocks have shown to be partially out of phase (fig. 9), probably due to differences in the recruitment patterns. This is observed in the evolution of the catches from 1983 to 1992 in Ensenada and the Gulf of California.

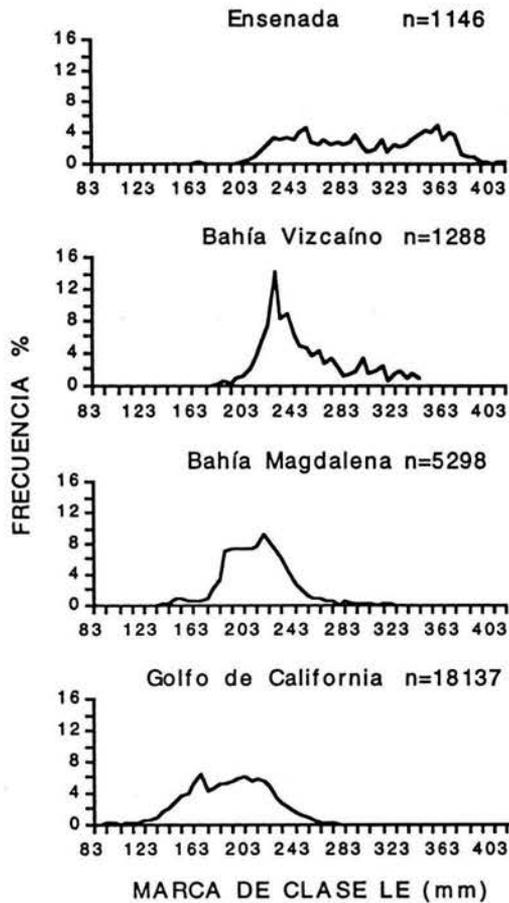


Figura 6. Composición por tallas de la captura comercial de macarela desembarcada en Ensenada, Bahía Vizcaíno (de Gluyas-Millán y Gómez-Muñoz, 1993), Bahía Magdalena y Golfo de California. **Figure 6.** Size composition of the commercial catch of mackerel unloaded in Ensenada, Vizcaíno Bay (from Gluyas-Millán and Gómez-Muñoz, 1993), Magdalena Bay and Gulf of California.

mercado (Fry y Roedel, 1949). El otro se distribuye en el Golfo de California, el cual se logró distinguir de aquel de la costa occidental a través de caracteres morfométricos y merísticos (Roedel, 1952). Otro factor a considerar es que los rendimientos de ambos grupos poblacionales han mostrado estar parcialmente fuera de fase (fig. 9) debido probablemente a diferencias en sus patrones de reclutamiento. Esto se manifiesta al observar la evolución de las capturas de 1983 a 1992 en Ensenada y el Golfo de California.

The results obtained for Magdalena Bay, i.e., the undefined pattern in the deposition of the opaque and hyaline bands in the otoliths, the presence of females <3 years of age with evidence of maturity during a prolonged period and the catch composition of individuals <3 years of age during most of the year, can pose the hypothesis that Magdalena Bay is an area where individuals from the two stocks overlap. It could be more a feeding than reproduction area, where individuals that have not been recruited to the reproductive stock reside, since

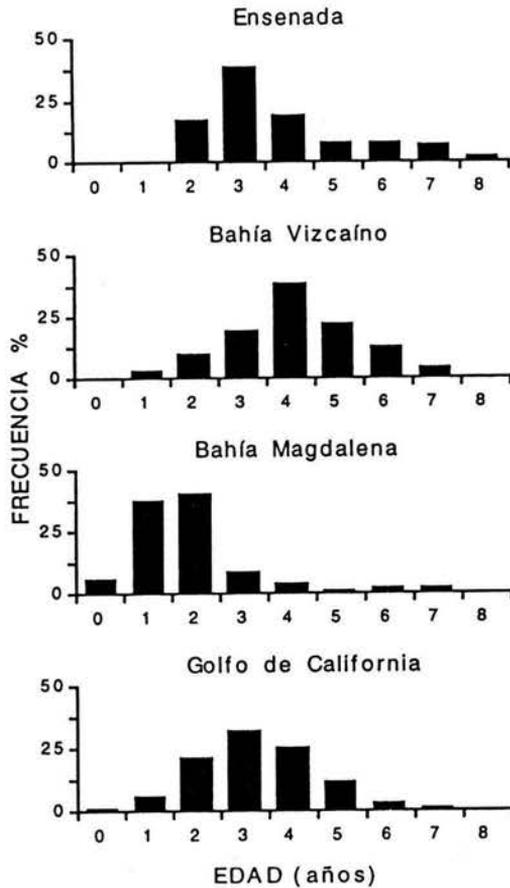


Figura 7. Composición de edades de la captura comercial de macarela desembarcada en Ensenada, Bahía Vizcaíno (de Gluyas-Millán y Gómez-Muñoz, 1993), Bahía Magdalena y Golfo de California.
Figure 7. Age composition of the commercial catch of mackerel unloaded in Ensenada, Vizcaíno Bay (from Gluyas-Millán and Gómez-Muñoz, 1993), Magdalena Bay and Gulf of California.

Los resultados obtenidos para Bahía Magdalena: el patrón no definido en la deposición de las bandas opacas e hialinas en los otolitos, la presencia de hembras <3 años de edad con evidencias de maduración durante un periodo prolongado y la composición de la captura principalmente de individuos <3 años de edad durante la mayor parte del año, permiten plantear la hipótesis que esta bahía es una zona de sobreposición de individuos de los dos grupos poblacionales. Podría ser una zona de alimentación más que de reproducción, en donde permanecen individuos que aún no se reclutan

$E_{50\%}$ is >3 years. This evidence suggests that individuals from Magdalena Bay can belong to either of the two stocks.

A geographic variation in growth was evident in the results. This variation is related to sea temperature; when temperature is high, $E_{50\%}$ is reached at a smaller size and age. The sea surface temperature here increases from north to south. However, the $E_{50\%}$ estimates for *S. japonicus* can vary at the same site. For example, Fry (1936) reports that mackerel from southern California spawn at 2 years of age. Fitch (1951) indicates that spawning does

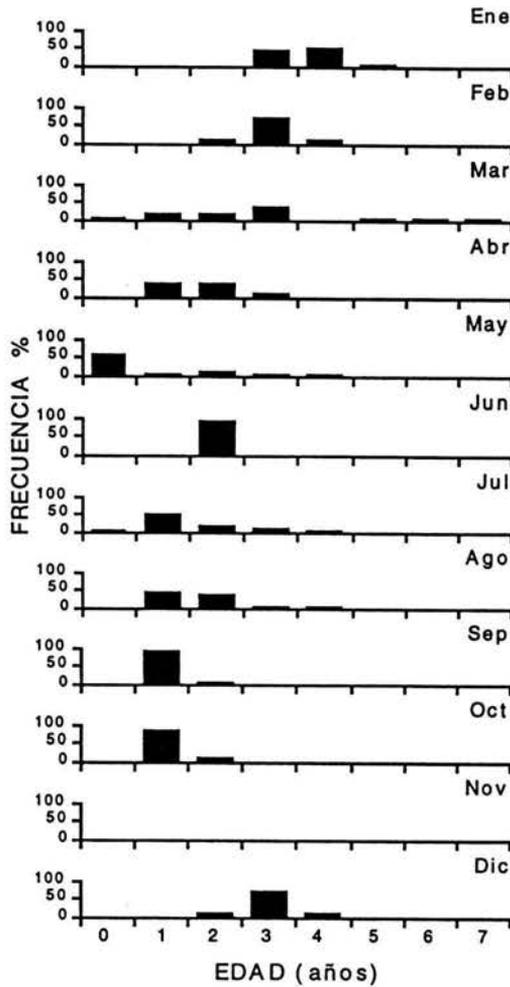


Figura 8. Composición promedio (1980-1989) por edades de la captura mensual de la Bahía Magdalena.

Figure 8. Average age composition (1980-1989) of the monthly catch at Magdalena Bay.

al grupo poblacional reproductor, ya que $E_{50\%}$ es >3 años. Estas evidencias sugieren que los individuos en Bahía Magdalena pertenecerán a cualquiera de los dos grupos poblacionales.

Una variación geográfica en crecimiento fue evidente en los resultados. Esa variación puede relacionarse con la temperatura del mar. Cuando ésta es mayor la $E_{50\%}$ se alcanza a una talla y edad menor. En este caso, la temperatura superficial del mar aumenta de norte a sur. Sin embargo, las estimaciones de $E_{50\%}$ para S.

not occur until the third or fourth year, and Knaggs and Parrish (1973) report that 65% of the females mature at 2+ years. On the other hand, intense exploitation produces a reduction in abundance (Gulland, 1983) and changes in age or size at first maturity (Ricker, 1981; Beacham, 1983). Compared to the other areas, the greatest fishing effort is concentrated in the Gulf of California; however, the greatest catch has been recorded at Ensenada (38,222 t in 1990). It can therefore be suggested that the

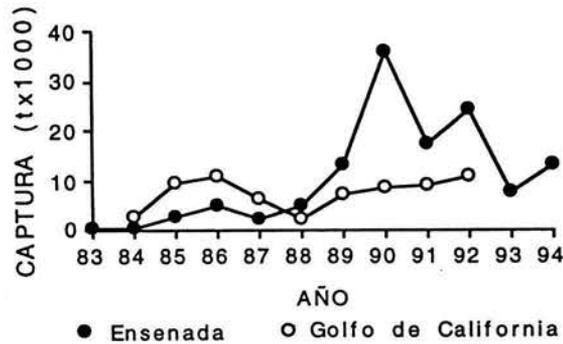


Figura 9. Captura anual de macarela *Scomber japonicus* en Ensenada y el Golfo de California.
Figure 9. Annual catch of the mackerel *Scomber japonicus* in Ensenada and the Gulf of California.

japonicus pueden variar para un mismo sitio. Por ejemplo, Fry (1936) reporta que la macarela del sur de California desova a los dos años. Fitch (1951) indica que el desove ocurre hasta el tercero o cuarto año de vida, y Knaggs y Parrish (1973) reportan que el 65% de las hembras maduran a los 2+ años. Por otro lado, una intensa explotación produce una reducción en la abundancia (Gulland, 1983) y cambios en la edad o talla de primera madurez (Ricker, 1981; Beacham, 1983). En el Golfo de California se concentra el mayor esfuerzo de pesca comparado con las otras zonas. Sin embargo, la mayor captura se ha registrado en Ensenada (38,222 t en 1990). Este hecho conduce a sugerir que el tamaño de la población puede determinar la tasa de crecimiento relativa, como se ha mostrado para la macarela del Atlántico (Overholtz, 1989; Overholtz *et al.*, 1991) y otras especies (Jørgensen, 1990). Un cambio en el ambiente también puede modificar las estimaciones de $L_{50\%}$ y $E_{50\%}$, pero es difícil separar los efectos ambientales de aquellos de la pesca.

El origen de la macarela que se captura en Bahía Magdalena no se evaluó. Sin embargo, al interpretarse algunos resultados se pueden hacer aproximaciones. Por ejemplo, la presencia de hembras con gónadas maduras al interior de Bahía Magdalena en febrero y marzo; las grandes proporciones de bordes opacos en algunos meses de invierno muestran patrones semejantes a los de la macarela del Golfo de California. Esto sugiere que en invierno una

population size determines the relative growth rate, as has been shown for Atlantic mackerel (Overholtz, 1989; Overholtz *et al.*, 1991) and other species (Jørgensen, 1990). A change in environment can also modify the $L_{50\%}$ and $E_{50\%}$ estimates, but it is difficult to separate environmental effects from those of fishing.

The origin of the mackerel caught at Magdalena Bay was not evaluated. However, it can be approximated by interpreting some results. For example, the presence of females with mature gonads inside Magdalena Bay during February and March; large proportions of opaque bands during some winter months show patterns similar to those of mackerel from the Gulf of California. This suggests that a large amount of mackerel caught at Magdalena Bay during winter can come from the Gulf of California. The stock from the gulf can reach the area of Magdalena Bay in winter, when it migrates to reproduce from the area of the big islands to the area of Guaymas, Yávaros, Santa Rosalía and Cabo San Lucas (Gluyas-Millán, unpublished data). The mackerel from southern California travel southward during the same period (Fry and Roedel, 1949) and may reach the area of Magdalena Bay, both stocks coinciding in time and space.

Magdalena Bay is not a reproductive area, but rather one of feeding for individuals from both stocks. The evidence of maturity in young individuals is a natural response to the abundance and quality of the food. The 1 to 2 year

fracción importante de la macarela capturada en Bahía Magdalena puede provenir del Golfo de California. El grupo poblacional del golfo puede alcanzar la zona de Bahía Magdalena en invierno cuando migra a reproducirse desde la zona de las grandes islas hasta la zona de Guaymas, Yávaros, Santa Rosalía y Cabo San Lucas (Gluyas-Millán, datos no publicados). Por otro lado, la macarela del sur de California se desplaza hacia el sur en el mismo periodo (Fry y Roedel, 1949) y podría alcanzar la zona de Bahía Magdalena, coincidiendo en tiempo y espacio ambos grupos poblacionales.

Bahía Magdalena no es una zona de reproducción, sino de alimentación de individuos de ambos grupos poblacionales. Las evidencias de maduración de individuos jóvenes son consecuencia natural de la abundancia y calidad del alimento. Los individuos de 1 a 2 años con gónadas maduras aún no se reclutan al grupo poblacional reproductor y permanecen en Bahía Magdalena hasta alcanzar la edad y/o la talla de reclutamiento reproductor. Por esa razón se registran escasamente individuos >4 años. Esto confirma lo sugerido por Gluyas-Millán (1989) y Arcos-Huitrón y Torres-Villegas (1990), que la especie podría desovar al exterior de la bahía.

Un procedimiento útil en futuras investigaciones para conocer el origen de los individuos en Bahía Magdalena es considerar el tipo de borde (opaco e hialino) del otolito en la composición mensual por edades de la captura. Los resultados pueden traducirse a proporciones que indiquen el grado de mezcla y la predominancia de los grupos poblacionales. Otro procedimiento es caracterizar la morfometría del otolito para cada grupo poblacional y contrastarlas (Ihssen *et al.*, 1981; Grégoire y Castonguay, 1989; Dawson, 1991) o usar técnicas discriminantes para separarlas. Los análisis morfométricos pueden ofrecer un gran potencial en la separación de grupos poblacionales, incluso más que los merísticos en algunas especies (Ihssen *et al.*, 1981; Misra y Carcadden, 1987). Por otro lado, técnicas electroforéticas permiten comparar los genes presentes en los grupos poblacionales reconocidos, como una prueba de su divergencia genética (Jamieson y Smith, 1987). Otra herramienta es a través del

old individuals with mature gonads that have not yet been recruited to the reproductive stock remain at Magdalena Bay until reaching the age and/or size of the reproductive stock. For this reason, few individuals older than 4 years of age were recorded. This concurs with that suggested by Gluyas-Millán (1989) and Arcos-Huitrón and Torres-Villegas (1990) that the species may spawn outside the bay.

A useful procedure in future studies to determine the origin of the individuals from Magdalena Bay would be to consider the type of margin (opaque or hyaline) of the otolith in the monthly age composition of the catch. The results could translate into percentages that indicate the degree of mixing and predominance of the stocks. Another procedure would be to characterize and compare the morphometry of the otolith for each stock (Ihssen *et al.*, 1981; Grégoire and Castonguay, 1989; Dawson, 1991), or use discriminant techniques to separate them. Morphometric analyses have great potential for separating stocks, even more than meristic analyses for some species (Ihssen *et al.*, 1981; Misra and Carcadden, 1987). Electrophoretic techniques can also be used to compare the genes present in the stocks identified, as a test of their genetic divergence (Jamieson and Smith, 1987). Another tool would be to study the helminthofauna (Isakov, 1976; Belyaev and Ryabov, 1987). Some parasites present a limited geographic distribution, thus the incidence of mackerels with a parasite of limited distribution would indicate its origin.

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks to Walterio García F., Miguel A. Cisneros M. and Manuel Nevárez O., from the Instituto Nacional de la Pesca, and Roberto Félix U., from the Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN, for the biological data of the mackerel. The comments and suggestions by the anonymous reviewers are appreciated. M.G. Gluyas-Millán received a grant from CONACYT (Mexico).

English translation by Jennifer Davis.

estudio de la helmintofauna (Isakov, 1976; Belyaev y Ryabov, 1987). Algunos parásitos presentan una distribución geográfica limitada; la incidencia de macarela con algún tipo de parásito de distribución limitada indicará su origen.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Walterio García F., Miguel A. Cisneros M. y Manuel Nevárez O., del Instituto Nacional de la Pesca, y a Roberto Félix U., del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN, el habernos proporcionado información biológica de la macarela. Se aprecian los comentarios y sugerencias de los revisores anónimos. M.G. Gluyas-Millán fue apoyada con una beca del CONACYT de México.

REFERENCIAS

- Arcos-Huitrón, E. y Torres-Villegas, R. (1990). Ciclo reproductor de la macarela del Pacífico *Scomber japonicus* Houttuyn (Pisces: Scombridae) en Bahía Magdalena, BCS, México. *Inv. Mar. CICIMAR*, 5(1): 37-46.
- Beacham, T.D. (1983). Variability in median size and age at sexual maturity of Atlantic cod, *Gadus morhua*, on the Scotian shelf in the northwest Atlantic Ocean. *Fish. Bull.*, US, 81: 303-312.
- Belyaev, V.A. and Ryabov, V.S. (1987). Population structure of chub mackerel, *Scomber japonicus*, in the Northwestern Pacific Ocean. *Voprosy Ikhtologii*, No. 2: 188-193 (translated into English).
- Collete, B.B. and Nauen, C.E. (1983). *FAO Species Catalogue. Vol. 2. Scombrids of the World. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date.* *FAO Fish. Synop.*, 2(125): 135 pp.
- Csirke, J. (1988). Small shoaling pelagic fish stocks. In: J. Gulland (ed.), *Fish Population Dynamics. The implications for management. Second Edition.* John Wiley and Sons, pp. 271-302.
- Dawson, W.A. (1991). Otolith measurement as a method of identifying factors affecting first-year growth and stock separation of mackerel (*Scomber scombrus* L.). *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 47: 303-317.
- Fitch, J.E. (1951). Age composition of the southern California catch of Pacific mackerel 1939-40 through 1950-51. *Calif. Dept. Fish and Game, Fish Bull.*, 83: 1-73.
- Fry, D. (1936). A preliminary summary of the life history of the Pacific mackerel. *Calif. Fish and Game*, 22(1): 30-39.
- Fry, D. and Roedel, P.M. (1949). Tagging experiments on the Pacific mackerel (*Pneumatophorus diego*). *Calif. Fish and Game, Fish Bull.*, 73: 64 pp.
- Gluyas-Millán, M.G. (1989). Época de reproducción, distribución de tallas y relación peso-longitud de la macarela del litoral de Baja California. *Inv. Mar. CICIMAR*, 4(1): 65-72.
- Gluyas-Millán, M.G. (1994). Reproducción, edad y talla de primera madurez de la macarela *Scomber japonicus* (Houttuyn, 1872) en Bahía Vizcaíno. *Ciencias Marinas*, 20(3): 409-419.
- Gluyas-Millán, M.G. y Félix-Uraga, R. (1990). Periodicidad de las marcas de crecimiento en los otolitos de la macarela *Scomber japonicus* de Bahía Vizcaíno, México. *Inv. Mar. CICIMAR*, 5(1): 33-36.
- Gluyas-Millán, M.G. y Gómez-Muñoz, V. (1993). Composición por tallas y edades de la macarela *Scomber japonicus* de Bahía Vizcaíno. *Inv. Mar. CICIMAR*, 8(1): 33-38.
- Grégoire, F. and Castonguay, M. (1989). Etude de dimensions au premier annulus d'otolithes de maquereau bleu (*Scomber scombrus*) du nord-ouest de l'Atlantique. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.*, 1680: 15 pp.
- Gulland, J. (1983). World resources of fisheries and their management. In: O. Kinne (ed.), *Marine Ecology.* John Wiley/Interscience, Chichester, pp. 839-1050.
- Ihssen, P.E., Booke, H.E., Casselman, J.M., McGlade, J.M., Payne, N.R. and Utter, F.M. (1981). Stock identification: materials and methods. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 38: 1838-1855.
- Isakov, V.T. (1976). On some results of biological studies on mackerel from the Northwest Atlantic. *ICNAF Res. Doc.*, 76/52: 14 pp.

- Jamieson, A. and Smith, P.J. (1987). Atlantic mackerel (*Scomber scombrus* L.) stocks and genes: A review. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 44: 66-72.
- Jørgensen, T. (1990). Long term changes in age at sexual maturity of northeast Arctic cod *Gadus morhua* L. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 46: 235-248.
- Knaggs, E.H. and Parrish, R.H. (1973). Maturation and growth of Pacific mackerel, *Scomber japonicus* Houttuyn. *Calif. Fish and Game*, 59(2): 114-120.
- MacCall, A., Klingbeil, R. and Methot, R. (1985). Recent increased abundance and potential productivity of Pacific mackerel (*Scomber japonicus*). *CalCOFI Rep.*, XXVI: 119-129.
- Misra, R.K. and Carcadden, J.E. (1987). A multivariate analysis of morphometrics to detect differences in populations of capelin (*Mallotus villosus*). *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 43: 99-106.
- Overholtz, W.J. (1989). Density dependent growth in the northwest Atlantic stock of Atlantic mackerel. *J. Northwest Atl. Fish. Sci.*, 9: 127-135.
- Overholtz, W.J., Murawski, S. and Maichaels, W. (1991). Impact of compensatory responses on assessment advice for the Northwest Atlantic mackerel stock. *Fish. Bull.*, US, 89: 117-128.
- Parrish, R.H. and MacCall, A.D. (1978). Climatic variation and exploitation in the Pacific mackerel fishery. *Dept. Fish and Game, Fish Bull.*, 167: 109 pp.
- Prager, M.H. and MacCall, A.D. (1988). Revised estimates of historical spawning biomass of the Pacific mackerel, *Scomber japonicus*. *CalCOFI Rep.*, XXIX: 81-90.
- Radovich, J. (1961). Relationships of some marine organisms of the northeast Pacific to water temperature particularly during 1957 through 1959. *Calif. Dept. Fish and Game, Fish Bull.*, 112: 62 pp.
- Ricker, W.E. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, 191: 382 pp.
- Ricker, W.E. (1981). Changes in the average size and average age of Pacific salmon. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 38: 1936-1956.
- Roedel, P. (1952). A racial study of the Pacific mackerel *Pneumatophorus diego*. *Calif. Dept. Fish and Game, Fish Bull.*, 84: 53 pp.
- Schaefer, K. (1980). Synopsis of biological data on the chub mackerel, *Scomber japonicus* Houttuyn 1782, in the Pacific Ocean. In: W. Bayliff (ed.), *Synopsis of Biological Data on Eight Species of Scombrids*. *Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Spec. Rep.*, 2: 395-530.
- Wilkinson, L. (1990). SYSTAT: The system for statistics. *Evanson, II. SYSTAT, Inc.*

CAPITULO IV

Edad, crecimiento y reproducción de la macarela *Scomber japonicus* del Golfo de California**RESUMEN**

Se determinó edad, crecimiento y reproducción del grupo poblacional de *S. japonicus* del GC. La determinación de edad y crecimiento se hizo separando la etapa de adulto y de juvenil. La edad se determinó desde otolitos. La escala de edad para adultos se determinó en años (>0 años) y para juveniles en días (<0 años). El material biológico para adultos proviene de muestras de la captura comercial de la pesquería de cerco que operó en el GC de 1983 a 1993, y desembarcó sus capturas en Guaymas y Yavaros, Sonora. Los juveniles se obtuvieron de cruceros exploratorios en el GC entre 1990 y 1996. Se registró la longitud de 18,139 macarelas de la captura comercial, con las cuales se determinó la distribución de frecuencia de tallas, y se tomó una muestra al azar de 1,186 otolitos para determinar la edad. Para juveniles se obtuvieron 244 pares de otolitos para determinar la edad. El crecimiento individual de la etapa adulta se determinó con el modelo de von Bertalanffy (VB) ajustado a los valores de edad-longitud, y para la etapa juvenil el modelo de Gompertz. Se examinaron microscópicamente 1,330 ovarios de hembras para definir el periodo de reproducción y zonas de desove. Los resultados indicaron: 1) que la pesquería de pelágicos menores captura macarelas de 83 a 312 mm. La longitud de reclutamiento a la pesquería fue 193 mm que corresponde a 3.3 años de edad. En un intervalo de 178 a 228 mm ocurre la mayoría de los individuos; aquellos < 178 mm se capturaron de febrero a mayo, lo que indica que se reclutan a la pesca aproximadamente al año de haber nacido. 2) La edad de la macarela fue de 0+ a 9+ años en individuos de 90 a 312 mm. La longitud por edad mostró un amplio intervalo de tallas, lo que indica una tasa de crecimiento altamente variable. No se encontraron diferencias de talla entre sexos. La edad máxima para *S. japonicus* del GC fue un individuo de 9 años. 3) Los parámetros del modelo de crecimiento individual de VB fueron los siguientes: $L = 281.6 (1 - \exp(-0.22^{(\text{edad} + 3.5))})$. La macarela mostró un rápido crecimiento, 62% en su primer año de vida, y alcanza tallas menores por edad que aquella del sur de California y Bahía Vizcaíno (Fig. 7). 4) Los cambios temporales y espaciales de los estadios de madurez indicaron que las principales zonas de reproducción son: Yavaros, Guaymas, Isla San Marcos y Cabo San Lucas; las dos primeras son las más importantes. 5) el periodo de reproducción se observó de noviembre a abril. 6) Se propone un esquema de migración con fines reproductivos para *S. japonicus* del GC (Fig. 8). Entre noviembre y abril, desde las grandes Islas, se inicia un movimiento al sur, hacia las zonas de desove (Guaymas, Yavaros e Isla del Carmen); que posiblemente también alcance Bahía Magdalena. Después del desove, inicia un movimiento hacia el norte, a las zonas de alimentación, crianza y/o refugio (Isla Tiburón e Isla Ángel de La Guarda) entre abril y octubre.

Para la etapa juvenil un análisis de la microestructura de los otolitos indicó que *S. japonicus* en un intervalo de 31 a 162 mm L le corresponde una edad de 27 a 111 días. El crecimiento individual, de acuerdo al modelo de Gompertz, mostró que la L_{∞} al final de la primera estación de crecimiento fue 187.36 mm, y el máximo incremento de crecimiento fue 1.91 mm d⁻¹ entre 44 y 45 días después de la eclosión. La tasa de crecimiento promedio hasta 110 días fue 1.13 mm d⁻¹. Una distribución de fechas de eclosión retrocalculadas mostró

que el desove puede ocurrir de noviembre a mayo, que es aproximadamente consistente con el periodo de reproducción determinado a través de la observación de gónadas (noviembre-abril), y que en algunos años podría extenderse hasta mayo.

AGE, GROWTH, AND REPRODUCTION OF PACIFIC MACKEREL *SCOMBER JAPONICUS* IN THE GULF OF CALIFORNIA

María Georgina Gluyas-Millán and Casimiro Quiñonez-Velázquez

ABSTRACT

We studied age, growth, and reproduction of the Pacific mackerel *Scomber japonicus* from the Gulf of California. Age determinations from otoliths showed that the Pacific mackerel in the Gulf ranged from 0-9 yrs old. The minimal size at recruitment into the fishery is 83 mm in standard length (SL) prior to attaining 1 yr in age, and 50% of the recruitment occurs prior to 193 mm in SL which corresponds to an age of 3.3 yrs. Growth is well described by the von Bertalanffy equation $SL = 281.6 (1 - e^{-0.22(Age+3.5)})$. The reproductive season is from November to April and spawning occurs mainly in the area of Yavaros. During spawning, the sex ratio did not vary from 1:1 for 5 mm size classes from 145-315 mm in SL. Data on the geographical and temporal distribution of different maturity stages suggested a spawning migration toward the south of the Gulf of California. Our data support the hypothesis that the spawning stock in the Gulf of California extends from north of Isla Tiburón and Isla Angel de La Guarda to Bahía Magdalena.

The Pacific mackerel, *Scomber japonicus*, together with the sardine and anchovy support an important fishery in the Gulf of California; the present fleet consists of 32 purse seine vessels. The catch of Pacific mackerel represents up to 6% of the total small pelagic catch in the Gulf but shows large annual variations (Fig. 1). More than 90% of the catch is used to produce fish meal and the remainder is used for human consumption. The fleet operates mainly along the continental coast from Puerto Peñasco to Punta Ahome and secondarily from Bahía San Luis Gonzaga to Isla del Carmen along the Baja Peninsula where the main ports of landing are Guaymas and Yavaros (Fig. 2).

Little is known about the history of the Pacific mackerel in the Gulf of California, however, it has been well studied along the west coast of Baja California and in adjacent United States waters. Spawning occurs in summer in Bahía Vizcaíno and Southern California Bight (Gluyas-Millán, 1994; Knaggs and Parrish, 1973) and during winter in Bahía Magdalena (Gluyas-Millán, 1989; Arcos- Huitrón and Torres-Villegas, 1990). A winter spawning season has been inferred for the Gulf of California from larval collections (Moser et al., 1974; Olvera-Limas, 1975; Green-Ruiz and Aguirre- Medina, 1992) and gonad condition (Gluyas-Millán, 1989). From a study of vertebral characteristics, Roedel (1952) states that the population from the Gulf of California and the area of Cabo San Lucas is distinguishable from the more northern stocks (Bahía Vizcaíno and Southern California Bight). Similarly, based on population structure, reproductive periods and the seasonal pattern of deposition of bands on the otolith, Gluyas-Millán and Quiñonez-Velázquez (1996) identified two stocks, one from Southern California Bight to Bahía Vizcaíno and the other in the Gulf of California.

The present paper evaluates the age, growth, reproductive cycle and spawning areas of the Pacific mackerel in the Gulf of California and further examines weight-length and length-length relationships.

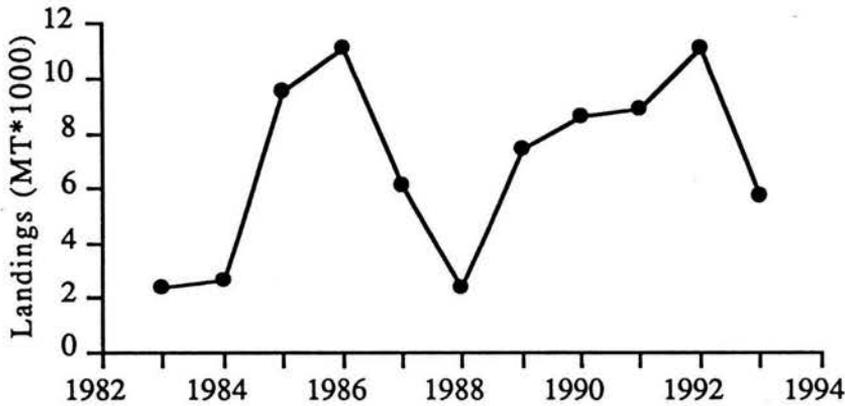


Figure 1. Pacific mackerel *S. japonicus* landings in the Gulf of California from 1983 to 1993.

MATERIALS AND METHODS

Pacific mackerel were sampled from 1983 to 1993 (Table 1) from the commercial catch of the purse seine fleet that operated throughout the Gulf of California (Fig. 2). The sampling program was conducted by the Instituto Nacional de la Pesca and involved two sampling techniques. One consisted of analyzing the length structure (5 mm size classes, SL) of a 10 kg sample of the capture of vessels. The date and capture area was obtained from the vessels' logbooks. The second sampling consisted of determining the standard length (SL), fork length (FL), total weight (TW) and gutted weight (GW) for a subsample of up to five fish per 5-mm SL class. For the same fish, we further extracted the otoliths for age determination, and determined the sex and state of gonadal maturity based on the morphochromatic maturity scale of Knaggs and Parrish (1973). In some cases it was not possible to measure FL, to determine weight or sex, or to obtain the otoliths.

Otoliths used for age determination were selected at random ($n = 1186$), mounted on glass slides with Pro-Texx clear mounting media, and examined with a stereo microscope using reflected light and a black background. Under these conditions, the opaque bands appeared white and the translu-

Table 1. Dates and size of the samples of Pacific mackerel *S. japonicus* taken from commercial landings from 1983 to 1993 in the Gulf of California.

Month/Year	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
Jan			3		7			51	431	164	233
Feb							10	68	350	132	553
Mar		33		16	108		7	34	363	8	339
Apr		78	402	35	381	8	144	253	338	423	1034
May		178	664	502	35	4	310	128	94	852	174
Jun		446	478	167	5						
Jul	7		666	432	76	508	102			95	67
Aug			1013		335				120		
Sep			550	776	18						
Oct		601							546		
Nov		288	73	45		48	120			86	
Dec	20	226	336	104	18	7	166	89	445	113	



Figure 2. Fishing areas for Pacific mackerel *S. japonicus* in the Gulf of California.

Table 2. Description of maturity stages of the ovary of Pacific mackerel *S. japonicus* (from Knaggs and Parrish, 1973).

Stage	Appearance of ovary	Approximate composed to length of body cavity
Immature	Translucent; ova reddish to pinkish and invisible to naked eye	1/3
Resting	Translucent; pinkish color; ova invisible to naked eye	1/2
Developing	Pinkish yellow color; granular opaque appearance; ova entirely opaque (no translucent or transparent ova visible)	2/3
Ripe	Orange to pink color; superficial blood vessels visible; conspicuous large translucent to transparent ripe ova visible (eggs might be extrusable)	2/3
Spent	Remnants of disintegrating opaque and ripe ova visible; may be dark colored or translucent	1/2

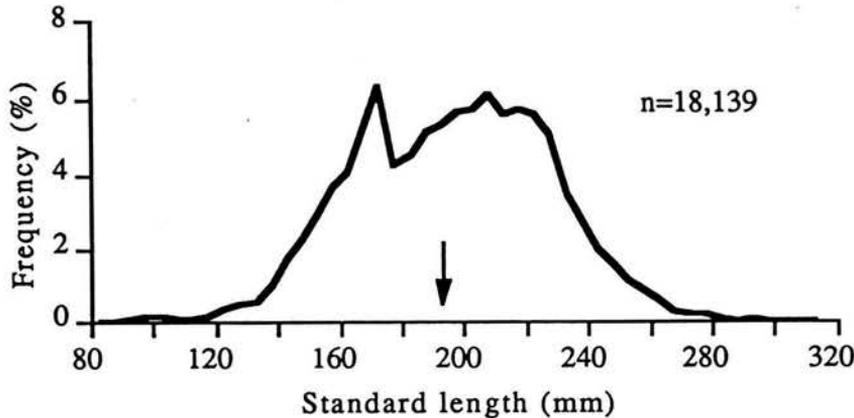


Figure 3. Size frequency distribution for Pacific mackerel *S. japonicus* caught by the purse-seine fishery in the Gulf of California from 1983 to 1993. The arrow indicates the size class at 50 percent recruitment. $L_{50\%} = 193$ mm SL.

cent bands darker. The otoliths were read by two persons and where the readings differed, the pattern of growth bands were discussed until agreement was reached. The bands were counted along the radius to the distal edge, and ages were assigned based on annulus counts. An annulus was represented by an opaque band and a translucent one. That opaque and translucent bands are formed annually was suggested by the seasonal pattern of deposition at the otolith margin band (Gluyas-Millán and Quiñonez-Velázquez, 1996). For Pacific mackerel from the Gulf of California which have a spawning peak in January to February, annuli are formed during January to March. For aging purposes, 1 January was taken as birth date of all of the fish sampled. This method has been widely used for Pacific mackerel in other geographical regions (Fitch, 1951; Dawson, 1986; Aguayo and Steffens, 1986; Mendo, 1984).

The von Bertalanffy growth equation $SL = L_{\infty} (1 - e^{-k(t-t_0)})$ was fitted to the observed age-length data using a SYSTAT NONLIN module (Wilkinson, 1990). The parameters of the growth equation for length are defined as follows: L_{∞} = asymptotic length (SL); K = Brody's growth constant; t_0 = hypothetical age at zero length; and t = age in years (Ricker, 1975).

The reproductive state was assessed using morphological criteria (Knaggs and Parrish, 1973). Gonads from 1330 females were examined visually in the field and assigned to one of five classes (Table 2). Since oocytes mature in successive pulses, some fish may have been classified as spent when they were between pulses (Knaggs and Parrish, 1973). The monthly data on the proportion of individuals in different reproductive stages in different regions were used to define spawning periods and spawning grounds. The sex ratio was defined during the spawning period for fish in each 5 mm length class. A Chi-square test was used to test for departures of the sex ratio from 1:1.

The weight-length relationships for males and females were described by linear regression applied to log₁₀-transformed data. ANCOVA was used to test for differences between regressions, and the standard length to fork length relationship was described by linear regression.

RESULTS

The minimum and maximum standard length (SL) of Pacific mackerel caught by the commercial fishery were 83 mm and 312 mm, respectively (Fig. 3). The 50% recruitment size into the fishery (calculated by fitting a logistic model to the accumulated size frequency

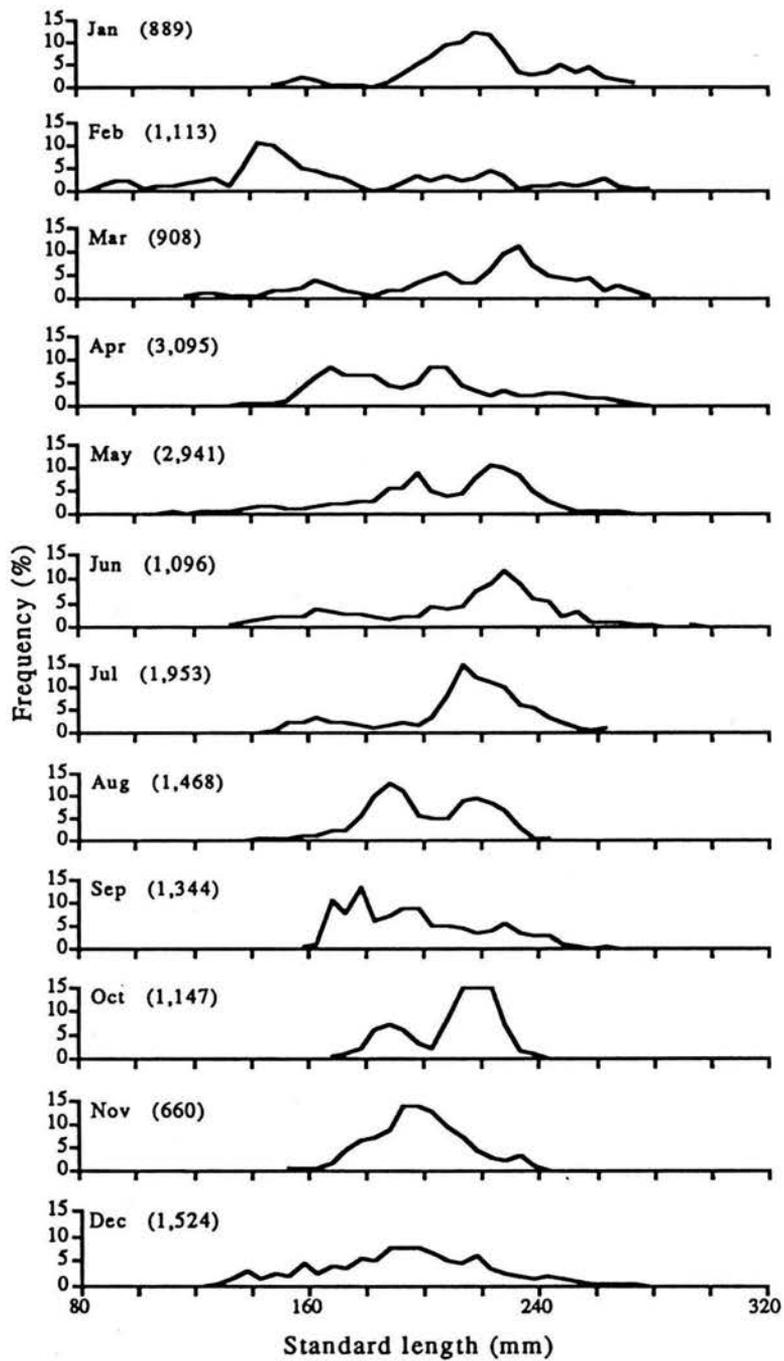


Figure 4. Monthly length frequency distributions for Pacific mackerel *S. japonicus* in the Gulf of California from 1983 to 1993. Number in parenthesis indicate sample sizes.

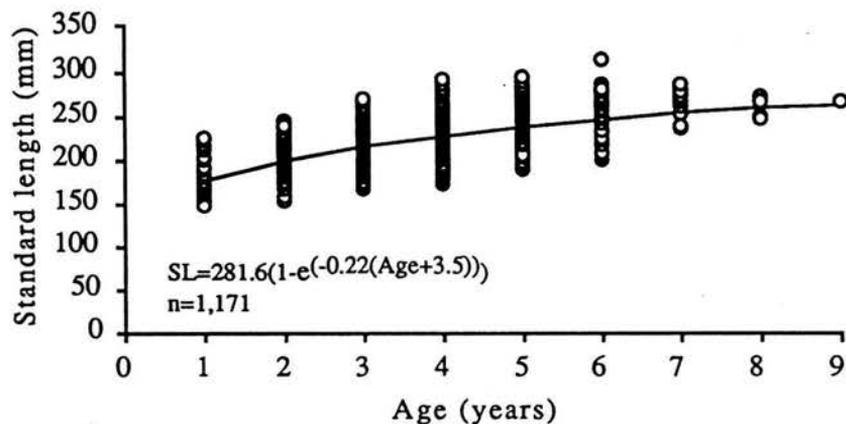


Figure 5. von Bertalffy growth curve fitted to length-at-age data for Pacific mackerel *S. japonicus* in the Gulf of California.

distribution) was 193 mm SL which corresponded to an age of 3.3 yrs. Most of the fish sampled ranged from 178 to 228 mm, and the modal SL was 208 mm. Mackerel measuring <178 mm were caught from February to May (Fig. 4). We assumed that the length-frequency distributions from the purse seine samples represented the population and that possible temporal and spatial bias was likely minimized because the sampling was for over a 10-yr period and was made throughout the Gulf of California (Fig. 2, Table 1).

The sagittae of the Pacific mackerel had a pattern of wide opaque bands alternating with thin translucent bands. The first opaque band was notably wider than the others. We found Pacific mackerel from 0 to 9 Cys of age and ranging in size from 90 to 312 mm SL. Only one 9-yr-old fish was found. Lengths varied greatly within age classes, and no difference between sexes was detected in mean SL at any age class (t-test, $P > 0.05$). The mean standard lengths for the two sexes pooled were 165, 183, 201, 212, 227, 240, 249, and 265 mm SL for ages 0 to 7, respectively. As one effect of size-dependent fishing

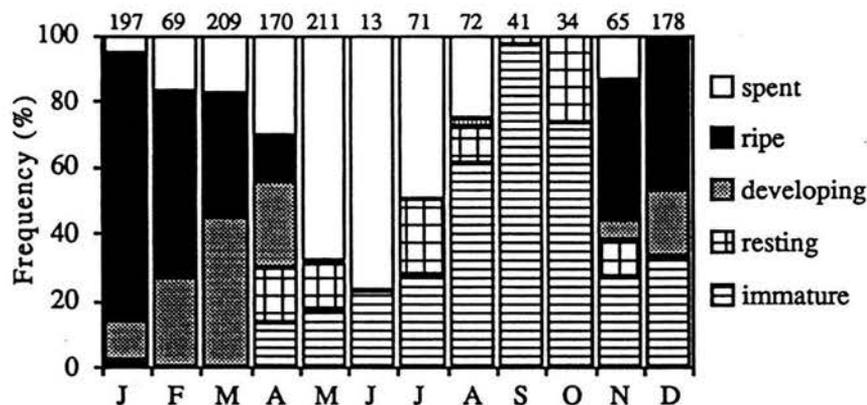


Figure 6. Relative frequency of female Pacific mackerel *S. japonicus* in different stages of gonad maturity. Number above bars indicate sample sizes.

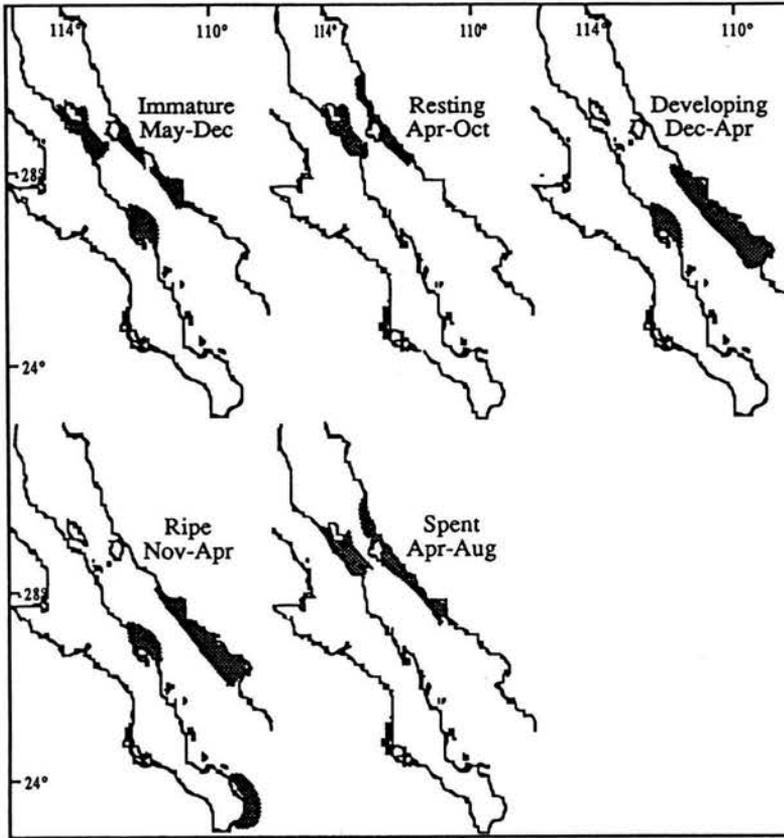


Figure 7. Geographic distribution and dates of female Pacific mackerel *S. japonicus* in different stages of gonad maturity in the Gulf of California.

mortality is selective removal of fast-growing individuals (Ricker, 1969), the length of the youngest age groups may be overestimated. For this reason the age class 0 ($n = 15$) was excluded from growth analysis. Despite the large variation in size at a given age, observed lengths fitted well to the von Bertalanffy growth model: $L_{\infty} = 281.6 \text{ mm}$, $K = 0.22 \text{ yr}^{-1}$ and $t_0 = -3.5 \text{ yrs}$ (Fig. 5). The Pacific mackerel showed a rapid increase in size during the first year. On average, 62% of the cumulative total observed growth in length was in the first year.

Females in the ripe phase, which represent individuals about to spawn, were common from November through April (Fig. 6), suggesting that spawning occurs over a 6-mo period in the Gulf of California. However, gonad maturation was not synchronous among individuals in the population as females in the developing phase were common from December to April and females with resting-stage gonads from April to November. The temporal distribution fish with ripe gonads suggested that spawning occurred between November and April and was most intense in December to February.

S. japonicus from the Gulf of California showed changes in temporal and geographic distribution of gonad maturity stages (Figs. 6 and 7). Immature fish were located off Guaymas, Isla San Marcos, Isla Angel de La Guarda and Isla Tiburón. The last two

Table 3. Weight-length regressions for Pacific mackerel *S. japonicus* from the Gulf of California. TW = Total Weight (g); SL = Standard Length (mm).

Sex	n	a	b	r ²	SL range	TW range
Male	1297	6.68E-7	3.587	0.89	145-296	39-460
Female	1257	2.22E-6	3.365	0.87	151-312	45-506
Combined	2554	1.17E-6	3.483	0.88	145-312	39-506

locations also had fish with resting-stage gonads. Fish with developing gonads were found southward, as far as Yavaros and Isla San Marcos. From November to April, the spawning phase was observed at Yavaros, Guaymas, Isla San Marcos, and Cabo San Lucas. After April, fish in spent condition were found towards the north at Guaymas, Isla Angel de la Guarda and Isla Tiburón. The gonad maturation data suggested that spawning occurred mainly in the Yavaros region. An increase in catch of Pacific mackerel at Yavaros from January to March (Cisneros-Mata et al., 1991) coincided with maximum reproductive activity. These temporal and geographic cyclical changes in gonadal maturity indicated an initial movement towards the spawning grounds, followed by a migration towards the feeding grounds.

During the spawning period, November to April, no departures from a 1:1 sex ratio were detected throughout the range of 145 to 315 mm SL (Chi-square = 14.28, n = 35, P > 0.05) and the mean ratio was 1 males to 0.88 females.

We did not detect differences between the sexes in the weight-length regressions (ANCOVA P > 0.05, n = 2554). The model with the pooled data explained 88% of the variance (Table 3).

Regressions of standard length to fork length showed that fork length increased slightly more rapidly than standard length when the fish were small (Table 4). Fork length was 8.6% larger for a 150 mm SL fish and 7.3% larger for a 250 mm SL fish.

DISCUSSION

We show that the spawning period for Pacific mackerel from the Gulf of California is from November to April. This period coincides with when the peak formation of the opaque zone in otoliths occurs (Gluyas-Millán and Quiñonez-Velázquez, 1996). In contrast, spawning and peak opaque zone formation occurs during the summer in Pacific mackerel off Southern California and Bahía Vizcaíno (Fitch, 1951; Knaggs and Parrish, 1973; Gluyas-Millán and Félix-Uraga, 1990; Gluyas-Millán, 1994). Fitch (1951) associated opaque zone formation with more active growth. The spawning period Pacific

Table 4. Length-length and weight-weight regressions for Pacific mackerel *S. japonicus* from the Gulf of California. FL = Fork Length (mm); SL = Standard Length (mm); GW = Gutted Weight (g); TW = Total Weight (g)

Equation	n	r ²	Range
FL = 6.072 + 1.0545 L	2613	0.99	100-291
SL = -3.658 + 0.934 FL	2613	0.99	119-312
GW = 5.398 + 0.843 TW	2987	0.99	20-506
TW = 4.032 + 1.171 GW	2987	0.99	17-417

Table 5. Length at age estimated for *S. japonicus* by Fitch (1951); Knaggs and Parrish (1973); Dawson (1986); Aguayo and Steffens (1986); Mendo (1984); Yoshida (1955) (cited by Aguayo and Steffens, 1986); Present study (the standard length was converted to FL using the equation in Table 4).

	Fitch (1951)	Knaggs and Parrish (1973)	Dawson (1986)	Aguayo and Steffens (1986)	Mendo (1984)	Yoshida (1955)	Present study
Age (years)	Estimated length (FL mm)						
1	270.0	273.0	195.0	151.2	141.5	118.1	192.6
2	305.0	308.3	235.4	195.5	230.0	181.7	214.4
3	327.5	336.1	268.1	233.0	288.9	236.7	231.9
4	350.0	357.8	294.5	264.9	328.1	290.8	245.9
5	372.5	374.8	315.7	291.9	354.1	337.2	257.1
6	375.0	388.1	332.9	314.9	371.4	376.1	266.2
7	377.5	398.5	346.8	334.3	382.9		273.4
8	378.7	406.7	358.0				279.2
Location	Southern California	Southern California	Ecuador	North of Chile	Peru	Japan	Gulf of California

mackerel in Bahía Magdalena in the Pacific is mainly in winter (Gluyas-Millán, 1989), thus in the same period as in the Gulf of California.

Our data suggest that the main spawning grounds in the Gulf of California are in the Yavaros and Guaymas areas, and near Isla San Marcos. These spawning areas are also indicated by data from previous studies on egg and larval distribution in the Gulf of California (Moser et al., 1974; Olvera-Limas, 1975; Martínez-Aguilar and de Anda-Montañez, 1990; Green-Ruiz and Aguirre-Medina, 1992) and on gonad condition (Gluyas-Millán, 1989).

The observations on spawning period and spawning grounds support the hypothesis that the stock fished in the Gulf of California extends from Isla Patos and Isla Angel de La Guarda in northern Gulf of California to Bahía Magdalena (Gluyas-Millán and Quiñonez-Velázquez, 1996).

The changes in geographic and temporal distribution of maturity stages suggest that adult Pacific mackerel migrate southward from the feeding grounds (Isla Tiburón and Isla Angel de La Guarda) toward the spawning grounds (Guaymas, Yavaros and Isla del Carmen). Our study indicates that spawning grounds are found along both eastern and western coasts of the Gulf, but the principal grounds are on the eastern coast. Sokolov (1974) indicates that the sardine in the Gulf of California also shows a southern migration for spawning but only towards the eastern coast of the Gulf.

We show that length is a very poor predictor of age indicating that the growth rate is highly variable. Methods of growth estimation, such as length-frequency analyses, are greatly affected by this kind of variation. The wide range in length at a given age may be because fish hatching at different times during the extended spawning season may exhibit different growth rates or because fish were sampled over different years and growth may vary among years.

The value for $L_{\infty} = 282$ mm SL was 10% smaller than the maximum observed length (312 mm SL) and the ages 8 and 9 yrs-old were poorly represented. We collected one Pacific mackerel measuring 377 mm in SL (403 mm FL) in March 1993, but it was not

included in the growth estimation. Fitch (1951) found, as a maximum length of 415 mm FL (388 mm SL) in the California fishery. Pacific mackerel from the Gulf of California have a length at age, and growth rate, smaller than those obtained by Fitch (1951) for Pacific mackerel from Southern California. We found that the longevity for Pacific mackerel in the Gulf of California (9 yrs) was similar to that off Bahía Vizcaino (8 yrs) (Gluyas-Millán and Quiñonez-Velázquez, 1996). Over 12 seasons of fishing for Pacific mackerel from Southern California Bight, Fitch (1951) collected two 10-yr old and one 11-yr old fish.

Size-dependent fishing mortality selectively removes fast-growing individuals (Ricker, 1969). Because of this, it is likely that the average size of the youngest age groups recruited to the fishery are biased because of fast-growing individuals. This was most likely the case for the 0 age class which we excluded in the calculation of the von Bertalanffy growth curve.

The length to age estimates for the Gulf of California Pacific mackerel up to the age of 3 yrs are generally similar to the estimates of Dawson (1986), Aguayo and Steffens (1986), Mendo (1984), Yoshida (1955, in Aguayo and Steffens, 1986) and Mendo (1984) (Table 5). There are large differences with respect to the estimates of Fitch (1951) and Knaggs and Parrish (1973). These differences may indicate regional variations in growth, as has been shown for other pelagic fish (Mais, 1974; Mallicoate and Parrish, 1981). These could be caused by varying spawning periods, varying age composition, size-specific migration, or a combination of factors (Parrish et al., 1985).

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

ACKNOWLEDGMENTS

We wish to thank M. Cisneros, H. Montiel, M. Nevarez, and P. Santos, from Centro Regional de Investigación Pesquera Guaymas (INP), for providing the extensive data on Pacific mackerel in the Gulf of California and J. Himmelman for comments on the manuscript. The principal author was supported by a scholarship from the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) of México.

LITERATURE CITED

- Aguayo, M. and H. Steffens. 1986. Edad y crecimiento de *Somber japonicus* del norte de Chile. Invest. Pesq. (Chile) 33: 61-76.
- Arcos-Huitrón, E. and R. Torres-Villegas. 1990. *Ciclo reproductor de la macarela del Pacífico Scomber japonicus* Houttuyn (Pisces: Scombridae) en Bahía Magdalena, B.C.S. México. Inv. Mar. CICIMAR 5: 37-46.
- Cisneros-Mata, M., M. Nevarez, G. Montemayor, P. Santos and R. Morales. 1991. Pesquería de sardina en el Golfo de California 1988/89-1989-90. Informe Técnico. Instituto Nacional de La Pesca (Méx.), CRIP-Guaymas. 79 p.
- Dawson, W. 1986. La interpretación de las estructuras en otolitos para la estimación de edad y crecimiento de algunos peces pelágicos en el Ecuador. Bol. Cient. Tec. 2: 1-24.
- Fitch, J. E. 1951. Age composition of the southern California catch of Pacific mackerel 1939-40 through 1950-51. Calif. Dept. Fish Game, Fish Bull. 83: 1-73.
- Gluyas-Millán, M. G. 1989. Epoca de reproducción distribución de tallas y relación peso-longitud de la macarela del litoral de Baja California. Inv. Mar. CICIMAR 4: 65-72.
- _____. 1994. Reproduction, age and length of first maturity of Pacific mackerel *Scomber japonicus* (Houttuyn, 1872) in Vizcaino Bay. Ciencias Marinas 20: 409-419.

- _____ and R. Félix-Uraga. 1990. Periodicidad de las marcas de crecimiento en los otolitos de la macarela *Scomber japonicus* de Bahía Vizcaíno, México. Inv. Mar. CICIMAR 5: 33-36.
- _____ and C. Quiñonez-Velázquez. 1996. Evidence of different stocks of mackerel *Scomber japonicus*. Ciencias Marinas, 22: 377-395.
- Green-Ruiz, Y. and G. Aguirre-Medina. 1992. Estimation of the reproductive biomass of the Pacific mackerel (*Scomber japonicus* Houttuyn, 1782) in the Gulf of California (January-February). Ciencias Marinas 18: 135-149.
- Knaggs, E. H. and R. H. Parrish. 1973. Maturation and growth of Pacific mackerel *Scomber japonicus* Houttuyn. Calif. Dep. Fish Game 59: 114-120.
- Mais, K. F. 1974. Pelagic fish surveys in the California current. Calif. Dept. Fish Game, Fish. Bull., U. S. 162: 1-79
- Mallicoate, D. L. and R. H. Parrish. 1981. Seasonal growth pattern of California stocks of northern anchovy *Engraulis mordax*, Pacific mackerel *Scomber japonicus*, and jack mackerel *Trachurus symmetricus*. CalCOFI Rep. 22: 69-81.
- Martínez-Aguilar, S. and J. A. de Anda-Montañez. 1990. Estimación de la biomasa reproductora de *Scomber japonicus* Houttuyn, en el Golfo de California, (Marzo 1981). Ciencia Pesquera, Instituto Nacional de La Pesca (Méx.) 7: 17-34.
- Mendo, J. 1984. Edad, crecimiento y algunos aspectos reproductivos y alimentarios de la caballa *Scomber japonicus peruanus*. Bol. Inst. Mar Per-Callao, 8: 101-156.
- Moser, H.G., E. H. Ahlstrom, D. Kramer and E. Stevens. 1974. Distribution and abundance of fish eggs and larvae in the Gulf of California. CalCOFI Rep. 17: 112-127.
- Olvera-Limas, R. M. 1975. Distribución de larvas de macarela *Scomber japonicus* (Houttuyn) en las áreas sur y centro del Golfo de California, en abril de 1972. Instituto Nacional de La Pesca, INP/SC. 12: 1-15.
- Parrish, R. H., D. L. Mallicoate, and K. F. Mais. 1985. Regional variation in the growth and age composition of northern anchovy, *Engraulis mordax*. Fish. Bull., U.S. 83: 483-496.
- Ricker, W. E. 1969. Effects of size-selective mortality and sampling bias on estimates of growth, mortality, production and yield. J. Res. Board Can. 26: 479-541.
- _____. 1975;. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Bull. Fish. Res. Bd. Can. 191. 382 p.
- Roedel, P. 1952. A racial study of the Pacific mackerel *Pneumatophorus diego*. Calif. Dept. Fish Game, Fish. Bull., U. S. 84: 53.
- Sokolov, V. 1974. Investigaciones biológico pesqueras de los peces pelágicos del Golfo de California. CalCOFI Rep. 17: 92-96.
- Wilkinson, L. 1990. SYSTAT: The system for statistics. Evanston, IL. SYSTAT, Inc.

DATE ACCEPTED: March 13, 1997.

ADDRESSES: (M.G.G-M.) Centro Regional de Investigación Pesquera La Paz, Instituto Nacional de La Pesca, Carretera a Pichilingue Km 1 s/n, La Paz, Baja California Sur 23002, México. (C.Q-V.) Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, Apartado Postal 592, La Paz, Baja California Sur 23000, México.

Growth of juvenile Pacific mackerel, *Scomber japonicus* in the Gulf of California*

MARIA GEORGINA GLUYAS-MILLÁN¹, MARTIN CASTONGUAY²
and CASIMIRO QUIÑONEZ-VELÁZQUEZ³

¹Instituto Nacional de La Pesca, Centro Regional de Investigación Pesquera La Paz, Carretera a Pichilingue Km 1 s/n, La Paz, Baja California Sur, México Tel: (112) 21367; Fax: (112) 30122.

²Ministère des Pêches et des Océans, Institut Maurice-Lamontagne, C.P. 1000, Mont-Joli, Québec, Canada G5H 3Z4 Tel: (418) 7750634; Fax: (418) 7750542

³Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, Playa El Conchalito s/n Po. Box 592, La Paz 23000, Baja California Sur, México. Tel: (112) 25344; Fax: (112)25322.

SUMMARY: The otolith microstructure of juvenile (0-year) Pacific mackerel, *Scomber japonicus*, was examined to derive estimates of age, growth, and back-calculated hatching date distributions. Juveniles were collected from the Gulf of California between March 1990 and February 1996. Estimated ages of juveniles ranged from 27 to 111 days (31 to 162 mm SL). A Gompertz growth model provided a good description ($r^2 = 0.85$) of the length-at-age relationship. The maximum daily growth rate calculated was 1.91 mm d⁻¹ for 44 day-old fish. The average growth rate up to 110 days old was 1.13 mm d⁻¹. The back-calculated hatching date distributions showed that spawning occurs from November to May.

Key words: Pacific mackerel, juveniles, growth, Gulf of California.

INTRODUCTION

The Pacific mackerel *Scomber japonicus* is an important commercial fish in the Gulf of California. The species is distributed in the North-eastern Pacific from Alaska to Bahía Banderas (México), and the Gulf of California (Schaefer, 1980). A few studies have examined age and growth of the adult mackerel (i.e. age > 1) from California and Baja California using otoliths (Fitch, 1951; Gluyas-Millán and Félix-Uraga, 1990; Gluyas-Millán and Gómez-Muñoz, 1993). However, little is known of the age and growth of larval and juvenile Pacific mackerel. Hunter and Kim-

brell (1980) described the growth of larvae reared in the laboratory but did not fit growth equations to their data. The larvae and juveniles of several other Scombrids have been aged, including the Bluefin tuna, *Thunnus thynnus* (Brothers *et al.*, 1983), the Yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, the Skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis* (Uchiyama and Struhsaker, 1981; Radtke, 1983; Yamanaka, 1989), King and Spanish mackerel, *Scomberomorus cavalla* and *S. maculatus* (De Vries *et al.*, 1990), as well as the congeneric Atlantic mackerel, *Scomber scombrus*, from temperate waters (Kendall and Gordon, 1981; Migoya, 1989; D'Amours *et al.*, 1990, and Simard *et al.*, 1992).

The discovery of daily increments in fish otoliths (Pannella, 1971, 1974) has made the interpretation of otolith microstructure a major tool for estimating

*Received February 19, 1997. Accepted October 2, 1997.

age and growth in larval and juvenile fishes (Campana and Neilson, 1985; Jones, 1986; Stevenson and Campana, 1992). Aging by counting otolith growth increments allows a direct measure of length-at-age for calculation of growth curves and may provide information on individual age and growth rates. Furthermore, back-calculation of daily increments may reveal temporal distribution of birthdates (Methot, 1983). Rates of growth and survival of young fish have also been hypothesized to affect the abundance of the incoming year-classes (Lasker, 1985; Rothchild, 1986). Hence small changes in growth rates can also have a dramatic effect on recruitment by determining the duration of the stage over which high mortality rates may operate (Houde, 1987).

The objectives of our study were to age juvenile (0-year) Pacific mackerel, to model their somatic growth, and to determine their hatching date frequency distribution.



FIG. 1. Study area, Gulf of California.

MATERIALS AND METHODS

Juvenile Pacific mackerel ($n = 244$) were collected between 1990 and 1996 off both the western and eastern shores of the Gulf of California (México) from Bahía Animas to Bahía Yávaros during February, March, May and August (Fig. 1, Table 1). Surface temperatures at collection sites ranged from 21.5 to 28.7°C.

Prior to removing the otoliths, the standard length (SL) was measured to the nearest 0.1 mm. The sagittae were removed and stored dry until mounting. The otoliths were mounted in cyanoacrylate (Krazy GlueTM) on a microscope slide. Before examining Pacific mackerel otolith microstructure, we first examined the otolith microstructure of Atlantic mackerel of known age for training purposes.

All observed otoliths were ground with the proximal side facing the slide until the nucleus was

reached with self-adhesive 3M Imperial Lapping Film (3 and 30 μm grit). Otoliths were viewed in transmitted light and growth increments counted using a compound microscope. The central part of the otolith (close to the nucleus) was read at 1000x in immersion oil (usually the first 10 to 15 rings), while its outer part (dorso-ventral direction) was examined at 250x magnification (D'Amours *et al.*, 1990). The enumeration of growth increments on the otoliths was made on the shorter axis, according to D'Amours *et al.* (1990) and Simard *et al.* (1992). Because the otoliths of mackerel are curved throughout the long axis (rostrum to postrostrum), the increments in the long axis are lost during the grinding. In addition to the number of increments, the otolith diameter in the reading axis was measured. Pacific mackerel display an otolith microstructure similar to the daily increments observed in Atlantic mackerel

TABLE 1. – Dates and sampling locations of juvenile Pacific mackerel, *Scomber japonicus*, from the California Gulf. Standard length in mm and age in days.

Date	Region	number of juvenile sampled	aged	Standard Length sampled	Interval aged	age range	average
Mar. 1990	Bahía Animas	18	15	45-138	45-135	47-74	62
May-Aug. 1991	Bahía Guaymas	5	4	90-158	90-158	60-111	87
May-Aug. 1992	Bahía Animas	11	10	120-162	120-162	50-96	74
Feb.-May 1993	Bahía Yávaros	21	18	90-146	90-140	44-79	60
Feb. 1994	Bahía San Rafael	8	8	44-76	44-76	46-54	49
Feb. 1995	Bahía Guayamas-Mulegé	124	99	31-111	31-105	27-66	44
Feb. 1996	Mulegé	57	50	35-83	35-83	32-53	43

(Migoya, 1989; D'Amours *et al.*, 1990) as well as in many other fishes [see Stevenson and Campana (1992) for a recent review].

The enumeration of growth increments on the otoliths started from a prominent dark ring near the center present on all otoliths. We postulated that this was a hatch check, based on Migoya (1989), who determined that a similar check on otoliths of reared Atlantic mackerel was a hatch check. We further postulated that the increments were deposited daily, as Migoya (1989) and D'Amours *et al.* (1990) experimentally determined for Atlantic mackerel. A minimum of three counts was made on all otoliths, and the mean of the counts was used in the analysis. When the three counts differed by more than five rings, the otolith was reread. If there was still disagreement after the second reading, the otolith was not included in this analysis. Ten otoliths were discarded on this basis.

The sagittae of Pacific mackerel juveniles display presumably daily, bipartite growth increments composed of one optically transparent and less transparent layer as well as finer subdaily increments, which were not considered. D'Amours *et al.* (1990) defined these increments as sharp discontinuous zones and irregular and diffuse rings. They comment that only with the direct validation experiment was it possible to determine that the sharp discontinuous zones were daily, and that the diffuse zones were not to be included in the counts for the estimation of age.

The Gompertz growth curve has previously been found superior to the logistic and the von Bertalanffy curves in describing growth of 0-year Atlantic mackerel (Simard, 1991; Simard *et al.*, 1992). For this reason, early growth in Pacific mackerel was modelled by fitting a Gompertz curve to the length-at-age data using the SYSTAT NONLIN module (Wilkinson, 1987). We used the following formulation of the Gompertz growth equation, according to Ricker (1979, p. 705):

$$L_t = L_\infty e^{-e^{-g(t-t_0)}} \quad (1)$$

where

L_t = standard length (mm) at age t (days from hatch),

L_∞ = asymptotic standard length (mm) at the end of the first growth season,

g = instantaneous growth rate when $t = t_0$,

t = age (days from hatch),

t_0 = age of maximal growth (at the inflection point of the curve).

To yield parameter estimates with the smallest variance, a weighting factor equal to the inverse of age was introduced in the least squares analysis, as the variance in length was not homogeneous (Box *et al.*, 1978). This weighting procedure was also used for the same purpose by D'Amours *et al.* (1990) and Simard *et al.* (1992). A measure of goodness-of-fit was provided by calculating a coefficient of determination (r^2) (Sokal and Rohlf, 1981, p. 673; D'Amours *et al.*, 1990; Simard *et al.*, 1992) and by examining the distribution of residuals.

Following Simard *et al.* (1992), we assessed interannual variability in growth by comparing growth of fish aged between 32 and 53 days sampled in February 1995 and February 1996 (Table 1). Growth is linear for that age range. Hence we compared linear regressions of length versus age with analysis of covariance (ANCOVA).

The hatching dates frequency distribution of juvenile Pacific mackerel was obtained by subtracting counts of growth increments from the date of capture (Campana and Jones, 1992). This distribution was compared to the spawning season of mackerel in the Gulf of California (Gluyas-Millán and Quiñonez-Velázquez, 1996).

RESULTS

Otolith diameter was highly correlated to standard length for Pacific mackerel juveniles (Fig. 2) ($r = 0.88$, $p < 0.001$, $n = 213$). This highly significant relationship demonstrates that fish growth and otolith

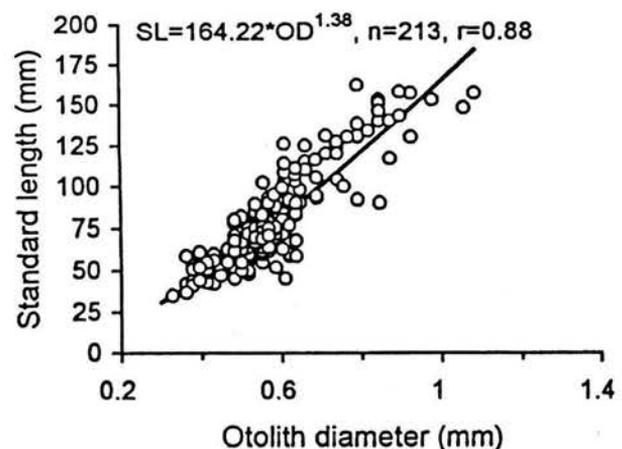


FIG. 2. — Regression between standard length (SL) and otolith diameter (OD) of juvenile Pacific mackerel, *Scomber japonicus*, (31–162 mm SL).

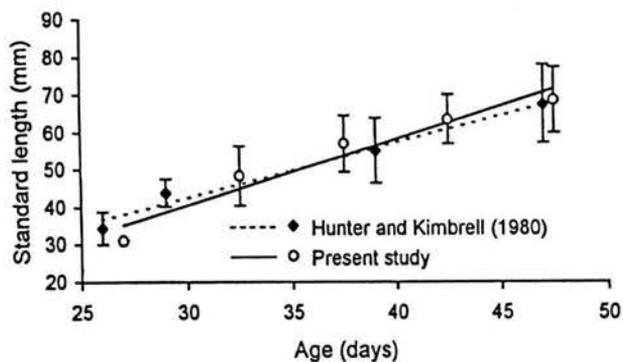


FIG. 3. – Comparison between the ages estimated from otoliths and laboratory reared juvenile Pacific mackerel, *Scomber japonicus*. The vertical bars represent standard deviation.

growth are closely coupled. This observation is consistent with the hypothesis that the increments are formed daily. As additional validation we compared our age estimations with the age and length data of Hunter and Kimbrell (1980), in the interval of 26 to 47 days of age. The slope of Hunter and Kimbrell's data, when plotted against the regression line of the present study (Fig. 3), shows close agreement (ANCOVA, $p = 0.986$, $n = 9$). This comparison suggests that growth increments are deposited daily and that growth of reared and wild fish is similar.

A total of 244 juvenile Pacific mackerel was available from seven sampling programs (Table 1). Fish ranged in size from 31 to 162 mm SL, and in age from 27 to 111 days. Juvenile distribution varied

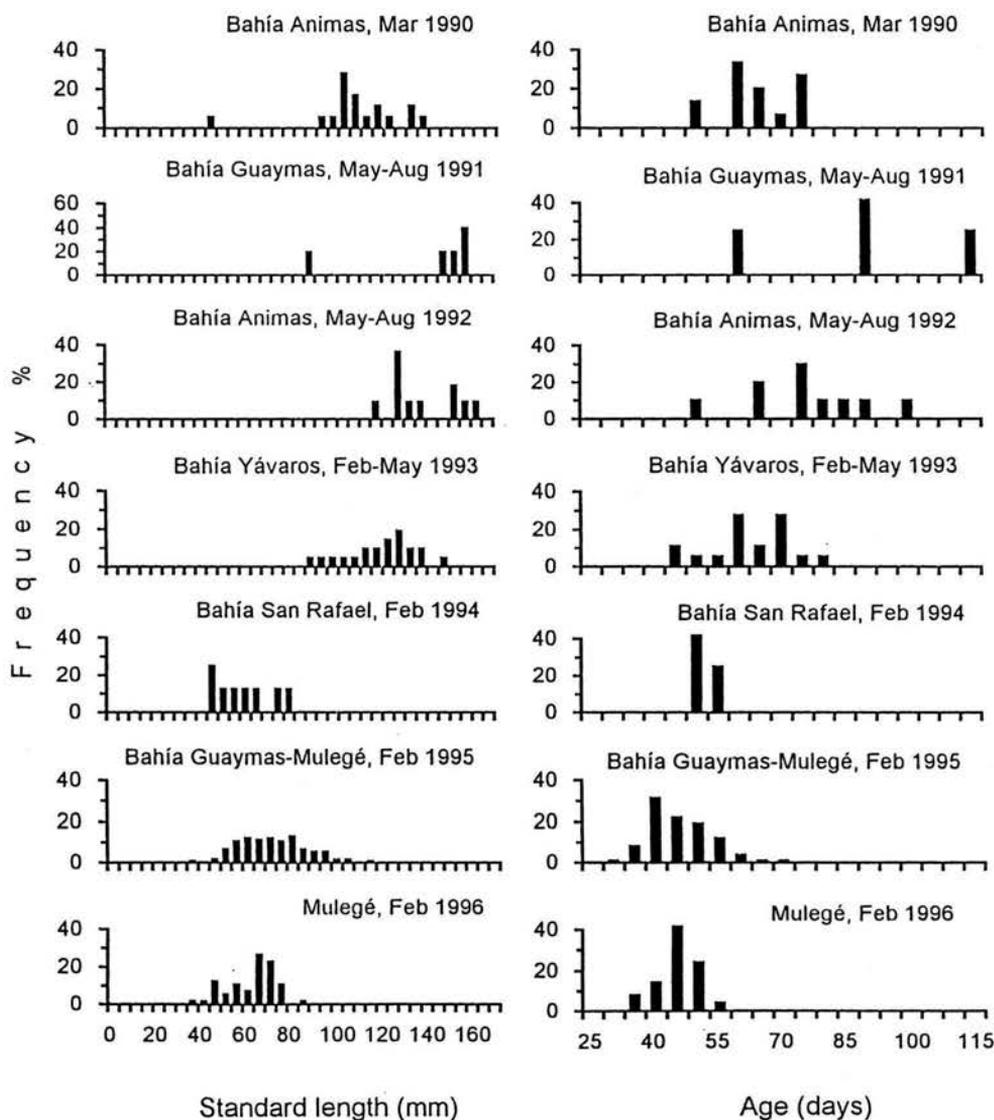


FIG. 4. – Size and age distribution of juvenile Pacific mackerel, *Scomber japonicus*, collected between 1990 and 1996.

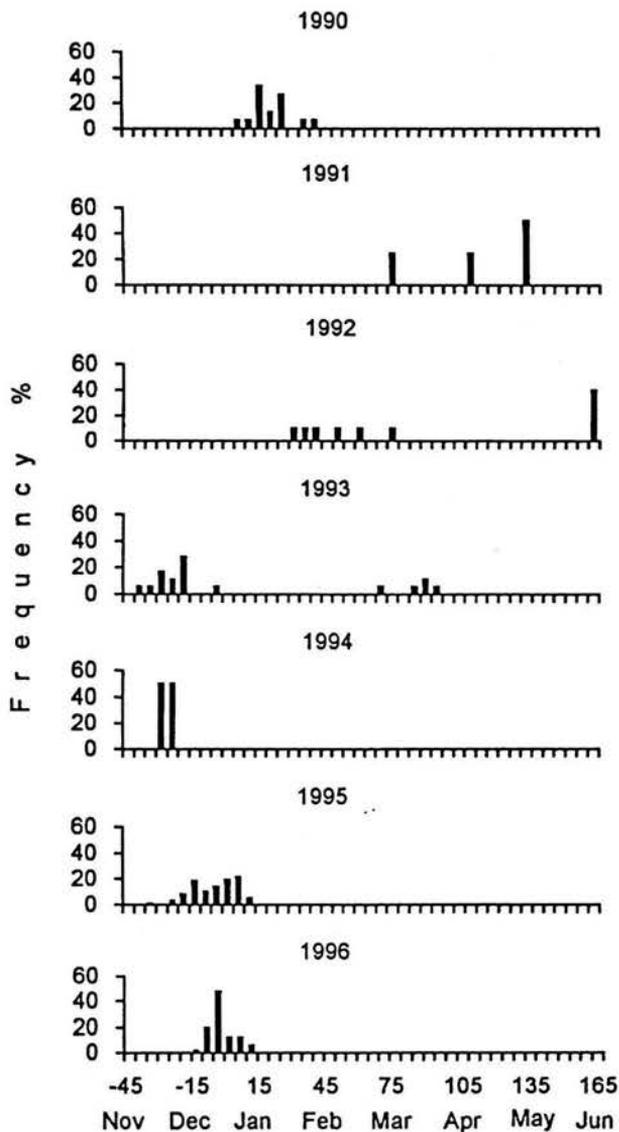


FIG. 5. – Back-calculated hatch time of juvenile Pacific mackerel, *Scomber japonicus*, from the Gulf of California.

by size and age. The smaller fish were generally caught early in the year (February to May) (Fig. 4) and farther south from Bahía de Guaymas, whereas larger individuals were taken later in the year (May-August) from locations farther north (Bahía Animas). Younger fish were collected only from February to May, whereas older fish were collected only from May to August (Fig. 4).

Back-calculated hatching date frequency distribution of juveniles (Fig. 5) showed that spawning occurs over a long period, from October to May, but it is concentrated mostly in December, January, and February. This is in agreement with the observation that female Pacific mackerel ovaries are usually ripe from December to February in the

TABLE 2. – Predicted absolute growth rates (mm d^{-1}) of Pacific mackerel, *Scomber japonicus*, for five day intervals between the ages of 25 and 110 days in the California Gulf.

Age (days)	Growth rate (mm d^{-1})
25-30	1.59
30-35	1.76
35-40	1.87
40-45	1.91
45-50	1.89
50-55	1.83
55-60	1.73
60-65	1.60
65-70	1.46
70-75	1.32
75-80	1.17
80-85	1.04
85-90	0.91
90-95	0.79
95-100	0.68
100-105	0.59
105-110	0.51

Gulf of California (Gluyas-Millán and Quiñonez-Velázquez, 1996).

Age length data of the juvenile Pacific mackerel (data of all years combined) were well described by a Gompertz equation ($r^2 = 0.85$) (Fig. 6):

$$L_t = 187.36 e^{-e^{-0.35(t-43.92)}} \quad (2)$$

Projecting the Gompertz growth curve to ages younger than 27 days, it is observed that the projected region of the curve was biologically reasonable and coincided well with the length age data of the laboratory reared Pacific mackerel by Hunter and Kimbrell (1980). Growth in length of Pacific mackerel juveniles was rapid after metamorphosis until 50 days after hatching. The maximum daily growth rate was 1.91 mm d^{-1} between the ages of 44

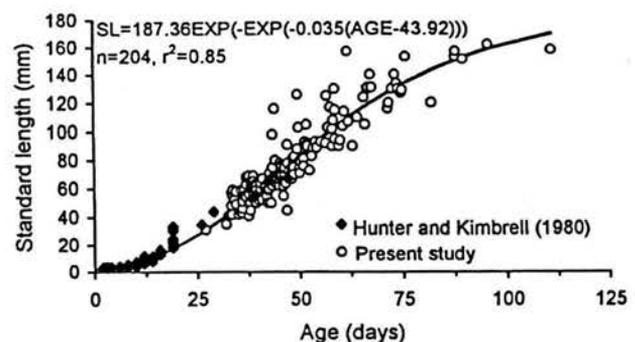


FIG. 6. – Gompertz growth curve fitted to length and age data for Pacific mackerel, *Scomber japonicus*. The thin portion of the Gompertz growth curve represents the projected region.

and 45 days, while the mean growth rate for ages between 50 to 110 days of life was 1.13 mm d⁻¹ (Table 2). This growth curve is based on length-at-age data from 204 specimens with a 31-162 mm SL range and a 27-111 days age range.

Finally, we did not detect interannual growth variability between juveniles sampled in February 1995 and February 1996 (ANCOVA, $p = 0.683$, $n = 142$).

DISCUSSION

Distinct growth increments were visible on the sagittae of Pacific mackerel juveniles, which we assumed to have been deposited daily. Considering that most if not all species in which periodicity of growth increments has been determined (including several Scombrids) were found to deposit one increment per day (see reviews by Campana and Neilson, 1985, Jones, 1986, and Stevenson and Campana, 1992), we believe this assumption to be correct. Cases where deposition rates appeared to have been non-daily appear to be artifacts caused by lack of resolving power of light microscopy in slow growing fish (Campana and Neilson 1985). We also assumed that increment formation started at hatching. Initial increment formation may occur before hatching, at hatching, or at the onset of exogenous feeding (Brothers *et al.*, 1976; Lough *et al.*, 1982). Migoya (1989) reported that Atlantic mackerel initiated ring formation at hatching. Laboratory studies are needed to determine the age of formation of the first increment and to validate the daily periodicity of increment formation in Pacific mackerel.

The Gompertz growth curve adequately fits the length-at-age data for juveniles but may have underestimated the length of larvae. The growth equation predicts that 2-day-old larvae are 2.6 mm SL while Hunter and Kimbrell (1980) reported that larvae reared in the laboratory at 22.1°C were 3.3 ± 0.21 mm long (SL \pm SD). This value is 27% larger than the length predicted by the model. Moreover, the model predicts that 19-day-old larvae are 17.6 mm SL whereas 19-day-old reared larvae had a mean SL of 24.1 mm (Hunter and Kimbrell, 1980).

Grouping data from different years was done to cover the age range as much as possible, but this grouping may have biased resulting growth patterns. However, we argue that such bias must have been minimal since juveniles sampled in February of 1995 and 1996 grew at a similar rate. Fig. 4 also suggests that

growth variations are not important for fish collected at similar dates. Size-selective mortality of juveniles may also have biased the growth pattern, but this is unknown.

The higher water temperatures experienced by early stages of Pacific mackerel [(e.g. 21-26°C in the Gulf of California (Gluyas-Millán, 1989))] compared to those of Atlantic mackerel [8-18°C (Sette, 1943)] are not translated into a higher daily growth rate in the former but rather into a lower mean growth rate. We found that up to 110 days old, Pacific mackerel grew on average 1.33 mm d⁻¹ whereas up to 90 days old, Atlantic mackerel exhibited a mean growth rate of 1.95 mm d⁻¹ (Simard *et al.*, 1992). Despite this, the maximal body lengths reached by the end of first growing season (the L_{∞} of the Gompertz equation) are about the same for both species indicating that the growing season of Pacific mackerel is probably longer than in that of Atlantic mackerel. It should be noted, however, that neither this study nor Simard *et al.* (1992) had age data in the L_{∞} area of the curve to validate the Gompertz L_{∞} values. One effect of higher water temperatures on early life history of Pacific mackerel versus Atlantic mackerel concerns the incubation period. Eggs of Pacific mackerel have incubation times ranging from 1.3 days at 23°C to 4.8 days at 14°C (Hunter and Kimbrell, 1980). By comparison, Atlantic mackerel eggs reared at 10°C, 14°C, and 20°C hatched after incubating for 8.7, 4.6, and 2.4 days, respectively (Worley, 1933).

The wide distribution of hatching dates of juveniles reflects the protracted spawning period. This observation is corroborated with the monthly distribution of mature females (Gluyas-Millán and Quiñonez-Velázquez, 1996). This species spawns at various times of the year; in addition, each female spawns several egg batches (Dickerson *et al.*, 1992). As a result, newly hatched larvae experience a wide range of environmental conditions that can induce variability in growth rates and survival during the first year of life.

In conclusion, we have described and modelled for the first time daily growth of juvenile Pacific mackerel under explicit and well-grounded assumptions on periodicity of increment formation. We have also compared juvenile growth features between Pacific mackerel and Atlantic mackerel.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank Drs. John R. Hunter and Carol A. Kimbrell (NMFS, La Jolla, CA) for supplying raw age and length data of reared mackerel larvae, Manuel Nevarez

and Pablo Santos (CRIP-INP, Guaymas, Son., México) for providing the extensive data on mackerel in the Gulf of California, and two anonymous referees who made many suggestions and critical review. The first author is grateful to the International Council for Canadian Studies for their financial support during a training period at the Maurice-Lamontagne Institute, Department of Fisheries and Oceans, Canada.

REFERENCES

- Box, G.E., W.G. Hunter and J.S. Hunter. – 1978. *Statistics for experimenters*. John Wiley and Sons, New York, NY. 653 p.
- Brothers, E.B., C.P. Mathews and R. Lasker. – 1976. Daily growth increments in otoliths from larval and adult fishes. *Fish. Bull. U.S.* 74: 1-8.
- Brothers, E.B., E.D. Prince and D.W. Lee. – 1983. Age and growth of young-of-the-year bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, from otolith microstructure. In: L.D. Prince and L.M. Pulos (eds.), *Proceedings of the International Workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: Tunas, Billfishes and Sharks*, pp. 49-59. *U.S. NMFS-Tech. Rep.* 8.
- Campana, S.E. and C.M. Jones. – 1992. Analysis of otolith microstructure data. In: D.K. Stevenson and S.E. Campana (ed.) *Otolith microstructure examination and analysis*, pp. 73-100. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 117.
- Campana, S.E. and J.D. Neilson. – 1985. Microstructure of fish otoliths. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42: 1014-1032.
- D'Amours, D., J.G. Landry and T.C. Lambert. – 1990. Growth of juvenile (0-group) Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) in the Gulf of St. Lawrence. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47: 2212-2218.
- De Vries, D.A., C.B. Grimes, K.L. Lang and D.B. White. – 1990. Age and growth of king and Spanish mackerel larvae and juveniles from Gulf of Mexico and U.S. South Atlantic Bight. *Environ. Biol. Fish.*, 29: 125-143.
- Dickerson, T. L., B.L. Macewicz and J.R. Hunter. – 1992. Spawning frequency and batch fecundity of chub mackerel *Scomber japonicus*, during 1985. *CalCOFI Rep.*, 33: 130-140.
- Fitch, J.E. – 1951. Age composition of southern California catch of Pacific mackerel 1939-40 through 1950-51. State of California, Department of Fish and Game, Bureau of Marine Fisheries. *Fish. Bull. U.S.* 83, 73 p.
- Gluyas-Millán, M.G. – 1989. Epoca de reproducción, distribución de tallas y relación peso-longitud de la macarela del litoral de Baja California. *Inv. Mar. CICIMAR*, 4: 65-72.
- Gluyas-Millán, M.G. and R. Félix-Uraga. – 1990. Periodicidad de las bandas de crecimiento en otolitos de la macarela *Scomber japonicus* de Bahía Vizcaíno, México. *Inv. Mar. CICIMAR*, 5: 33-36.
- Gluyas-Millán, M.G. and V. Gómez-Muñoz. – 1993. Composición por tallas y edades de la macarela *Scomber japonicus* de Baía Vizcaíno, México. *Inv. Mar. CICIMAR*, 8: 33-38.
- Gluyas-Millán, M.G. and C. Quiñonez-Velázquez. – 1996. Evidence of different stocks of mackerel *Scomber japonicus*. *Ciencias Marinas*, 22: 377-395.
- Houde, E.D. – 1987. Fish early life dynamics and recruitment variability. *Am. Fish. Soc. Symp.*, 2: 17-29.
- Hunter R.J., and C.A. Kimbrell. – 1980. Early life history of mackerel, *Scomber japonicus*. *Fish. Bull. U.S.*, 8: 89-101.
- Jones, C. – 1986. Determining age of larval fish with the otolith increment technique. *Fish. Bull. U.S.*, 84: 91-103.
- Kendall, A.W. Jr. and D. Gordon. – 1981. Growth rate of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) larvae in the middle Atlantic Bight. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer.*, 178: 337-341.
- Knaggs, E.H. and R.H. Parrish. – 1973. Maturation and growth of Pacific mackerel *Scomber japonicus* Houttuyn. *Calif. Fish Game*, 59: 114-120.
- Lasker, R. – 1985. What limits clupeoid production? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42 (Suppl.1): 31-39.
- Lough, R.G., M. Pennington, G.R. Bolz and A.A. Rosenberg. – 1982. Age and growth of laval Atlantic herring, *Clupea harengus*, in the Gulf of Maine, Georges Bank region based on otolith growth increments. *Fish. Bull. U.S.*, 80: 187-200.
- Method, R.D. Jr. – 1983. Seasonal variation in survival of larval northern anchovy, *Engraulis mordax*, estimated from the age distribution of juveniles. *Fish. Bull. U.S.*, 81: 741-750.
- Migoya, M.C. – 1989. *Etude de la croissance des larves de maquereau bleu de l'Atlantique (Scomber scombrus), à partir de l'examen de la microstructure des otolithes*. M. Sc. Thesis, Université du Québec à Rimouski, Rimouski (Québec).
- Pannella, G. – 1971. Fish otoliths: daily growth layers and periodical patterns. *Science*, 173: 1124-1127.
- Pannella, G. – 1974. Otolith growth patterns: an aid in age determination in temperate and tropical fishes. In: Bagenal, T.B. (ed.), *The ageing of fish*, pp. 28-39. Unwin Bros. Ltd. Surrey, England.
- Radtke, R.L. – 1983. Otolith formation and increment deposition in laboratory-reared skipjack tuna, *Euthynnus pelamis*, larvae. *U.S. Dept. Comm., NOAA Tech. Rep. NMFS*, 8: 99-103.
- Ricker, W.E. – 1979. Growth rates and models. In: Hoar, W.S., D.J. Randall and J.R. Brett (eds.), *Fish Physiology. Vol. VIII, Bioenergetics and Growth*, pp. 678-743. Academic Press, New York.
- Rothchild, B.J. – 1986. *Dynamics of marine fish population*. Harvard Univ. Press, Cambridge.
- Schaefer, K.M. 1980. Synopsis of biological data on the Pacific mackerel, *Scomber japonicus* Houtuyn, 1872, in the Pacific Ocean. In: Bayliff, W.H. (ed.), *Synopsis of Biological data on eight Species of Scombrids*, pp. 373-448. Inter-American Tropical Tuna Commission, Special Report No. 2.
- Sette, O.E. – 1941. Biology of the Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) of North America Part I: Early life history, including the growth, drift, and mortality of the egg and larval populations. *Fish. Bull. U.S.*, 50: 149-237.
- Simard, P. – 1991. *Comparaison de la première saison de croissance entre les deux groupes reproducteurs de maquereau bleu (Scomber scombrus) du nord-ouest de l'Atlantique*. M. Sc. thesis, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières (Québec).
- Simard, P., M. Castonguay, D. D'Amours and P. Magnan. – 1992. Growth comparison between juvenile Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) from the two spawning groups of the Northwest Atlantic. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 49: 2242-2248.
- Sokal, R.R., and F.J. Rohlf. – 1981. *Biometry. The principles and practice of statistics in biology research*. San Francisco, California, Freeman and Company, 2nd ed.
- Stevenson, D. and S.E. Campana (ed.). – 1992. *Otolith microstructure examination and analysis*. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 117:126 p.
- Uchiyama, J.H. and P. Struhsaker. – 1981. Age and growth of Skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, and Yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, as indicated by daily growth increments of sagittae. *Fish. Bull. U.S.*, 79: 151-162.
- Wilkinson, L. – 1987. *SYSTAT: The system for statistics*. SYSTAT Inc., Evanston, Illinois.
- Worley, L.G. – 1933. Development of the egg of the mackerel at different constant temperatures. *J. Gen. Physiol.*, 16: 841-857.
- Yamanaka, K.L. – 1989. *Age, growth, and spawning of yellowfin tuna (Thunnus albacares) Bonnatere 1788, in the southern Philippines*. M. Sc. Thesis. University of British Columbia, Vancouver, B.C.

Scient. ed.: J. Lleonart

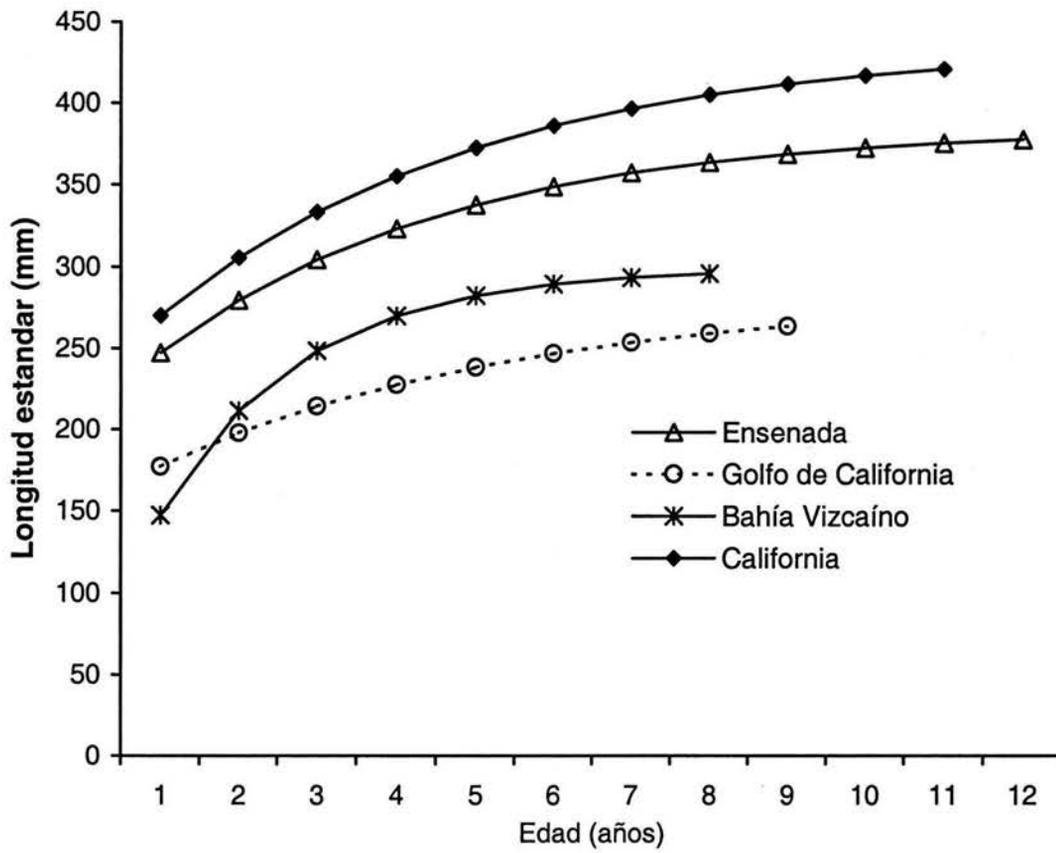


Figura 7. Curvas de crecimiento de la macarela *S. japonicus* de Bahía Vizcaíno (Gluyas-Millán 1990); California (Knaggs y Parrish 1973); Golfo de California (Gluyas-Millán y Quiñónez-Velázquez 1997), y Ensenada.

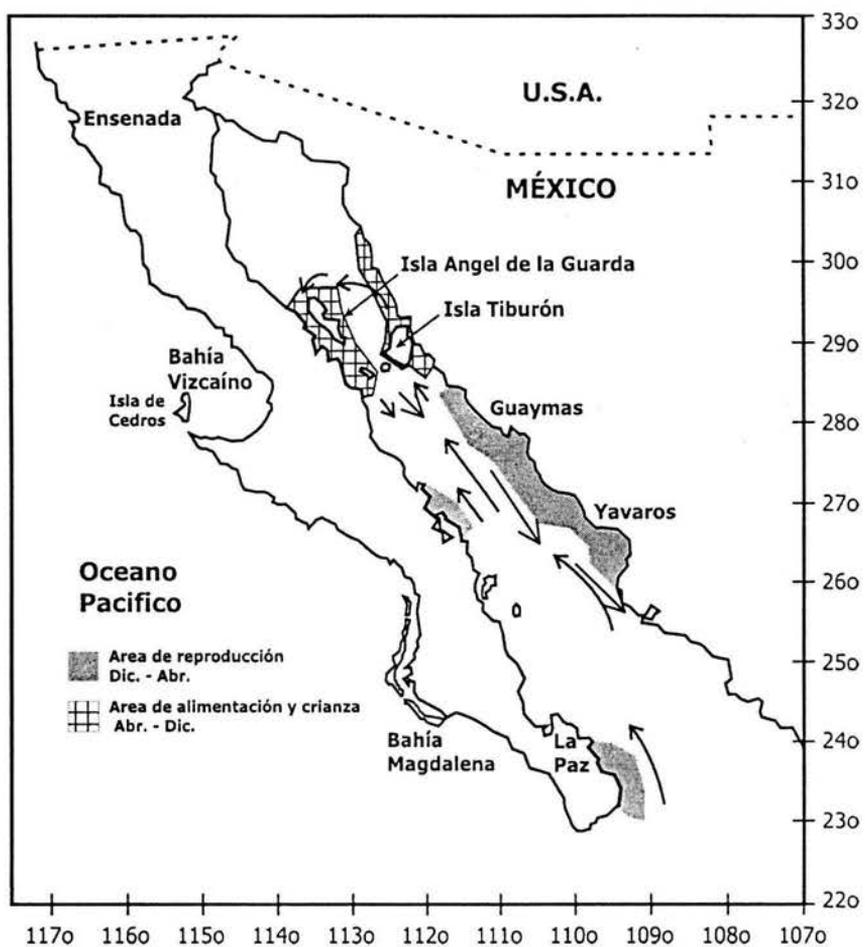


Figura 8. Esquema de migración de *S. japonicus* del Golfo de California.

CAPITULO V

Composición por tallas y edades de la captura y mortalidad de la macarela *Scomber japonicus* del Golfo de California, 1984-1993

RESUMEN

Se determinó la composición de tallas y edades de la captura de macarela en el GC de 1984 a 1993, un periodo de bajas capturas y aparentemente bajo crecimiento poblacional. La captura estuvo compuesta por individuos de 83 a 312 mm, y 0+ a 7+ años de edad. La primavera fue el período con mayor frecuencia de registros de máximas capturas. El reclutamiento de individuos pequeños, <193 mm y entre 0+ y 3+ años, se observó mayormente en mayo, y los grandes >193 mm y >3 años, predominaron entre enero y mayo. En los años de mayor producción (1985, 1992 y 1986 en orden de importancia) la captura estuvo compuesta de 50% a 78% por individuos de dos clases anuales. Las más vigorosas fueron 1983 y 1986, las cuales permanecieron en la pesquería hasta siete años. La pesca de macarela en el GC está sustentada por una fracción de la población que al menos se habrá reproducido una vez. El promedio de la mortalidad total Z, mortalidad por pesca F y tasa de explotación, de 1985 -1991, fue: 1.12, 0.62 y 0.35 respectivamente.

Palabras claves: *Scomber japonicus*, Golfo de California, edad, tallas, captura

INTRODUCCIÓN

Se determinó la composición por tallas y edades de la captura comercial de la macarela *S. japonicus* del GC de 1984 a 1993. La macarela se captura en las mismas faenas de pesca que la sardina, generalmente todo el año, aunque en algunos meses no se captura macarela. La producción de macarela representa 5% del total de pelágicos menores en México (DOF 2004). En el GC su producción histórica (1979-2002) registró un máximo de 40,715 t en 1999 (Fig. 9). La macarela es una especie de vida relativamente mayor que aquella de otros pelágicos menores como la anchoveta y la sardina, llega a vivir hasta nueve años en el GC (Gluyas-Millán y Quiñónez-Velázquez 1997) y hasta doce años en California (Fitch 1951); pero es de vida más corta si la comparamos con el charrito *Trachurus symmetricus* que vive

más de veinte años. La macarela se aprovecha en la producción de harina de pescado, para enlatado en conserva, y como carnada tanto en la pesca de atún con vara como en la pesca deportiva de peces de pico. Su captura se caracteriza por ser altamente variable (Parrish y McCall 1978; Csirke 1988; Gluyas-Millán y Gómez-Muñoz 1993). El GC y Ensenada con las zonas de pesca de macarela más importantes. A la fecha no existen antecedentes de la composición por edades de su captura que muestre las características de la fracción de la población que la pesca aprovecha, y que utilicen métodos directos en la determinación de edad. El objetivo de este capítulo es determinar la composición por tallas y edades de la captura comercial de *S. japonicus* en el Golfo de California de 1984 a 1993, sus características y estimar la mortalidad total Z .

MATERIALES Y METODOS

La composición por tallas y edades de la captura de macarela del GC, es el número de individuos desembarcados por intervalo de talla y edad, se estimó por mes y por año. Se obtuvo a partir de las tallas de los muestreos masivos (mm) (sección general de Materiales y Métodos de esta tesis, Pág. 4), los cuales registran el peso del mm, el peso de la captura del barco y la captura total del mes. Con la edad determinada y su respectiva longitud tomada del muestreo biológico (Pág. 4, esta tesis), se elaboraron claves mensuales de edad-longitud. Estas son tablas que muestran, para cada intervalo de talla de los peces registrados en el mm, que fracción de la distribución le corresponde a cada edad. Las claves se construyen cuando se tienen determinaciones de edad. Esta información se combina con la composición por tallas de la captura, la cual es distribuida en grupos de edad de acuerdo a la clave (Holden y Raitt 1975); Ricker 1975; Lai *et al.* 1996). Una de las ventajas de construir claves edad-longitud mensual, es que de esta manera se consideran los posibles cambios en crecimiento en longitud en el tiempo, en reclutamiento anual, y en mortalidad, lo contrario sucedería si utilizáramos únicamente una clave. Además que las tallas están referidas a una edad. Muestras masivas con menos de 10 organismos no fueron considerados en la determinación de la composición por tallas y edades de la captura.

La mortalidad Z es el proceso de pérdida total de individuos de la población, por causas naturales y por pesca. $Z = F + M$, donde F es mortalidad por pesca y M es mortalidad

natural. Para estimar Z se usó el método de la curva de captura linealizada con intervalos de tiempo constantes (un año) resumida en Sparre *et al.* (1989). Es una representación gráfica del logaritmo natural (\ln) del número de supervivientes a la edad t vs. la edad. Este método está basado en los datos de la composición de edades de la captura por año, obtenidas desde las claves edad-longitud. El resultado de graficar el \ln de la abundancia de cada clase anual (no. de individuos) vs. edad (t), es una función lineal en t , llamada curva de captura. La pendiente del lado derecho de la curva donde $t = t_c$, es la tasa instantánea de mortalidad total Z . t_c es la edad de reclutamiento a la pesquería, y es 3 años (Gluyas-Millán-Quiñónez-Velázquez 1997). Esa parte de la curva corresponde a los peces que están completamente reclutados a la pesquería, en donde la selectividad o probabilidad de captura es 1, lo que significa que si la red hace contacto con peces de la edad $\geq t_c$ estos tienen la misma probabilidad 1 de ser capturados. El lado izquierdo de la curva, de forma ascendente, indica que la pesquería no es capaz de capturar esas edades en proporción a las de su verdadera abundancia (Ricker 1975). La curva de captura linealizada es:

$$\ln C(t_1, t_2) = a - Z t$$

donde:

$\ln C(t_1, t_2)$ = \ln del número de individuos del intervalo de edad t_1 . t_2

a = es el intercepto

Z = es la pendiente de la regresión y corresponde a la mortalidad total

Una de las suposiciones del método es un estado estable de la población, esto es, que el vigor de las clases anuales y las tasas de supervivencia por año son constantes en los grupos de edad, que siempre habrá el mismo número de individuos por clase de edad y la supervivencia sería la misma cada año. Situación difícil de sostener, por lo cual se procedió a obtener un promedio del número de individuos por edad de la captura de diez años. Esto es una manera gruesa de eludir una situación de parámetros constantes (Sparre *et al.* 1989). La mortalidad natural ($M= 0.5/\text{año}$) para *S. japonicus* se tomó de Parrish y MacCall (1978), como la mejor estimación para la especie de estudio, después de que esos autores probaron varios valores. Con las estimaciones anuales de Z y el valor de M , se estimó la mortalidad por pesca F ($F= Z-M$) y la tasa de explotación $E = (F/Z)*(1-\exp(-Z))$ (Cushing 1977).

RESULTADOS

Si consideramos que los cambios en el tamaño de la población de macarela se pueden evaluar de manera gruesa e indirecta, con base en los cambios de las capturas anuales (índice de abundancia relativa), entonces la serie histórica de capturas de macarela en el GC (1979-2001) (Fig. 9), indica que la composición de tallas y edades de 1984 a 1993, corresponde a un periodo de baja abundancia y por consecuencia capturas relativamente bajas, con un promedio anual de 7,797 t y dos máximos, uno en 1985 de 12,497 t y otro en 1992 de 11,763 t. Mientras que la captura de 1999 a 2001 sugiere una etapa de crecimiento importante de la población, ya que se registró el máximo histórico de 40,715 t en 1999. El análisis de ese último periodo no se aborda aquí. La captura mensual es variable, pero el periodo que con mayor frecuencia se alcanzan los mayores volúmenes de macarela, es primavera, seguido por verano e invierno (Fig. 10 y 11).

Composición por tallas y edades

La composición mensual de tallas de 1984 a 1993 (Fig. 12 a 21) indica que la pesca incide en un amplio intervalo de longitud, de 83 a 312 mm. Se observa con mayor frecuencia un periodo de reclutamiento de individuos pequeños entre febrero y mayo principalmente. A partir de mayo se puede observar una progresión modal, especialmente en años que contienen información de todos los meses o de la mayoría de estos, mientras que en otros años no es suficientemente clara esa progresión a simple vista. Si consideramos que la talla a la cual se recluta el 50% de los individuos es 193 mm (Gluyas-Millán y Quiñónez-Velázquez 1997), entonces la composición de tallas por año (Fig. 22) varió entre 71% y 3% de individuos <193 mm. En los años de máxima captura (1985 y 1992) el 59% y 25% fueron individuos <193 mm.

La composición de edades de la captura mensual, muestra individuos de 0+ a 7+ años (Fig. 23 a 31). La ausencia de individuos de 9+ años, se debe a que la muestra donde se presentó ese organismo no era lo suficientemente representativa para considerarla en el procedimiento para determinar la composición de edad de la captura. Los reclutas pequeños serían individuos entre 0+ y 3+ años, y aquellos >193 mm serían >3 años, principalmente.

Algunos meses no tienen composición de edad por carecer de suficiente información. En 1985, año de máxima captura, dos clases anuales constituyeron 75% de ésta (Fig. 32), la clase anual 1983 y 1982. Mientras que en 1992 la captura se distribuyó en cuatro clases anuales, 1987, 1988, 1989 y 1990. El seguimiento de cohortes en la composición de edades por año (Fig. 32), muestra que éstas llegan a permanecer en la captura hasta 7 años.

La mortalidad total Z y mortalidad por pesca F se determinó por año. Los valores de Z variaron de 0.65 a 1.65, F varió de 0.15 a 1.15; y la tasa de explotación E de 0.11 a 0.56 (Tabla V). Los valores promedio de Z , F y E , fueron 1.12, 0.62 y 0.35 respectivamente, y para su estimación se eliminó 1988, 1992 y 1993 por carecer de suficiente información de edad.

Tabla V. Estimaciones de mortalidad total Z , mortalidad por pesca F y tasa de explotación E , con el método de la curva de captura por edades (Sparre 1987) para *S. japonicus* del Golfo de California.

Año	1985	1986	1987	1989	1990	1991	Promedio
Z	1.35	1.65	1.18	0.98	0.65	0.91	1.12
F	0.85	1.15	0.68	0.48	0.15	0.41	0.62
E	0.46	0.56	0.40	0.31	0.11	0.27	0.35

DISCUSIÓN

Aunque es amplia la variación mensual en tallas (Fig. 12 a 21), el promedio mensual (Fig. 33) indica individuos más grandes de enero a marzo, cuando ocurre la reproducción. La fracción del stock reproductor es disponible a la pesca, y sugiere que las agregaciones de peces maduros se acercan a la costa a reproducirse, o que al menos podrían tener movimientos fuera y dentro de la plataforma continental donde generalmente se ubican las zonas de pesca. Si se alejaran de la costa, se observaría una disminución de la talla promedio en el periodo de reproducción. Lo cual también podría esperarse que ocurriera ya que *S. japonicus* es un desovador parcial, y los peces maduros rápidamente reabsorben la gónada, y pueden aparentar estar inmaduros. Una mayor precisión se tendría al caracterizar microscópicamente el desarrollo de los oocitos en los diferentes estadios macroscópicos de las gónadas.

La composición por edades indica importantes reclutamientos de hasta dos clases anuales previas al año de captura (Fig. 32), esto es evidente por ejemplo en 1985 uno de los años en que las capturas fueron importantes. La composición de edades indica que la pesca de macarela está sustentada mayormente en individuos >3 años de edad (Fig. 23 a 31), una fracción de la población que ya se habrá reproducido, al menos, más de una vez (Gluyas-Millán y Quiñónez-Velázquez 1996).

La edad determinada con métodos directos en *S. japonicus* para obtener la composición de edad, tiene ventajas respecto a edades relativas que se obtienen con métodos de análisis de distribución frecuencia de tallas. Especialmente cuando es sabido que *S. japonicus* es una especie de latitudes medias que habita ambientes donde ocurren cambios físicos y biológicos de marcada periodicidad, los cuales modulan la fisiología del pez haciendo variar la tasa de deposición de carbonato de calcio en los otolitos, marcando así esos cambios, que son utilizados como referencia del tiempo. Las especies que habitan ambientes más estables hacia latitudes más cercanas al ecuador, es más difícil identificar la periodicidad de la marca, incluso identificar una marca, en esos casos los métodos de distribución de frecuencia de tallas son recomendados. Las ventajas de contar con determinación de edad directa, serían: 1) que es posible repartir una edad en un intervalo de talla, en una proporción en la cual es encontrado el pez, que es lo que hace precisamente la clave edad-longitud con la muestra de talla-edad, y así se puede indentificar diferentes edades entre peces del mismo tamaño, 2) que se es posible asignar una edad real a los individuos más pequeños de la distribución de tallas que se analiza, 3) es posible identificar las edades de los individuos más grandes, ya que debido a que el crecimiento disminuye conforme mayor la edad, el incremento de talla entre las sucesivas tallas promedio es pequeño y la dispersión es alta, esto dificulta la separación de las clases modales, especialmente es especies de mediana y larga vida. En aguas ecuatorianas esto has sido documentado para *S. japonicus* por Morales Nin (1988). Además, la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento en sus otolitos ya ha sido determinada, y las marcas son fácilmente identificadas. La información de la composición de edades de la captura, es básica para estudiar la dinámica poblacional a través de modelos estructurados por edades, con los que estima el tamaño de la población (biomasa) considerando en el análisis,

mortalidad, supervivencia y crecimiento individual por cohortes. Las poblaciones están estructuradas por edades, y sus procesos básicos (nacimiento, mortalidad, crecimiento, movimiento) son específicos de la edad.

La composición de edades resultante (Fig. 32), el relativo vigor de las distintas clases anuales, y la máxima duración de vida, son dentro de ciertos límites, una característica de la especie (Nikolsky 1963). La población de macarela como especie de ciclo de vida relativamente corto o medio, con relación a otro escómbrido como *Scomberomorus cavalla* un tipo de sierra (Johnson *et al.* 1983), está adaptada para vivir bajo condiciones de una alta y variable mortalidad (Parrish 1973; Parrish y MaCall 1978). El reclutamiento de uno a tres grupos de edad constituye una fracción importante de la población total, especialmente en años de capturas elevadas. Tal situación también indica grandes fluctuaciones en el reclutamiento.

Las diferencias interanuales en la composición por tallas y edades estarán influenciadas por: 1) diferencias en el vigor de las clases anuales, lo cual puede indicar que la población reacciona para adaptarse a cambios en las condiciones ambientales (Nikolsky 1963). Se ha documentado que en *S. japonicus* hasta dos clases anuales sucesivas pueden ser altamente exitosas y que exitosos desoves no tienen una periodicidad definida, varían de 2 a 10 o más años (Parrish 1973); 2) por mortalidad por pesca; 3) posible crecimiento densodependiente (variación del crecimiento individual con relación al tamaño de la población) que promueva diferencias en la talla y/o peso a la edad, esto aún no se ha evaluado en *S. japonicus* del GC; 4) cambios interanuales en la distribución geográfica de las agregaciones, que es evidente desde las diferencias en la intensidad de pesca por zonas de captura en el periodo de estudio (Cisneros-Mata *et al.* 1991; Cisneros-Mata *et al.* 1997; Martínez-Zavala *et al.* 2000); 5) tales cambios de distribución del recurso se relacionan con condiciones oceanográficas particulares en algunos años (Nevárez-Martínez 2000) lo cual cambiará su disponibilidad en ciertas áreas, como aquellas en las que se reproduce (Gluyas-Millán y Quiñónez-Velázquez 1997), y también cambiaría el patrón reproductivo tal como ocurre en la sardina Monterrey (Nevárez-Martínez 1990), así como cambios en rutas migratorias indicada por zonas de pesca no comunes.

Para el periodo 1985-1991 la tasa de explotación promedio anual $E=0.35$ y el promedio de la mortalidad por pesca $F= 0.62$, fue menor que la estimada para el periodo 1996-1998 $E=0.70$ y $F=1.76$ por Martínez Zavala *et al.* (2000), esto puede indicar un incremento en la mortalidad por pesca en el último periodo, debido posiblemente a la disponibilidad del recurso, que indirectamente podría sugerir un incremento de la abundancia relativa en 1996-1998.

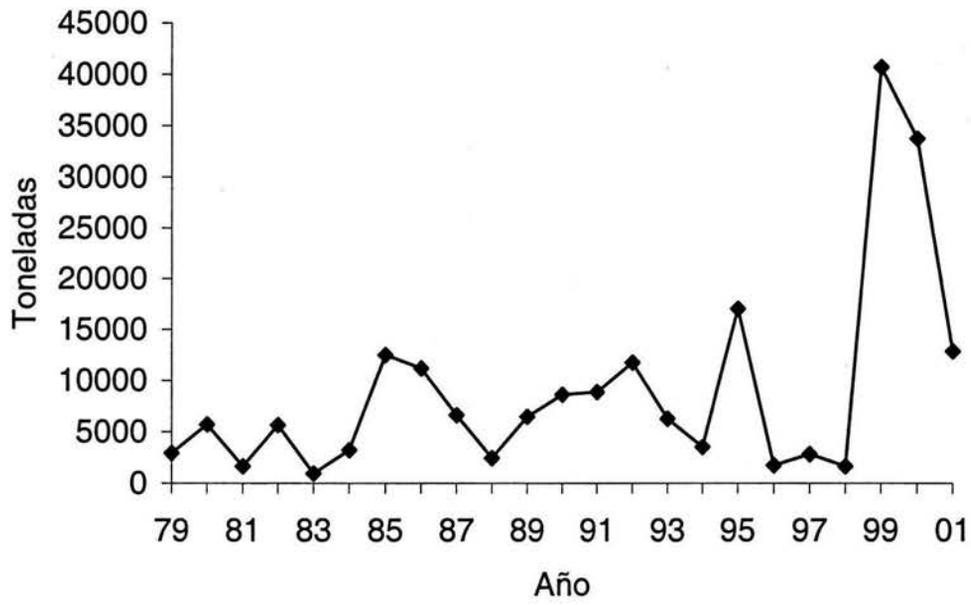


Figura 9. Captura histórica de macarela *S. japonicus* en el Golfo de California, 1979-2001.

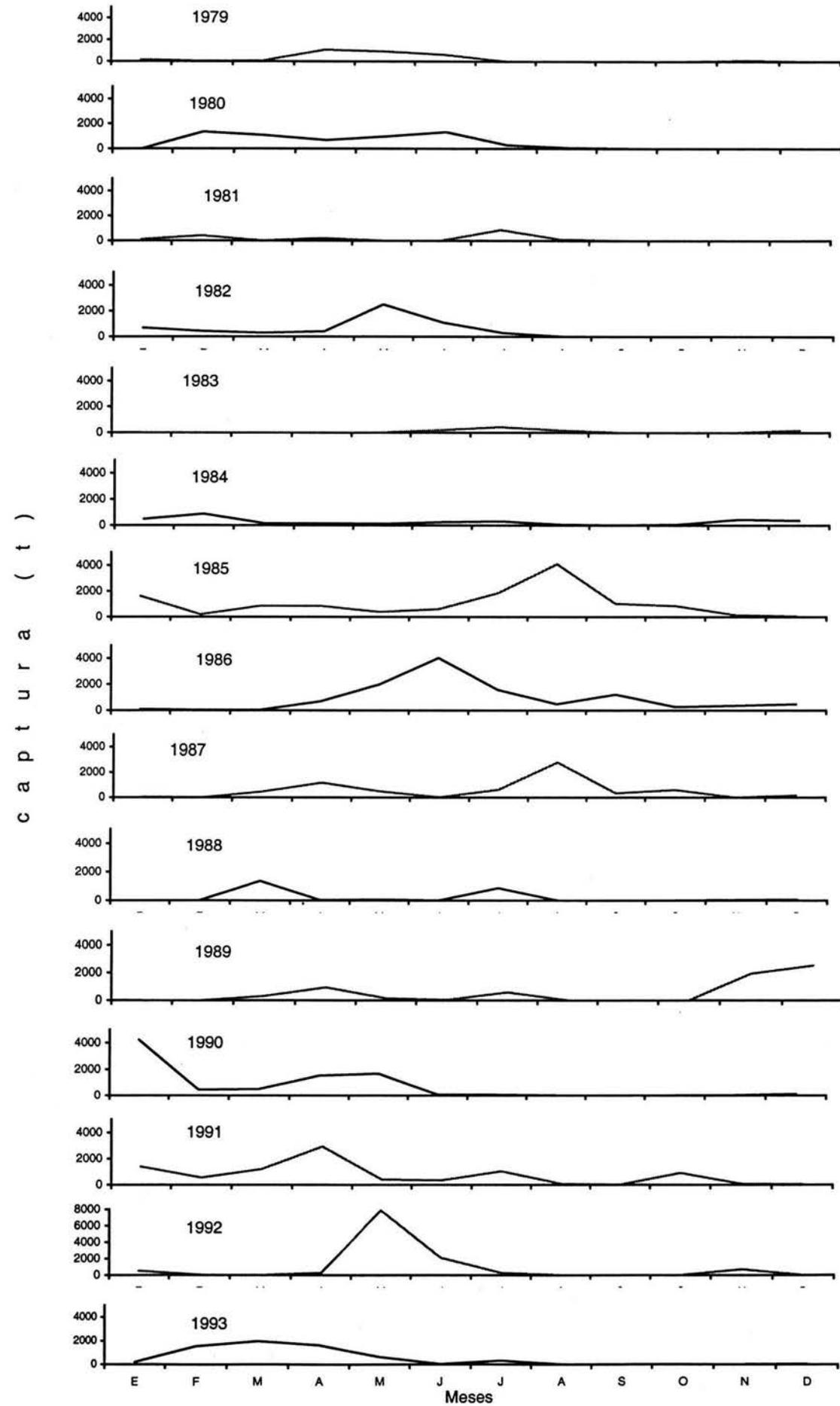


Figura 10. Captura mensual de macarela *S. japonicus* del Golfo de California de 1979 a 1993.

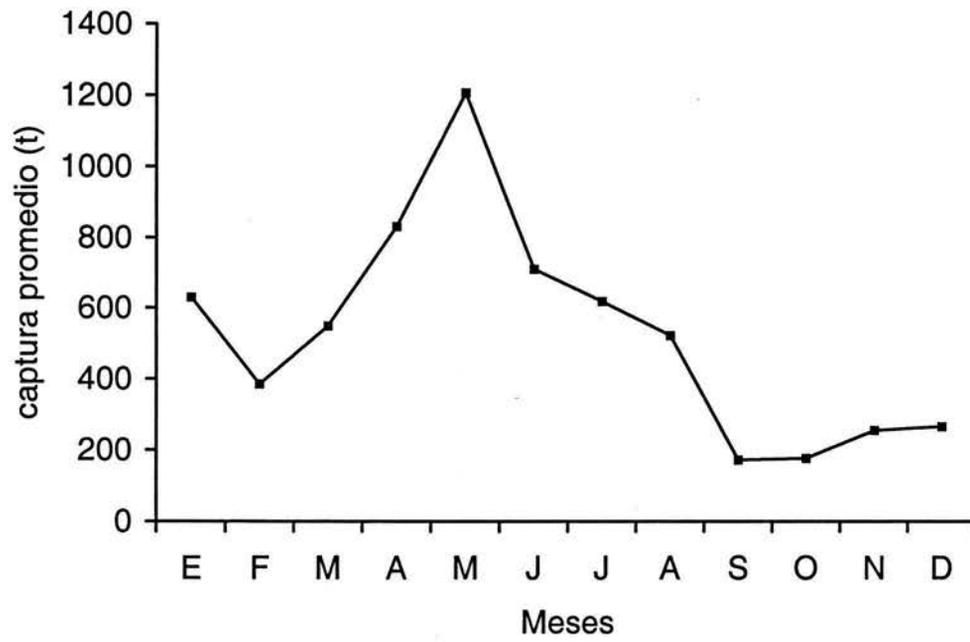


Figura 11. Captura promedio mensual de macarela *S. japonicus* en el Golfo de California.

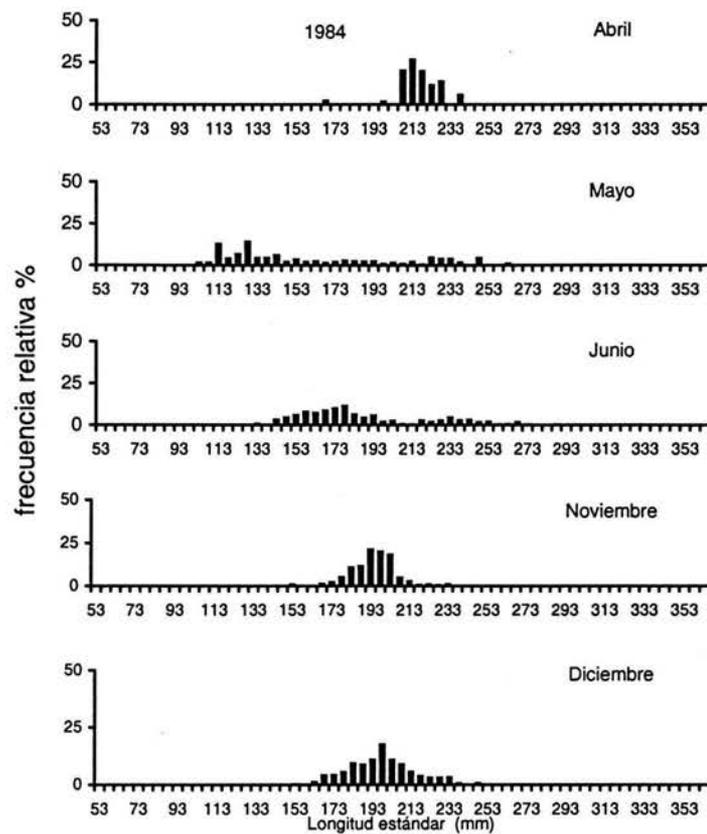


Figura 12. Composición mensual de tallas de la captura comercial de macarela del Golfo de California, 1984.

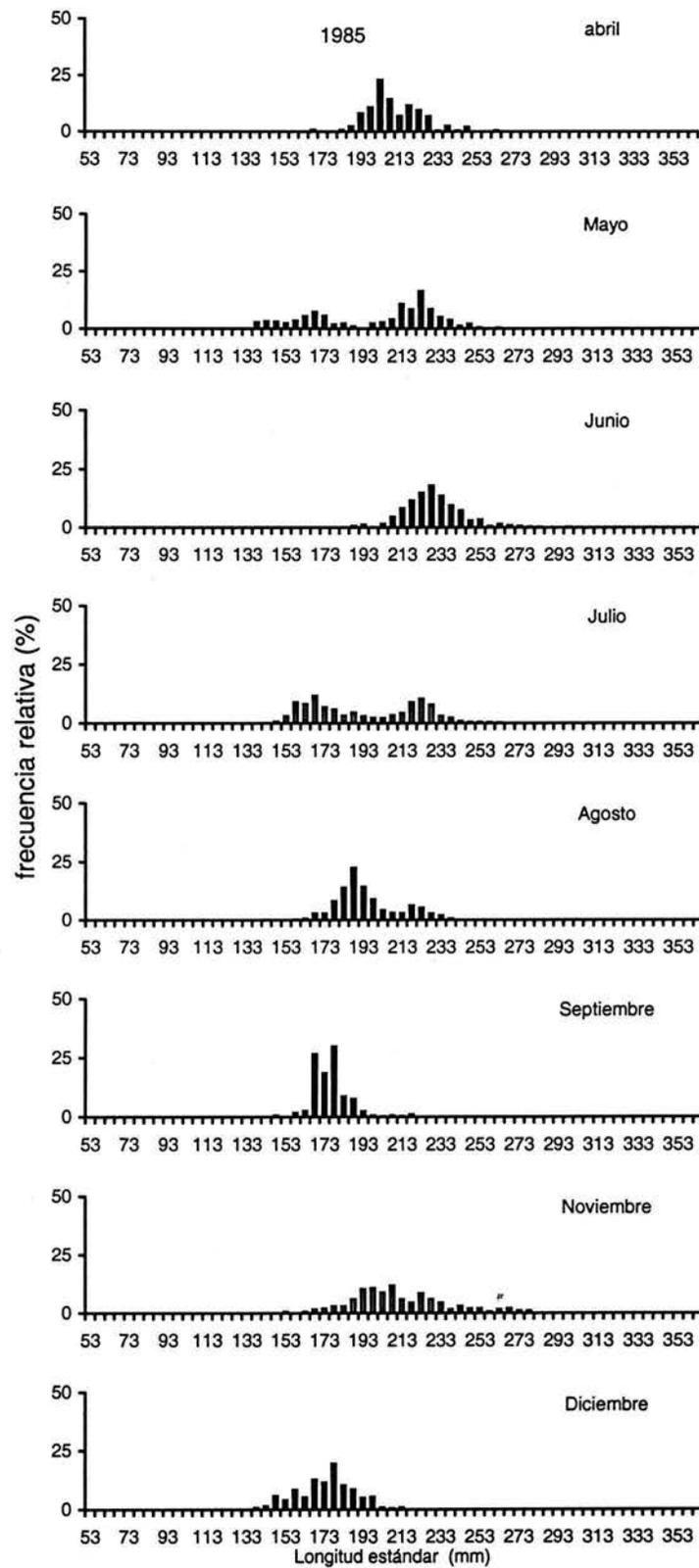


Figura 13. Composición mensual de tallas de la captura comercial de macarela del Golfo de California, 1985.

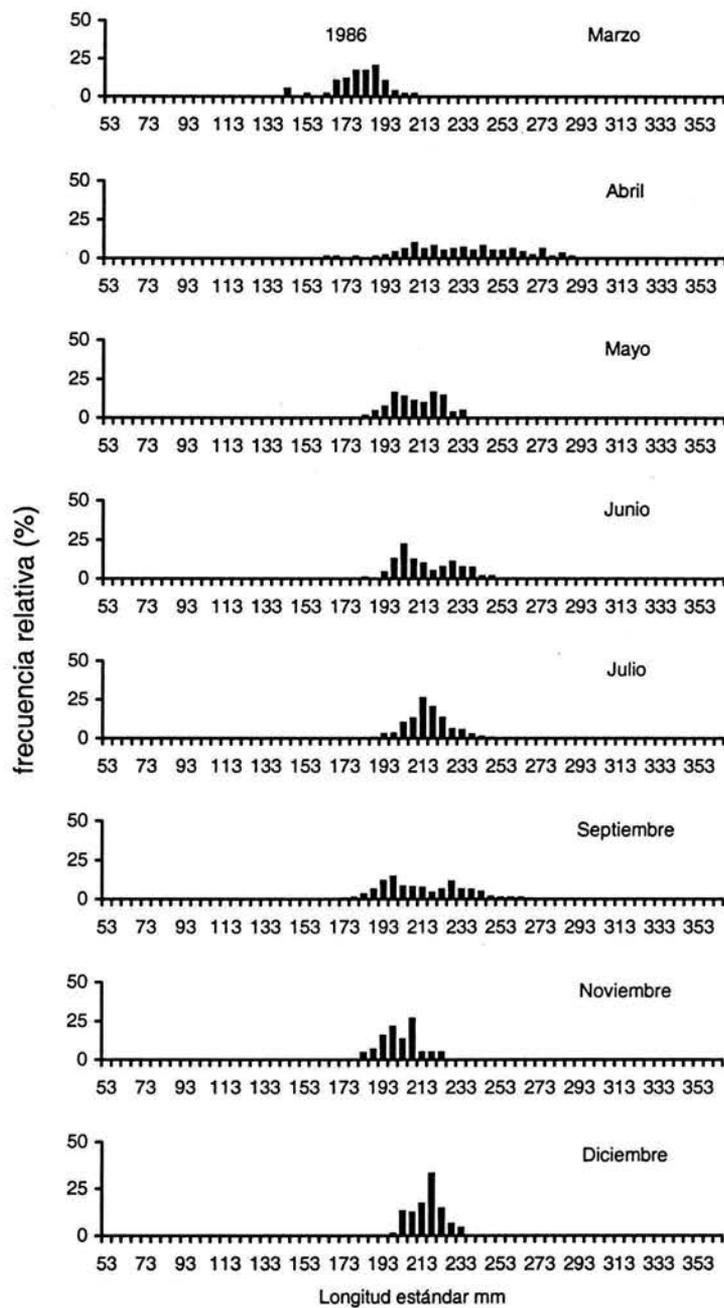


Figura 14. Composición mensual de tallas de la captura comercial de macarela del Golfo de California, 1986.

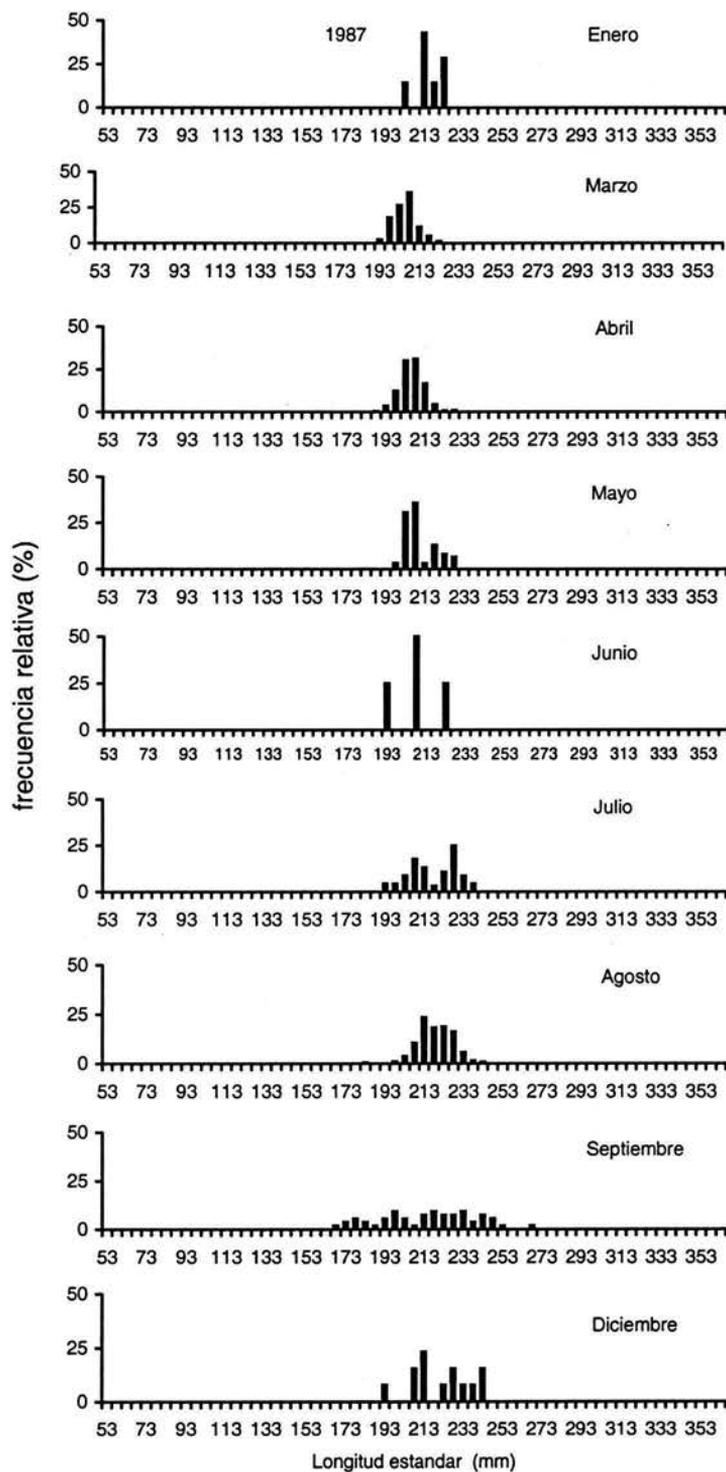


Figura 15. Composición mensual de tallas de la captura comercial de macarela del Golfo de California, 1987.

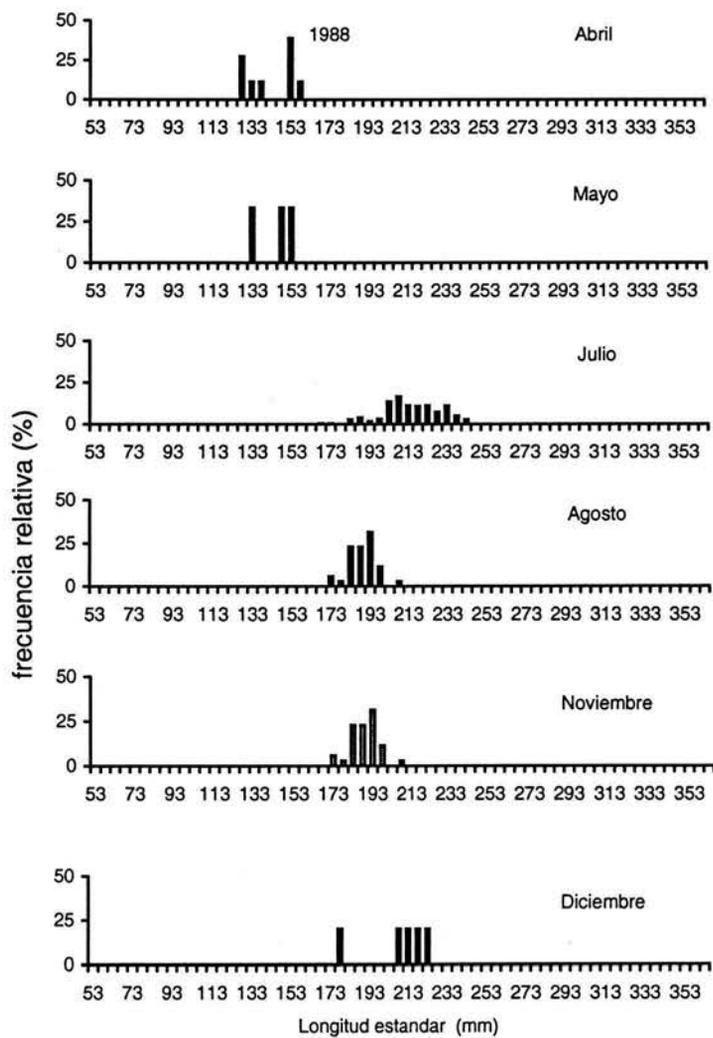


Figura 16. Composición mensual de tallas de la captura comercial de macarela del Golfo de California, 1988.

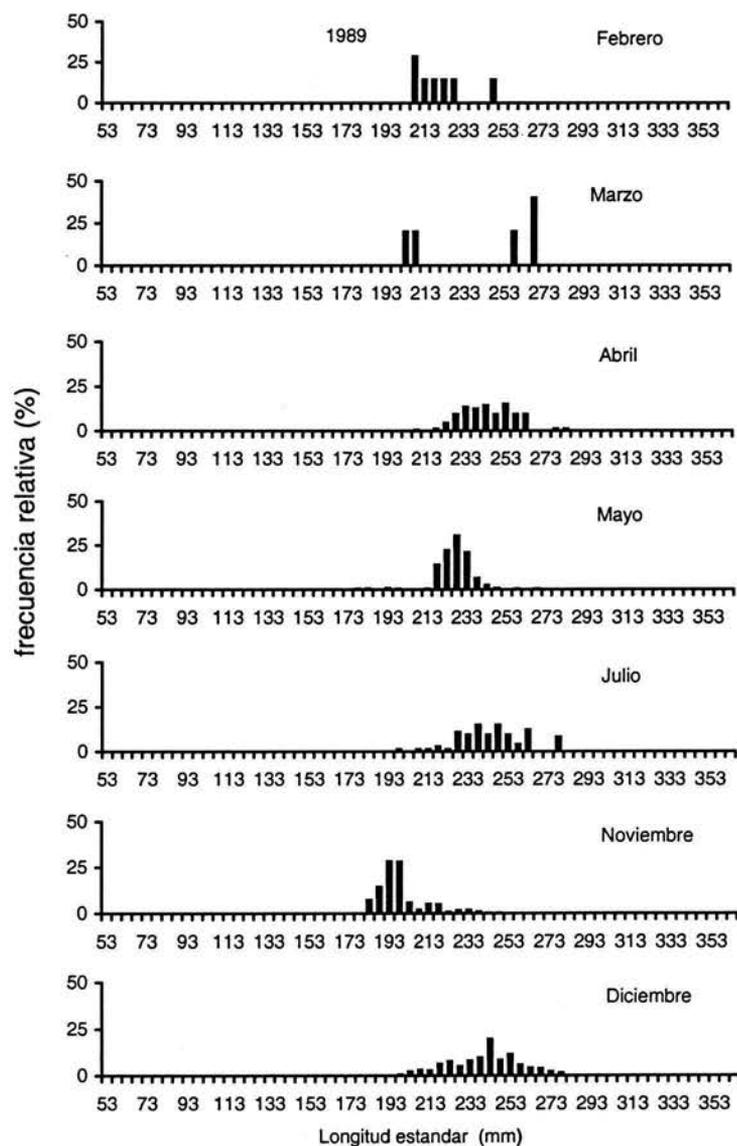


Figura 17. Composición mensual de tallas de la captura comercial de macarela del Golfo de California, 1989.

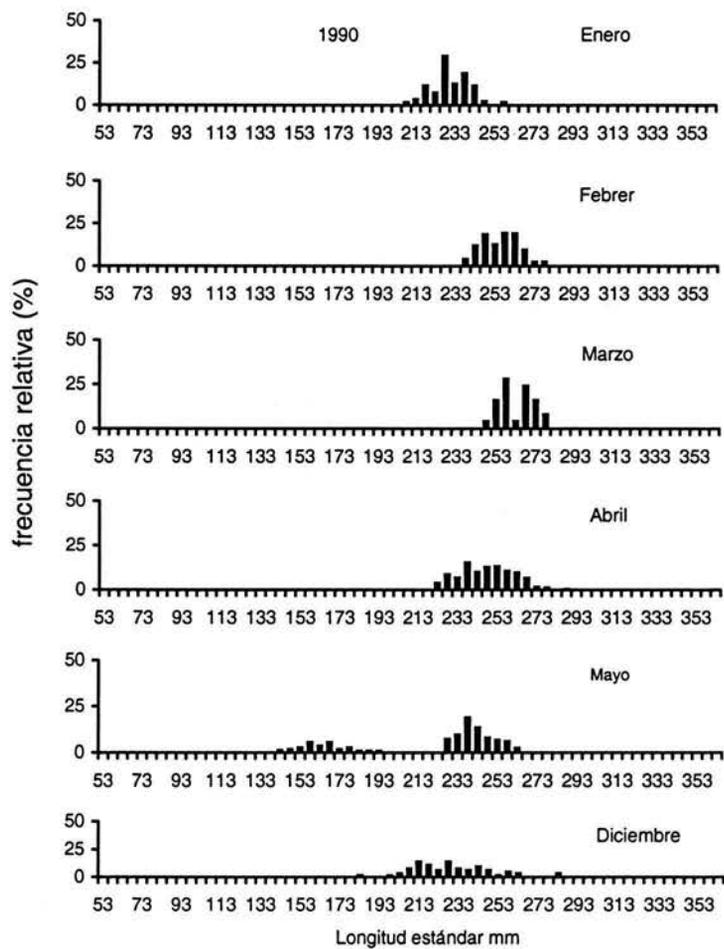


Figura 18. Composición mensual de tallas de la captura comercial de macarela del Golfo de California, 1990.

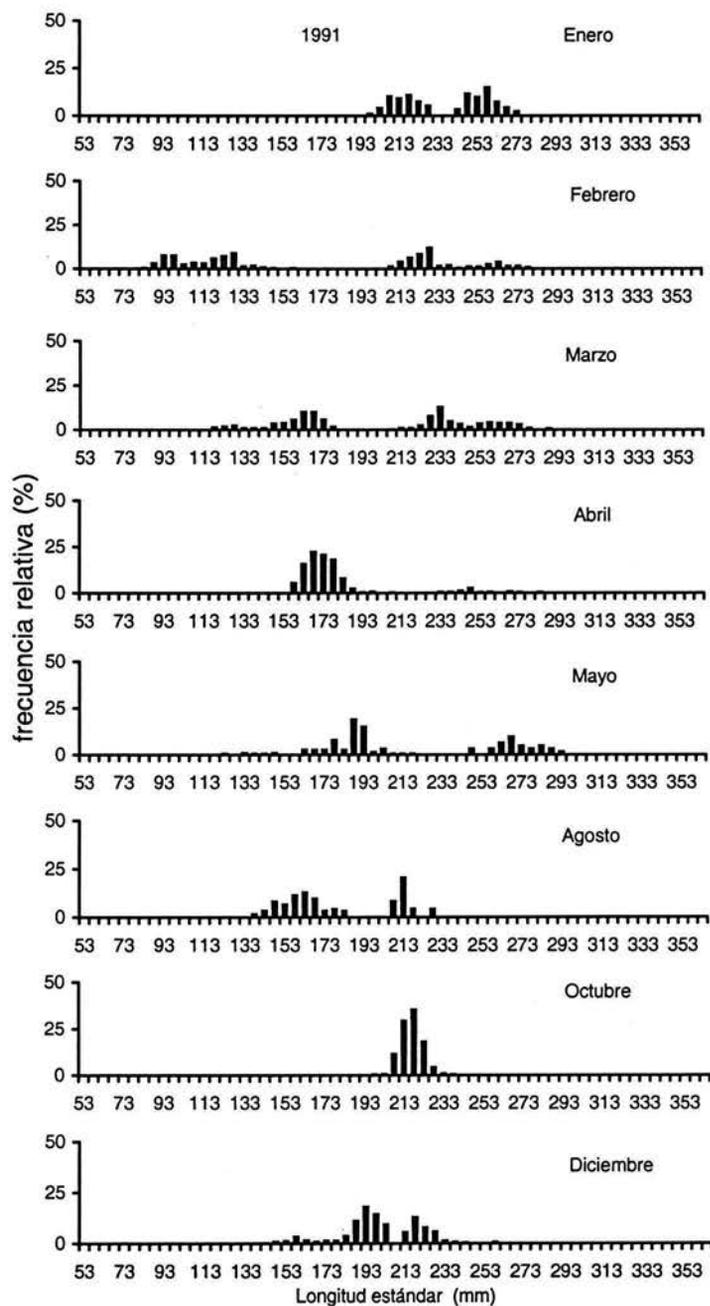


Figura 19. Composición mensual de tallas de la captura comercial de macarela del Golfo de California, 1991.

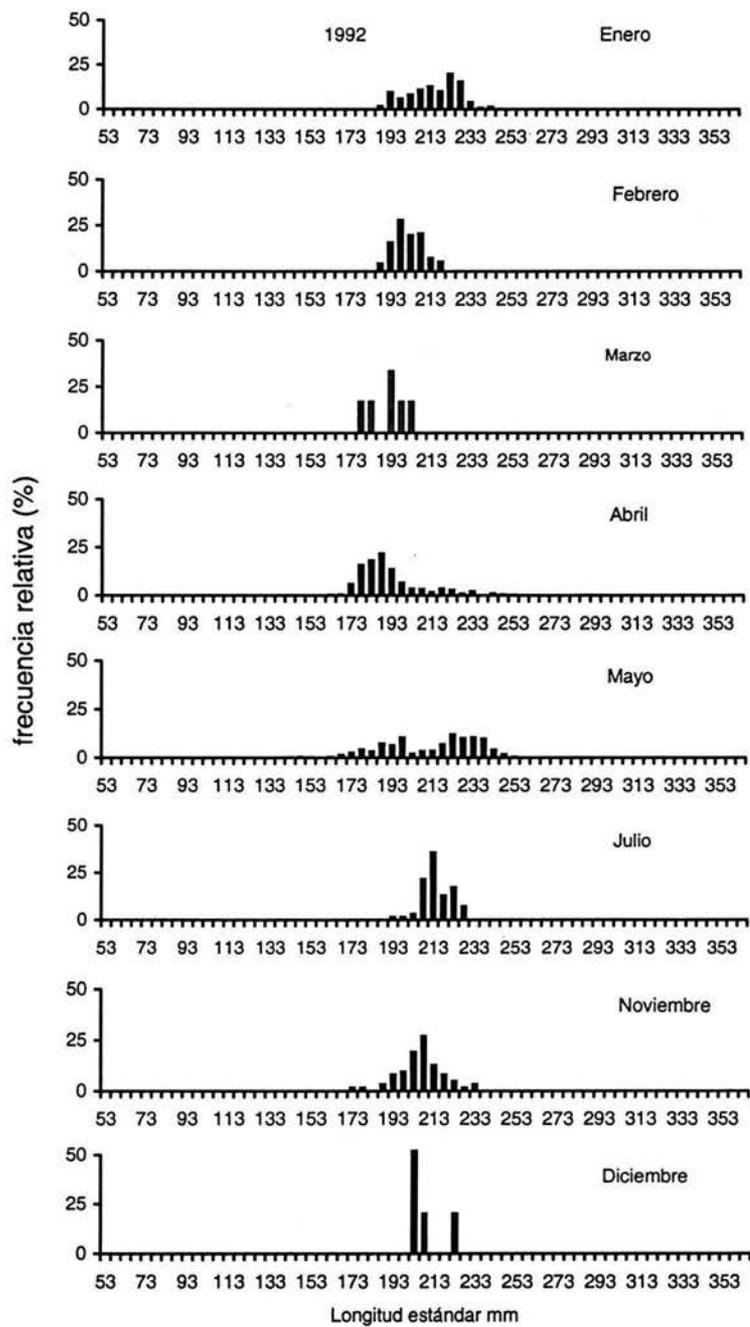


Figura 20. Composición mensual de tallas de la captura comercial de macarela del Golfo de California, 1992.

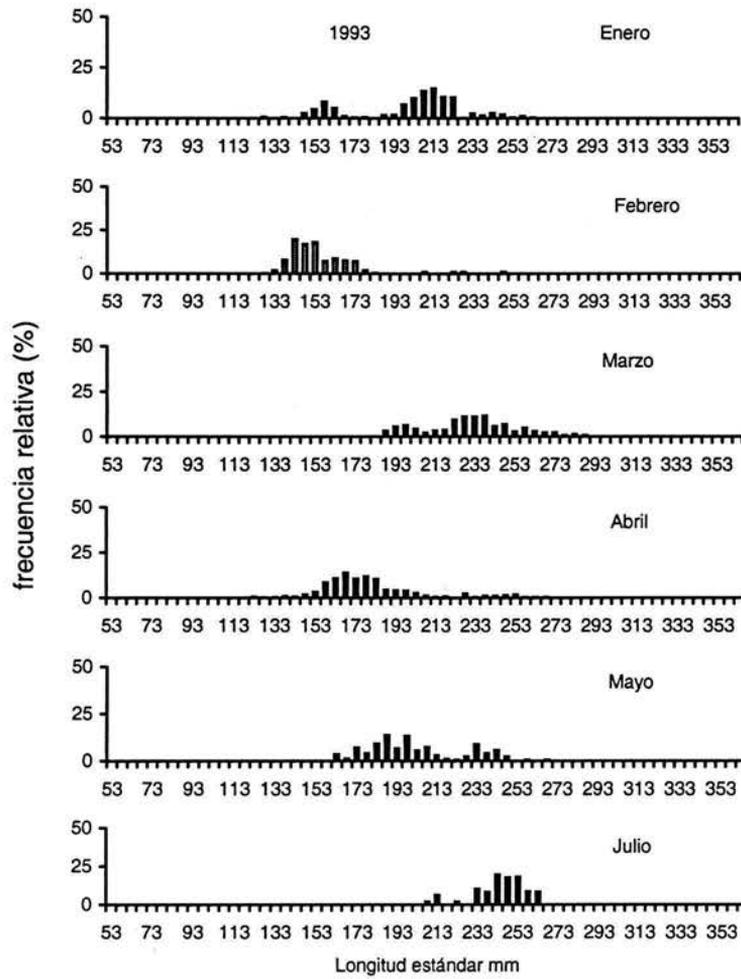


Figura 21. Composición mensual de tallas de la captura comercial de macarela del Golfo de California, 1993.

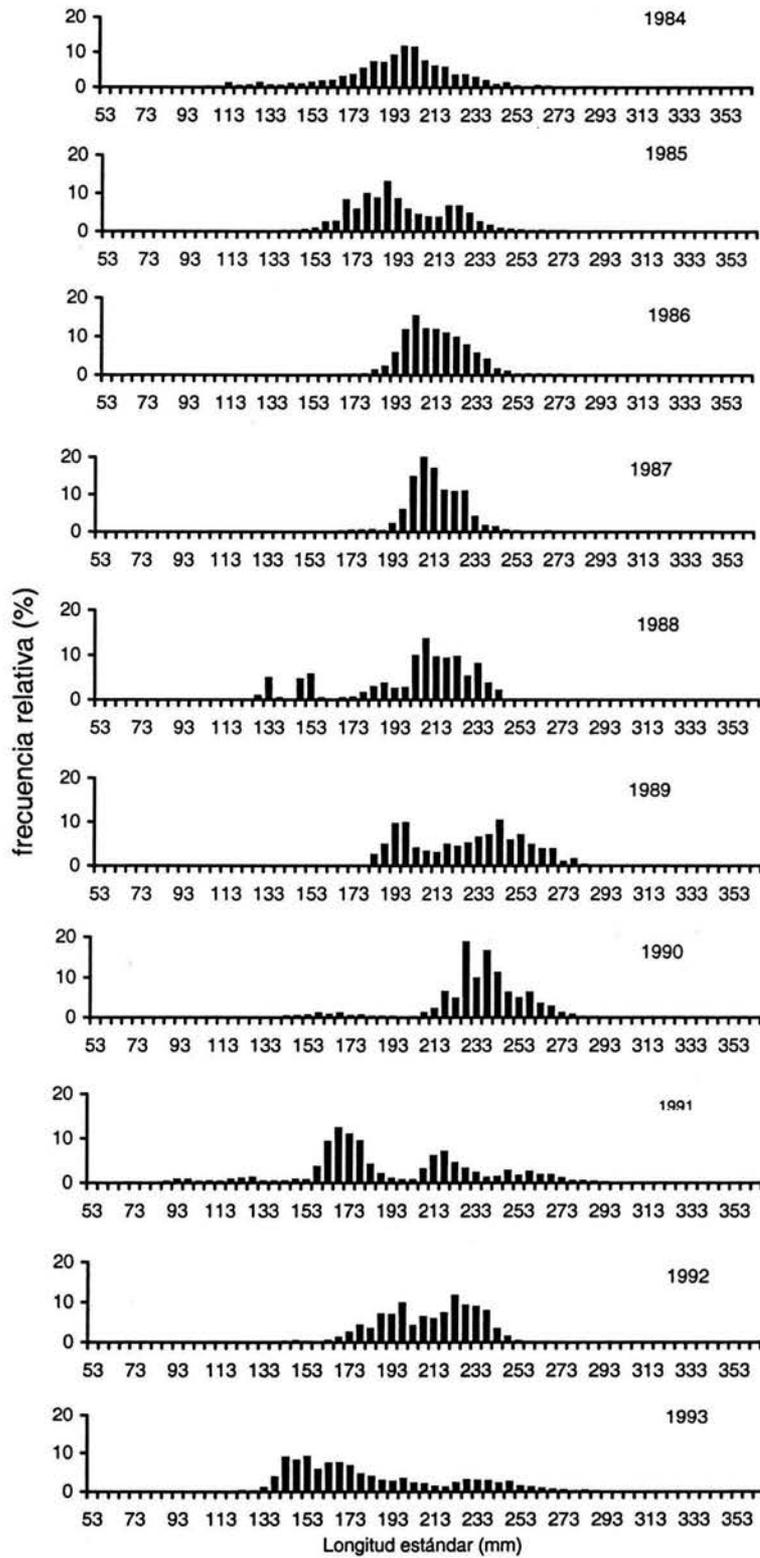


Figura 22. Composición de tallas anual de macarela del Golfo de California, 1984-1993.

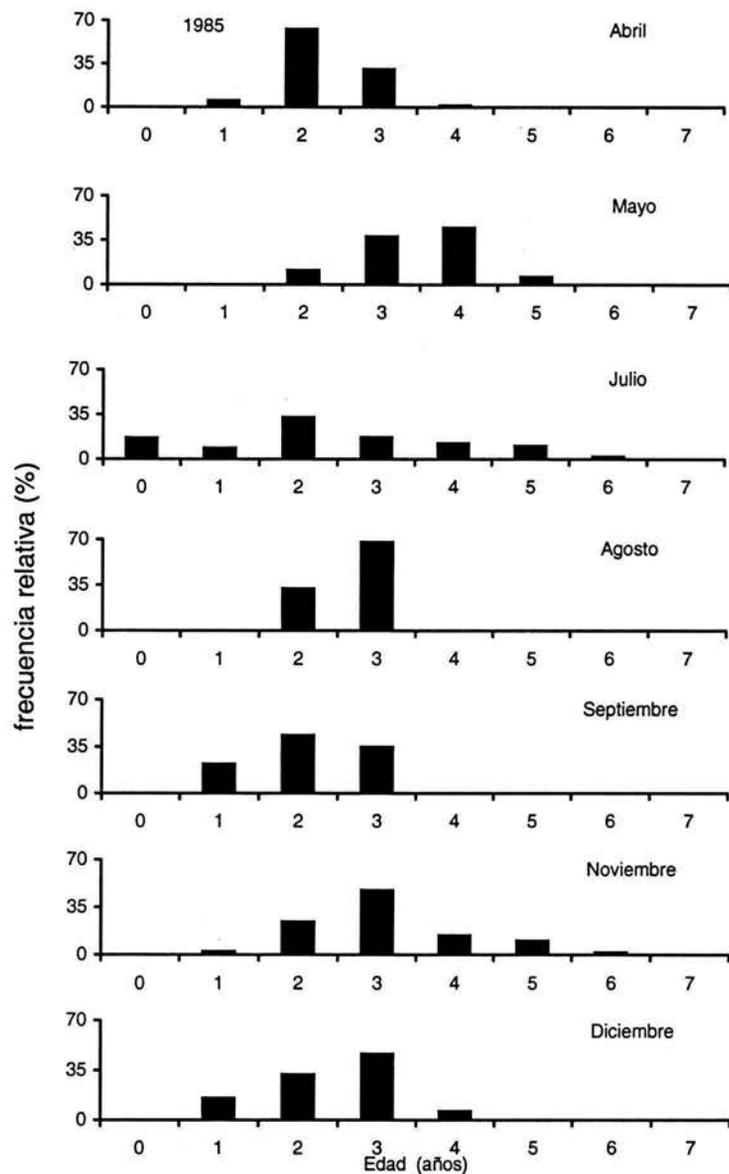


Figura 23. Composición por edades de la captura mensual de macarela del Golfo de California, 1985.

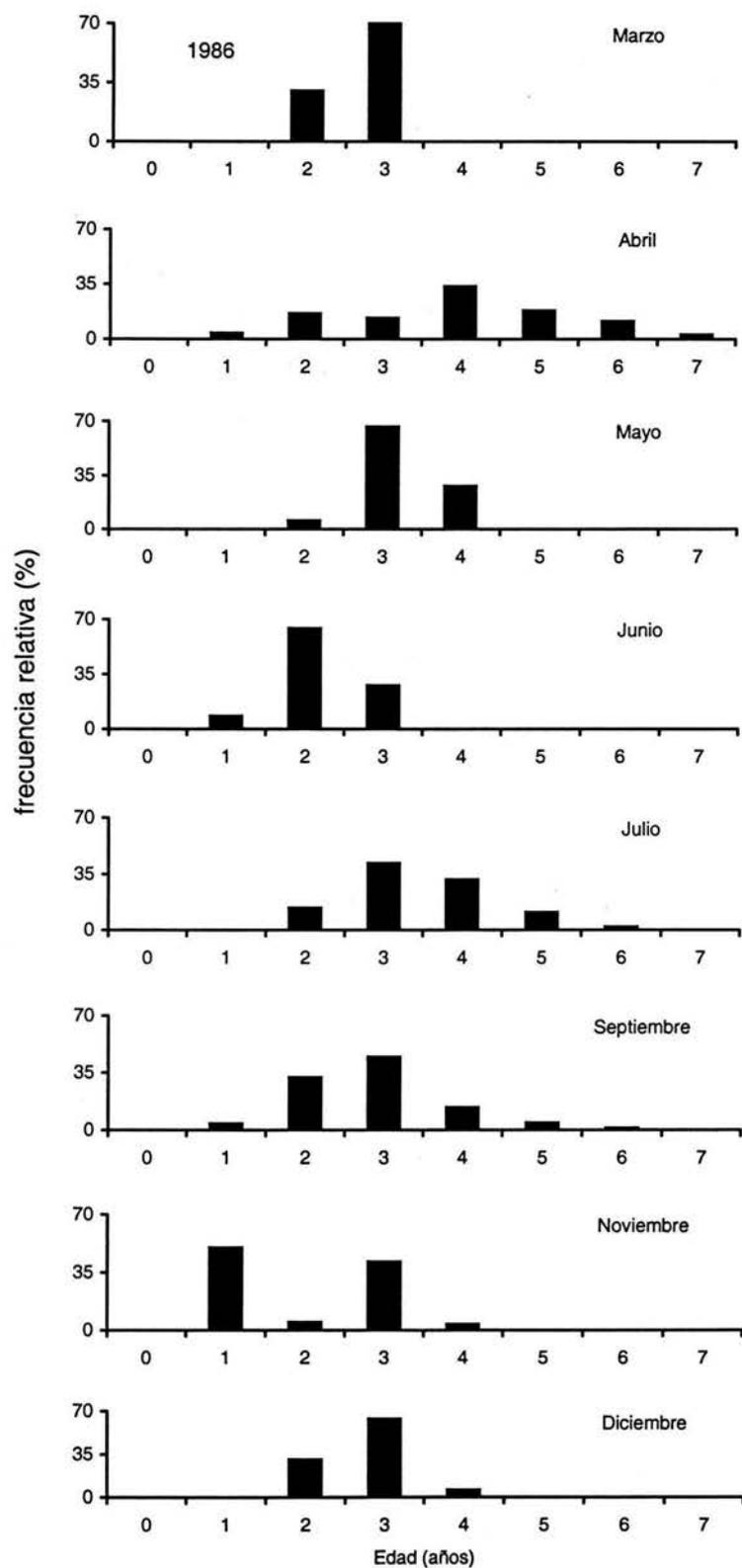


Figura 24. Composición por edades de la captura mensual de macarela del Golfo de California, 1986.

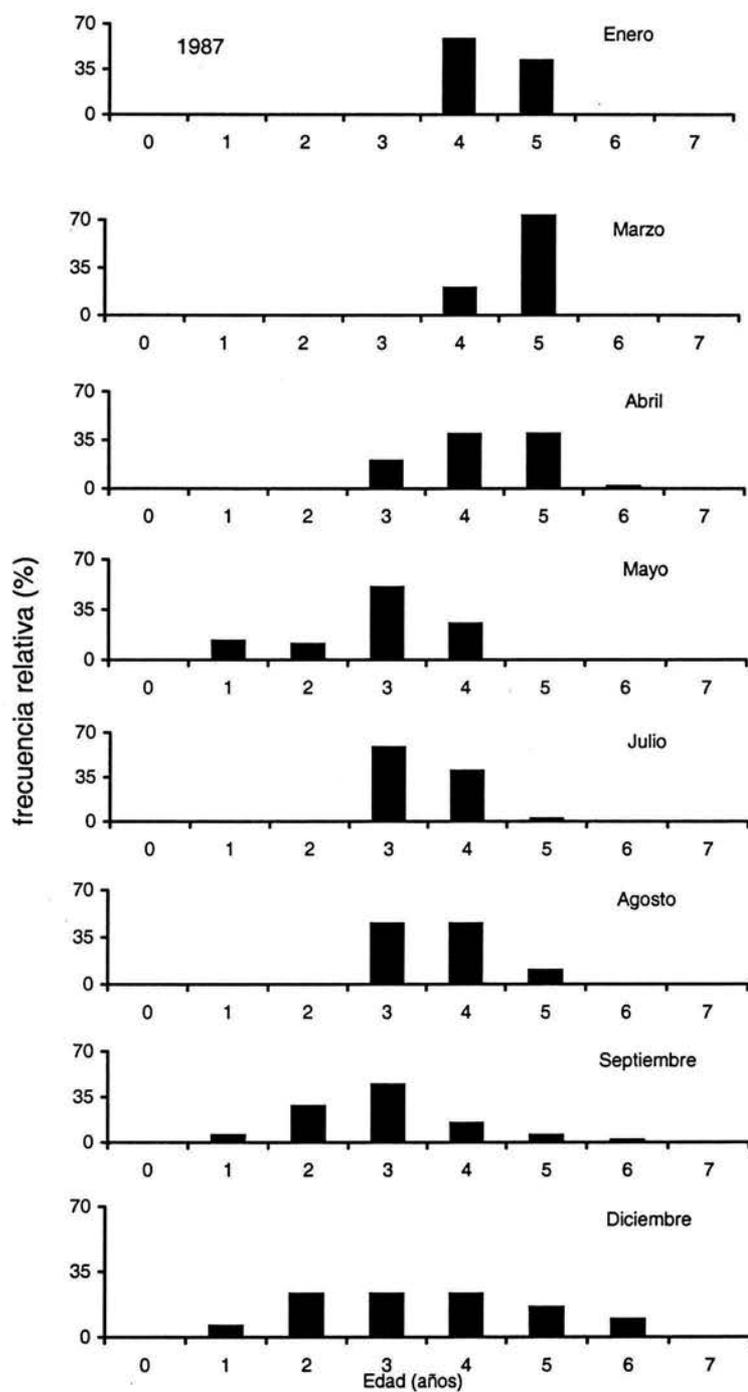


Figura 25. Composición por edades de la captura mensual de macarela del Golfo de California, 1987.

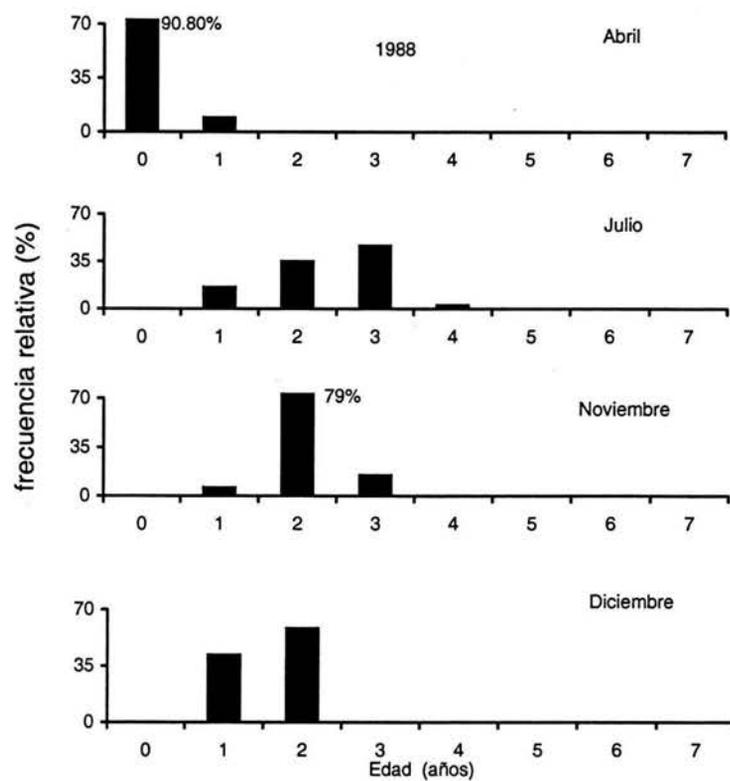


Figura 26. Composición por edades de la captura mensual de macarela del Golfo de California, 1988.

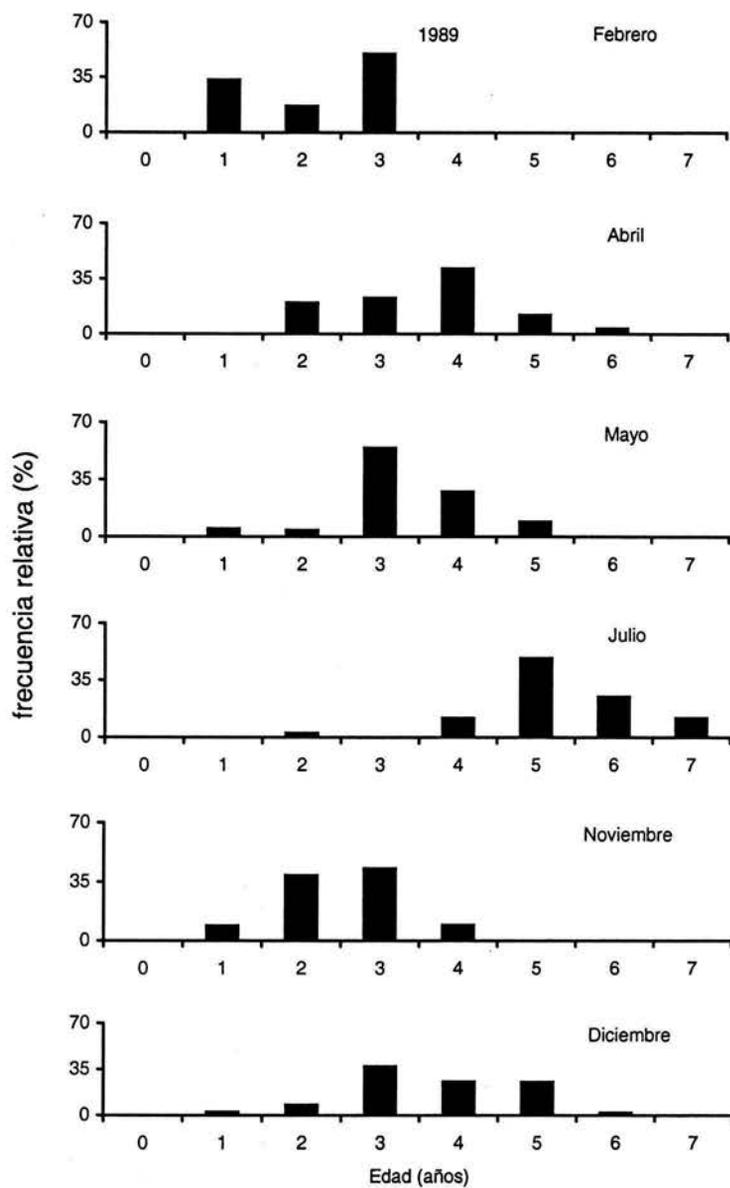


Figura 27. Composición por edades de la captura mensual de macarela del Golfo de California, 1989.

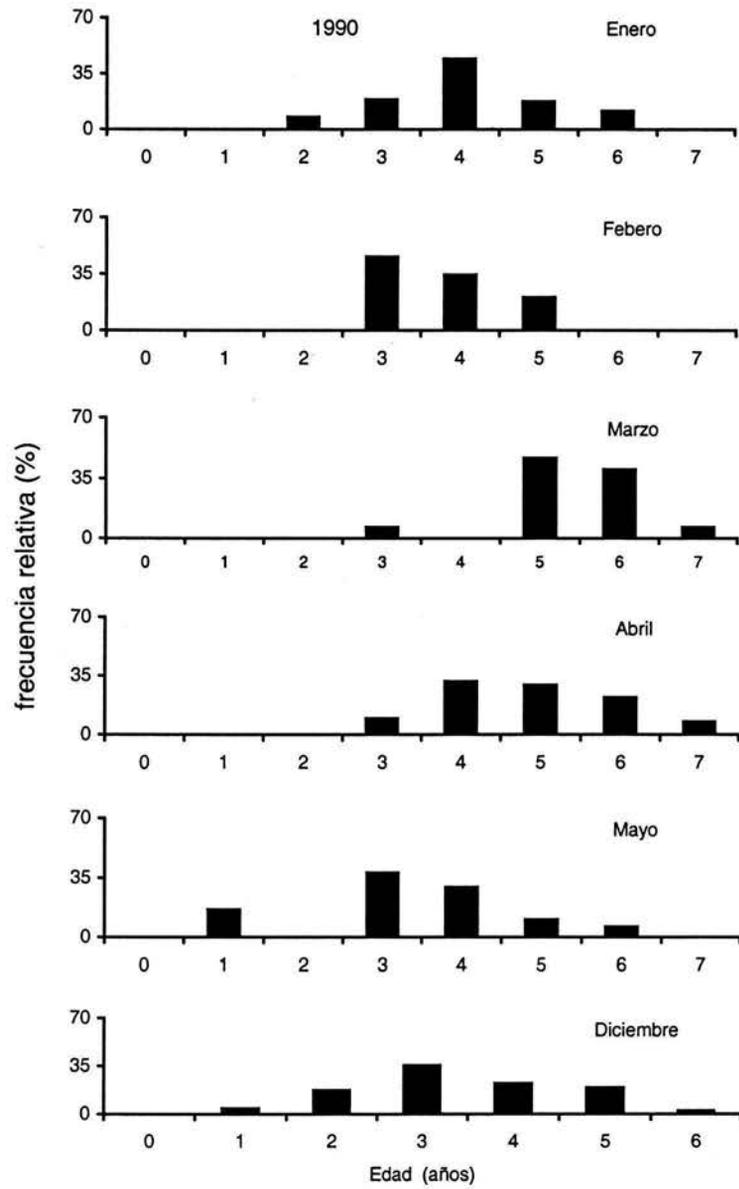


Figura 28. Composición por edades de la captura mensual de macarela del Golfo de California, 1990.

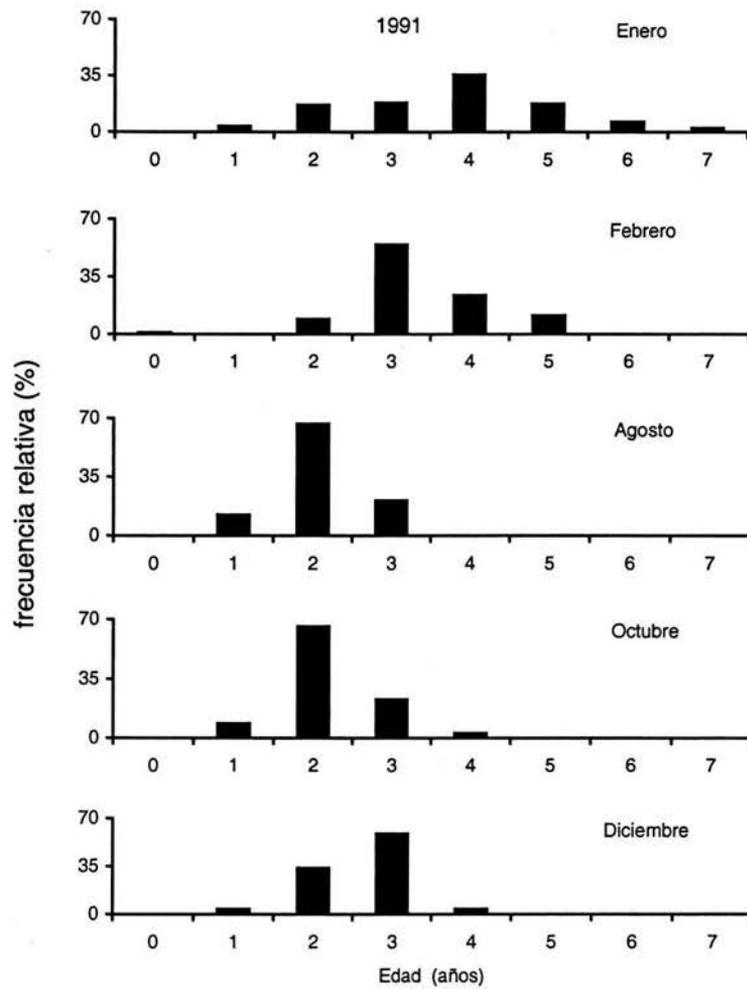


Figura 29. Composición por edades de la captura mensual de macarela del Golfo de California, 1991.

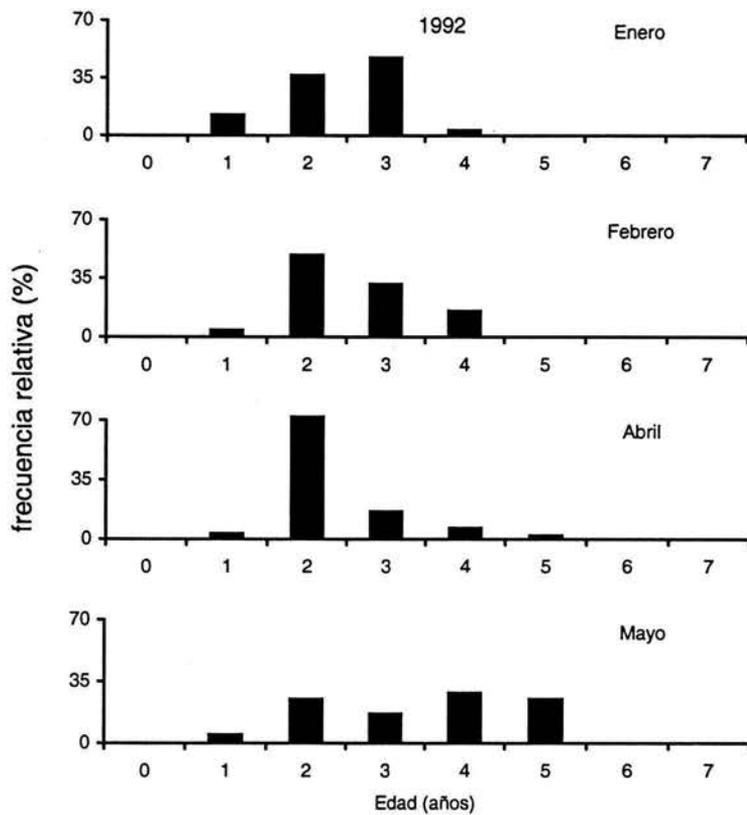


Figura 30. Composición por edades de la captura mensual de macarela del Golfo de California, 1992.

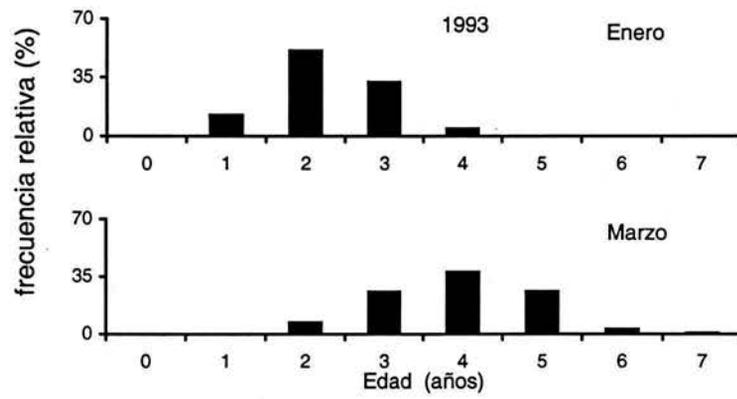


Figura 31. Composición por edades de la captura mensual de macarela del Golfo de California, 1993.

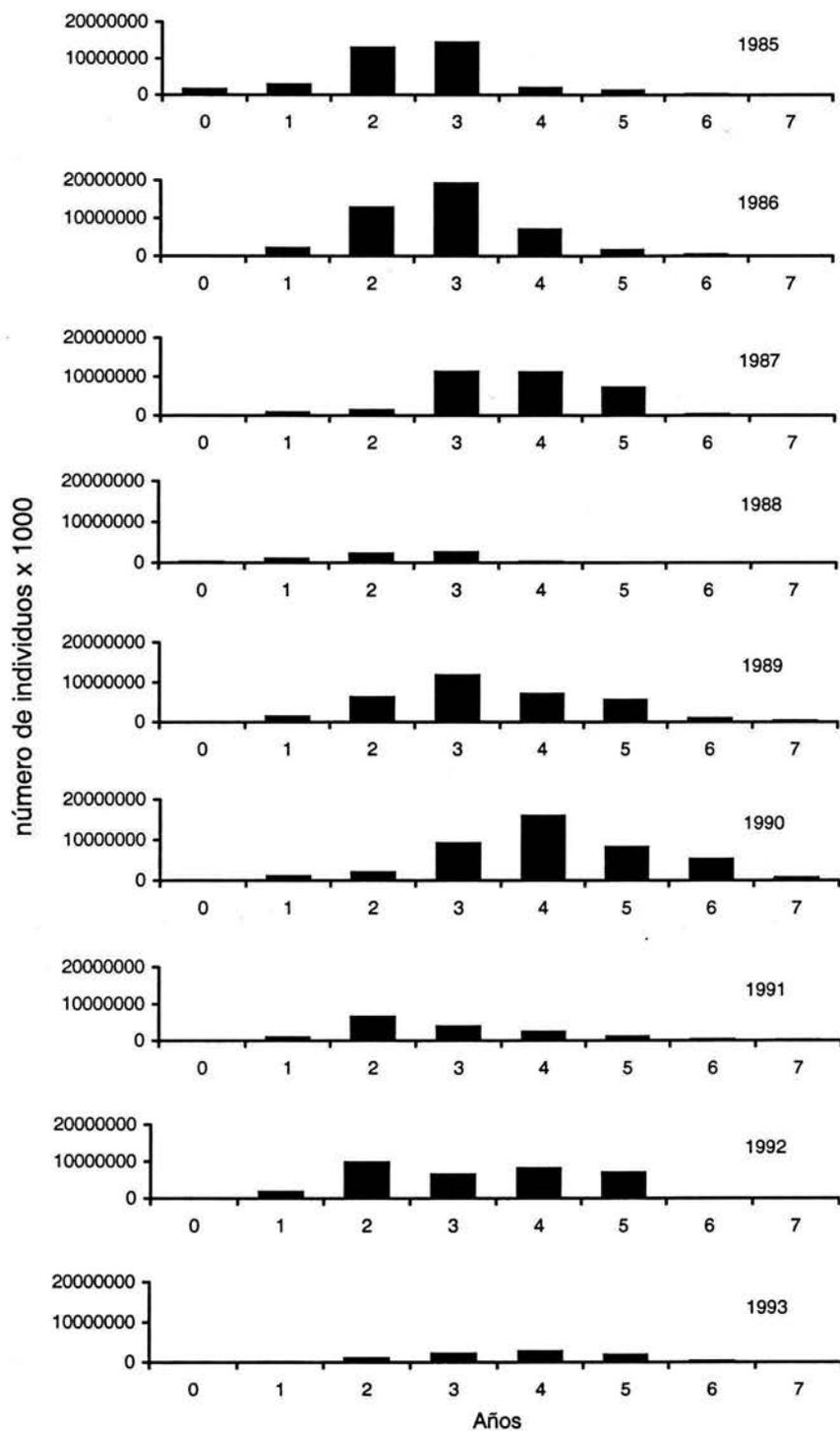


Figura 32. Composición anual de edades de la captura comercial de macarela en el Golfo de California, 1984-1993.

CAPITULO VI DISCUSIÓN GENERAL

A partir de la revisión general del conocimiento biológico de *S. japonicus* en el capítulo II, se identifican los siguientes aspectos de su biología de importancia pesquera, y que requieren investigación:

- 1) Prospecciones de macarela con redes de arrastre de media agua, tanto en el GC como en la costa occidental de Baja California (COBC), ofrecerían mayor conocimiento del recurso y se evaluaría la factibilidad de aumentar sus capturas. No obstante, la captura mundial de macarela se obtiene de la pesca con cerco en las capas superficiales del océano, de aquí que la probabilidad de un incremento importante de sus capturas, usando otro tipo de artes de pesca, podría ser bajo, pero aún se desconoce. Lo anterior es porque *S. japonicus* tiene una compleja estructura intraespecífica, poblaciones aisladas viven en todos los océanos, en mar abierto (Kotlyar y Abramov 1982; Crawford y De Villiers 1984; Ermakov 1996; Belvaev *et al.* 2002; Belvaev y Shershenkov 2002) y han sido poco estudiadas. La mayoría de las investigaciones se han dirigido a las agregaciones costeras, donde se obtiene la mayor captura. En aguas mexicanas el único antecedente disponible de su presencia a profundidades hasta 350 m, es en el GC por Lavenberg y Fitch (1966). A profundidades >100 m su distribución es dispersa, está relacionada con su comportamiento, distribución, abundancia (Crawford y De Villiers 1984) y alimentación, de lo que poco se conoce. Es carnívoro facultativo (Muck y Sánchez 1987; Molina *et al.* 1996) y su alimento principal, a profundidades >100 m, podría ser mictófidios, para los cuales se presume una abundancia importante en el GC. Ermakov (1996) reporta elevadas proporciones de mictófidios en los estómagos de *S. japonicus*.
- 2) La biología reproductiva de *S. japonicus* requiere de una evaluación del número de veces que un organismo desova en un año, ovocitos en varios estadios de desarrollo ocurren simultáneamente en el ovario activo reproductivamente y las estimaciones actuales (8.8 veces al año desova una hembra) parecen ser una estimación baja (Dickerson *et al.* 1992). Esto es necesario para estimar la fecundidad relativa total, por edad y/o talla, información útil para evaluar biomasa por métodos como el de producción de huevos y larvas.

- 3) El conocimiento de la caracterización cuantitativa y cualitativa de procesos físicos como: enriquecimiento, concentración, y aquellos que favorecen la retención dentro (o deriva hacia) del hábitat reproductivo de *S. japonicus*, puede contribuir a explicar la amplia variación del reclutamiento, por sus efectos en las etapas de vida temprana.
- 4) Con el propósito de delimitar y/o reconocer la presencia de más de un stock(s) de *S. japonicus* en aguas mexicanas, se determinó que es posible abordar este tema a través de integrar y analizar información biológica y pesquera disponible. La discusión siguiente trata ese tema.

Distinción de stocks

Debido a lo costoso de llevar a cabo investigaciones planeadas para identificar stocks, en esta tesis se utilizó información biológica colectada para propósitos de evaluación del desempeño de la pesquería, en el área de distribución de la especie. Tal información tiene una doble función, también puede utilizarse para describir comparaciones entre stocks de peces; y aunque se considera como un procedimiento no planeado para ese fin (Waldman 1999), es un punto de partida para identificar necesidades específicas de investigación, por ej. sitios geográficos y períodos en los cuales podría ocurrir mezcla de stocks, procedimientos particulares para discriminar, y mostrar con mayor precisión las diferencias, similitudes y sus posibles causas, entre otros.

La importancia operativa y/o de manejo de la separación de stocks, es que uno de los principios del manejo precautorio es asegurar una utilización sustentable de los recursos marinos (FAO 1995), y uno de los requerimientos es considerar el impacto de las acciones de manejo, incluyendo consideraciones explícitas de la complejidad del stock. Por esta razón ha crecido el interés en la importancia de reconocer los componentes de desove dentro de las unidades de manejo establecidas históricamente (FAO 1995). También, el estudio de varias poblaciones de una misma especie revela la escala espacial sobre la cual varían las características de la historia de vida, y el grado de plasticidad potencial de esas características.

La definición de Stock o unidad poblacional es necesaria para la evaluación del estado de las poblaciones. Las varias definiciones de stock (Tabla IV) tienen en común la interacción de la especie y su manejo, de tal manera que puede aplicarse a especies con estatus de protección especial (NOM-059-ECOL-1994, DOF 16 mayo 1994), y a especies que se aprovechan comercialmente como *S. japonicus* (DOF 14 marzo 2004). La definición de stock también va a responder a las siguientes preguntas: ¿Cómo está distribuido el recurso a través de aguas del Pacífico Mexicano?, ¿cuantos stocks se identifican?, ¿cómo están conectados los stock(s), cuál es su tamaño?, ¿cuáles son sus características biológicas?, entre otras. Respuestas y discusión a algunas de éstas interrogantes se presentan a continuación.

La distribución de *S. japonicus* en aguas del Pacífico mexicano muestra agregaciones importantes, junto con otros pelágicos menores, en Ensenada, Bahía Vizcaíno, Bahía Magdalena y GC, sitios distantes geográficamente, localizados entre 22° y 33° LN. Con base en los resultados de esta tesis, se identifican, al menos dos stocks, uno en el GC, otro en la COBC, y una zona de mezcla y/o sitio de crianza, alimentación y refugio de estos dos o más stocks, en Bahía Magdalena. El stock del GC comparte un espacio común, se reproduce en un periodo distinto de aquel de la costa occidental de Baja California, sus características biológicas mostraron diferencias con respecto al stock de la COBC, con aislamiento geográfico importante, de tal manera que se considera un grupo poblacional para propósitos de manejo pesquero. El aislamiento geográfico y la diferencia del periodo de reproducción, podría dar lugar a un reducido flujo de genes entre los dos grupos, esto último aún no se ha evaluado.

Para responder a la pregunta ¿Cómo están conectados los stock?, se propone el siguiente esquema: el stock del GC podría alcanzar Bahía Magdalena en invierno. En ese periodo ocurre la reproducción en el GC, tanto de macarela como de sardina monterrey; una migración hacia el sur con fines reproductivos es sugerida aquí para el stock de macarela del GC. En invierno en Bahía Magdalena se ha observado macarela con características del grupo poblacional del GC (una fracción importante de individuos con gónadas maduras, de otolitos con bordes opacos e individuos de mayor edad y tamaño). Los mecanismos para que esto se lleve a cabo, serían a través del intercambio de masas de agua entre el Golfo y el

Pacífico, ese intercambio ocurre debido a corrientes termohalinas inducidas por diferencia de temperatura entre esos dos sitios (Castro *et al.* 1994; Castro *et al.* 2000) y a corrientes superficiales (Rosas-Cota 1976). La intensidad del intercambio de agua en la boca del GC es variable y compleja; en esa zona se ha identificado la presencia de agua del GC con dirección hacia fuera, agua de la Corriente de California (CC) y agua Superficial Ecuatorial con dirección al interior (Castro *et al.* 2000). Este hecho fortalece la sugerencia de una mezcla de más de un stock de macarela en Bahía Magdalena, que sería el stock del GC y aquel de la COBC. La presencia del primero sería en invierno, cuando la dirección del flujo predominante del GC es hacia el sur, y en la boca del golfo el flujo es hacia fuera (Rosas-Cota 1976; Castro *et al.* 2000). Mientras que la presencia del segundo sería en verano principalmente, cuando la CC alcanza Bahía Magdalena. El grado de intensidad del intercambio entre la macarela del GC y el Pacífico, se desconoce. Respecto al stocks de macarela de la COBC, los escenarios que podrían presentarse serían los siguientes: 1) que el stock de la COBC tenga su principal zona de distribución en Bahía Vizcaíno y se extienda al norte, hasta el sur de California o más al norte, y al sur hasta Bahía Magdalena y eventualmente entre al GC, 2) que el stock de macarela en Bahía Magdalena sea una mezcla del grupo del GC y de aquel de la COBC, predominado en invierno el stock del GC y en verano el de la COBC, 3) que el grupo poblacional de la COBC sea un grupo poblacional con limite sur de distribución en Bahía Vizcaíno, y eventualmente podría extenderse hasta Bahía Magdalena, bajo condiciones ambientales particulares. Bahía Vizcaíno es una zona de transición entre latitudes medias y subtropicales, sus características hidrográficas funcionan como barrera ambiental (Durazo y Baumgartner 2002) de especies como: langosta roja *Panulirus interruptus*, abulón amarillo *Haliotis fulgens*, microalgas *Macrocystys pyrifera*.

Regresando al esquema de migración de la macarela en el GC, el desplazamiento es de norte a sur en invierno, desde las grandes islas hacia las principales zonas de reproducción en la costa de Sonora. En invierno la circulación superficial es hacia el sureste (Rosas-Cota 1976); en verano el desplazamiento es hacia las grandes islas, igual que la circulación superficial, hacia el noroeste. Uno de los objetivos de las migraciones es ahorrar energía para destinarla al crecimiento y/o a la reproducción, y una manera de hacerlo es nadando en

la misma dirección de la corriente. El nado es una de las actividades que demanda mayor presupuesto de energía (Brett 1964; Brett y Groves 1979; Adams y Breck 1990), de aquí que la macarela del GC, estaría utilizando la corriente dominante para trasportarse a zonas favorables de reproducción, con menos predadores, abundante alimento y rutas que beneficien la deriva larval (Weihs 1977; citado en Ware 1978; Jennings *et al.* 2001). Esas zonas favorables parecen ser aquellas de los márgenes costeros, donde se agrega la macarela, y donde se alcanza mayor velocidad que en la parte central del golfo (Rosas-Cota 1976). Para garantizar el éxito de la fertilización en un ambiente pelágico, los huevos se depositan cuando los adultos se agregan; así entonces, el desove y fertilización ocurre casi simultáneamente. Después, los huevos y larvas se dispersan, principalmente en dirección horizontal, para lo cual habría mecanismos de transporte hacia las zonas de crianza, las grandes islas y algunos sitios de la costa oriental del GC. Las áreas de reproducción identificadas coinciden con aquellas de la distribución y abundancia de huevos y larvas.

Considerando como objetivo la supervivencia de la especie para lograr éxito reproductivo, entonces, mecanismos físicos como: circulación superficial, dirección y velocidad de corrientes, surgencias, giros ciclónicos y/o anticiclónicos, y otros factores físicos del GC, implicados en el esquema de migración propuesto, y aquellos que promuevan deriva hacia el (o del) hábitat de crianza apropiado, deberán ser relevantes para las especies pelágicas que realizan amplias migraciones en el GC, ya que esquemas de migración propuestos para otras especies en el GC muestran coincidencias, como el descrito por Klett (1996) para el calamar gigante *Dosidicus gigas*, para la sardina Monterrey por Sokolov y Wong Ríos (1972), Sokolov (1974) actualizado por Hamman *et al.* (1988), y el aquí propuesto para *S. japonicus*. Factores físicos como las surgencias y fuertes corrientes de marea en el hábitat de crianza de juveniles (las grandes islas), promueven la concentración de grandes cantidades de alimento necesario para un rápido crecimiento, condiciones requeridas para pasar rápidamente por distintos estadios de tamaños con altas probabilidades de depredación. En general, algunos de los mecanismos estratégicos señalados por Bakun (1996), necesariamente deberán estar sincronizados con la migración de la especie y la dirección de las corrientes predominantes en el GC, para así obtener ventajas energéticas y de supervivencia.

Las características analizadas para distinguir los grupos poblacionales, son expresiones fenotípicas, que incorporan el ambiente particular de cada sitio. *Scomber japonicus* al igual que la sardina monterrey *S. caeruleus*, son especies características de corrientes de margen oriental, como la corriente de California, donde ocurren importantes afloramientos y condiciones oceanográficas particulares, como: cambios estacionales e interanuales de la posición geográfica de masas de agua en la zona de transición entre latitudes medias y subtropicales (a la altura de Bahía Vizcaíno), y cambios interanuales en la intensidad de la corriente de California (Durazo y Baumgartner 2002). Condiciones como éstas podrían minimizar la mezcla de huevos y larvas entre stocks, manteniendo efectividad en el aislamiento y discreción de stocks (Iles y Sinclair 1982). La distribución de larvas en la COBC de Moser *et al.* (1993), no muestra ser tan discreta como la distribución de adultos, aunque temporalmente hay zonas de abundancia importante de huevos y larvas en Bahía Vizcaíno, señalada como la principal zona de reproducción (Kramer 1960; Bautista Romero 1997), por lo que la distribución de larvas podría no indicar claramente alguna delimitación de stocks. Una población expuesta a ambientes estacionales puede experimentar cambios fenotípicos en varios rasgos. Tales cambios pueden tener dos orígenes: plasticidad fenotípica¹ y cambio evolutivo. Si el cambio es únicamente debido al primero, no necesariamente ocurre cambio en la composición genética. La variación fenotípica observada, también puede resultar de una combinación de los dos orígenes. La composición genética no se evalúa en el presente trabajo, pero asumimos que las características fenotípicas observadas podrían ser el resultado de una reacción de la población al ambiente en cada zona, a falta de antecedentes genéticos.

Félix-Uraga *et al.* (1996) distinguen hasta tres grupos poblacionales de sardina monterrey *S. caeruleus* en la COBC, con base en el comportamiento temporal y geográfico de las capturas en distintos sitios de pesca, su relación con desplazamientos y capturas a distintos intervalos de temperatura. Una de las bondades de esa propuesta es la incorporación de desplazamiento en la distinción de los grupos. Un esquema tal, no se ha explorado en *S. japonicus*. Sería interesante conocer si responde de la misma manera, ya que la sardina, la

¹ Plasticidad fenotípica: Los organismos no son estrictamente expresiones genotípicas, debido a que la influencia del ambiente influye el fenotipo. Esta interposición del ambiente entre el genotipo y el fenotipo es señalada como plasticidad fenotípica.

macarela, y otros pelágicos menores, son característicos de las corrientes de margen oriental como la corriente de California.

Características de la historia de vida de *Scomber japonicus*

Las características de la historia de vida como evidencia de distintos grupos poblacionales, son útiles. Sin embargo, varían temporalmente y espacialmente dentro de los stocks (Begg *et al.* 1999) y están influenciados por la mortalidad por pesca variable. Los stocks son dinámicos, son agrupaciones interactivas, con fronteras espaciales y con parámetros de vida que varían con el tiempo (Cowen *et al.* 1993); de aquí la importancia de examinar diferentes periodos, ya que comparaciones temporales han mostrado que si únicamente se analiza un periodo particular, se obtienen diferentes respuestas de la estructura del stock, que podrían derivarse de la plasticidad de los parámetros a los efectos de los cambios ambientales y a la presión de pesca (Begg *et al.* 1999). Los efectos del ambiente y su influencia en los parámetros vitales no es fácil de separar, particularmente cuando la magnitud de la pesca induce cambios en los stocks (Serchuck *et al.* 1994). Otro factor que puede promover variación es la distribución geográfica. Por ejemplo, la distribución podría ser más extensa a niveles de stocks más grandes y ocurrir probablemente un mayor intercambio entre adultos de diferentes stocks, y observarse menos diferencias, o viceversa. En nuestro caso, se agrupó la información de todos los años disponibles para cada zona, debido a lo escaso en alguna de éstas. Sin embargo, si utilizamos el registro histórico de captura de cada zona, como un indicador indirecto y relativo del tamaño de la población (ej. bajo, medio o alto), entonces podemos clasificar los periodos analizados de la siguiente manera. Para el GC (1984-1993), Bahía Vizcaíno (1984 a 1986) y Ensenada (1989, 1990, y 1993) son periodos que corresponden a un tamaño medio de población porque sus capturas son medias. Mientras que Bahía Magdalena (1980-1989) contiene años con nivel de población bajo y medio. Así entonces, los resultados de cada zona, representan un tamaño medio de población, y asumimos, con las reservas necesarias, que se mantiene ese tamaño medio de población y éste no afectó el crecimiento individual, y por consecuencia tampoco $L_{50\%}$ y $E_{50\%}$. Queda la expectativa de cómo se comportarían las características de la historia de vida y sus parámetros al estimarlos en periodos cuando el tamaño de población sea alto y

bajo. Esto es importante ya que para discriminar, la señal que indique la variación entre stocks debe exceder aquella dentro de los stocks (Waldman 1999). Así entonces, permanece el ambiente y la pesca como factores que promoverían las diferencias de los stocks; discriminar entre estos dos no es fácil.

Considerando lo anterior, el crecimiento individual de *S. japonicus* del GC, Bahía Vizcaíno, Ensenada y California, (Fig. 7), mostró un clinal, esto es, variación de la talla a la edad con un gradiente geográfico, mayor talla a la edad en el norte que en el sur. Esto sugiere que los parámetros de vida son útiles indicadores de diferencias fenotípicas y tienden a reflejar el ambiente que ocupan los peces. Podría ser una adaptación al ambiente local, por ejemplo: a la temperatura, a la duración del periodo de crecimiento, reproducción o alimentación que cambian con la latitud. Cada grupo tendría su óptima temperatura, donde las tasas metabólicas son óptimas. Las desviaciones desde la temperatura óptima pueden afectar la tasa de crecimiento de los peces inmaduros (Nikolsky 1963). En el GC ocurren intervalos de temperaturas promedio mensuales, en años normales o fríos (ej. 1996-1997), de 17.5 a 33.1°C, y durante eventos “El Niño” el valor del límite máximo del intervalo, aumenta (Martínez Zavala *et al.* 2000). Estas temperaturas son más cálidas que en la COBC, donde el promedio de 1981 a 1994 fue entre 21.5 y 22 °C en Bahía Magdalena; entre 18.5 y 19 °C en Isla de Cedros (Bahía Vizcaíno), y entre 17.5 y 18 °C en Ensenada (Félix-Uraga *et al.* 1996). Entonces, se esperaría que los procesos de desarrollo de *S. japonicus* del GC estén mejor adaptados a temperaturas mayores, como sugiere Coter Altamirano (2000) para la anchoveta *Engraulis mordax* del GC.

La $L_{50\%}$ y $E_{50\%}$ de maduración de *S. japonicus*, también mostró un clinal (Gluyas-Millán y Quiñónez-Velázquez 1996), es más evidente en $L_{50\%}$ que en $E_{50\%}$. Pero si consideramos la longevidad en cada sitio: California 12 años (Fitch 1951), Ensenada 12 años, Bahía Vizcaíno 8 años (Gluyas-Millán 1990), Bahía Magdalena 7 años, y GC 9 años. Entonces $E_{50\%}$ es un factor importante que influirá en la vida reproductiva, la cual será mayor en la macarela del norte que del sur, y en la fecundidad, si ésta se incrementa exponencialmente con la talla (Sterns 1992). Cuando un organismo madura, la energía para el crecimiento se comparte con aquella que necesita la reproducción, y entonces disminuye la tasa de crecimiento. Esa disminución ocurre a la edad de maduración ($E_{50\%}$), como se observa en

las curvas de crecimiento de cada sitio geográfico (Fig. 7). Al madurar más temprano disminuye el tiempo de juvenil, posiblemente porque se incrementa la oportunidad de sobrevivir a la madurez, o porque su descendencia al nacer más temprano podría empezar a reproducirse pronto, entre otras posibilidades. Entonces, ¿por qué algunos organismos maduran tarde?. Generalmente hay dos factores que retrasan la madurez señalados por Sterns (1992): 1) Un retraso permite más crecimiento, así como fecundidad mayor (si la fecundidad y el tamaño están positivamente correlacionados). Así entonces se incrementa la cantidad de descendencia que nace en cada ocasión, y 2) si el retraso de la madurez implica mayor calidad de descendencia, esto contrarrestará alta mortalidad en juveniles. Una madurez más temprana, a una talla menor, podría darse para evitar la depredación (Reznick *et al.* 1990). De aquí entonces que tanto $L_{50\%}$ y $E_{60\%}$ se consideran óptimas para cada sitio y sus diferencias reflejarían condiciones específicas del ambiente de cada zona. Ya que para maximizar el éxito reproductivo, un organismo además de repartir sus recursos energéticos adecuadamente, deberá asegurar que su descendencia nazca en las mejores condiciones ambientales. Por lo tanto, el periodo de reproducción, y la estacionalidad con la que ocurre, serán importantes para el futuro desarrollo y supervivencia de la especie; de aquí que en el GC y la COBC las mejores condiciones ocurren en periodos distintos.

Una característica importante de la historia de vida en la distinción de stocks, y de uso operativo en el manejo de *S. japonicus*, es el periodo de reproducción. Ya que si se llegase a implementar una veda para proteger la reproducción (adultos y/o juveniles), ésta tendría que ser en periodos distintos en el GC que en la COBC. Si se aplica una estrategia de manejo como cuota de captura, es necesario delimitar geográficamente el área de evaluación del recurso y la aplicación geográfica de esa cuota, especialmente en la COBC y California. Esa amplia distribución del recurso, implica un uso común del hábitat por el stock(s), hábitat que abarca zonas económicas exclusivas de dos países. Por lo que las estrategias de manejo tendrían que acordarse entre los dos países, ya que ambos podrían compartir el mismo stock.

En las distintas explicaciones de las diferencias fenotípicas presentadas, se destaca como posible causa el ambiente. Sin embargo, aún se desconoce la influencia de la variación

genética de los stocks como posible causa de esas diferencias. Distinguir entre variación ambiental o genética es una de las principales dificultades que se enfrentan cuando se usan rasgos fenotípicos para analizar stocks, ya que la variación fenotípica entre stocks depende de cómo los genotipos, que afectan la expresión fenotípica, varían con el ambiente que también tiene influencia en esa expresión (Waldman 1999).

A cerca de las técnicas utilizadas para identificar stocks, los antecedentes indican que algunas dan resultados más concluyentes que otras. Por ejemplo, diferencias en distribución, historias de vida y rasgos de las características de los otolitos, han indicado que existen componentes de desove separados de *Melanogrammus aeglefinus*, mientras que estudios de marca-recaptura, ictioplanctónicas y análisis genéticos indican intercambio a través de su zona de distribución (Begg 1998). De aquí que es recomendable usar distintas técnicas para despejar incertidumbre a cerca de la estructura del stock de *S. japonicus*, especialmente en la COBC y California.

Edad y crecimiento de juveniles

No obstante la falta de validación directa de la periodicidad de formación de los incrementos de crecimiento en juveniles, consideramos que las pruebas indirectas de validación, como: no incluir, durante el conteo de marcas, los incrementos subdiarios descritos por D'Amours *et al.* (1990); y el cercano acuerdo entre nuestras estimaciones de edad, de 26 a 47 días, y los datos de edad-longitud de Hunter y Kimbrell (1980), son las mínimas necesarias para asumir tal periodicidad. No obstante, estudios de laboratorio son necesarios para determinar la edad de formación del primer incremento y validar la periodicidad diaria de formación de éstos. El modelo Gompertz, usado para describir el crecimiento (0 años) en *Scomber scombrus* (Kendall y Gordon 1981; Ware y Lambert 1985; D'Amours *et al.* 1990; Simard *et al.* 1992), ajustó adecuadamente los valores de longitud-edad de la primera estación de crecimiento de *S. japonicus* del GC, que se aborda por primera vez. Sin embargo, consideramos la posibilidad que los parámetros podrían estar sesgados, debido a: que se agruparon los datos de diferentes años, a la posibilidad de que ocurra mortalidad selectiva por tallas, como reportada en otras especies (Meekan y Fortier 1996; Quiñónez-Velázquez 1997), y por tener escasos datos en las primeras edades. De tal

manera que la L asintótica de la primera estación de crecimiento (187.3 mm) parece sobrestimada.

Si consideramos que entre los principales propósitos por las cuales se estudia el crecimiento temprano de los peces (0 años), es porque algunas hipótesis señalan que en esa etapa es posible determinar el vigor de la clase anual (si será débil, fuerte o media) y posteriormente la magnitud del reclutamiento, que es un importante componente en la dinámica de poblaciones de peces. La hipótesis de Hjort (1914) (citada en Cushing 1990) señala que las fluctuaciones en el reclutamiento de las pesquerías son debidas principalmente a la variabilidad de la sobrevivencia durante los estadios de vida temprana, cuando las tasas de crecimiento y mortalidad son máximas (Cushing 1990; Legget y Deblois 1994; Quiñónez-Velázquez 1997). De tal manera que grandes fluctuaciones en el reclutamiento pueden ser causadas por una relativa pequeña variación en el crecimiento en los estadios de vida tempranos. El modelo de crecimiento predice que entre las edades de 44 y 45 días ocurre la máxima tasa de crecimiento en la primera estación de crecimiento (0 años). Esto significa transitar más rápido a través de las tallas donde ocurre canibalismo (Hunter y Kimbrell 1980), cambio de tipo y calidad de alimento, comportamiento (formación de cardúmenes más compactos), entre otros. Por lo que ese resultado podría ser una referencia para posteriores estudios en los cuales sea posible determinar la tasa de mortalidad, y conocer en que período de vida ocurre. Esto último, demanda un esquema de muestreo de larvas y juveniles distinto aquel por el cual nosotros obtuvimos las muestras. También se deberán considerar otros aspectos como: la disponibilidad de alimento, que es relevante para el crecimiento en la etapa juvenil, la temperatura lo es en la etapa de la eclosión y/o incubación (Castello y Castello 2003), y el canibalismo en la etapa de larva (Hunter y Kimbrell 1980). La selección natural deberá favorecer algún balance entre la temperatura, el alimento disponible y otros factores físicos del ambiente que actúen en el crecimiento y la sobrevivencia, y finalmente en el reclutamiento (Walter y Juanes 1993). Así como una combinación de procesos físicos como enriquecimiento, concentración, y aquellos que favorecen la retención dentro o hacia el hábitat favorable (Bakun 1996) deberá ser elegida por *S. japonicus* como una estrategia de sobrevivencia, para tener eventos reproductivos exitosos, y/o para usar ciertos sitios como zonas de alimentación y/o refugio.

La curva de crecimiento ajustó adecuadamente los datos de longitud-edad de los juveniles de *S. japonicus* del GC, sin embargo predice valores más bajos de longitud a la edad, que aquellos reportados por Hunter y Kimbrell (1980). Esta comparación se hace por ser la única referencia disponible. Sin embargo, debe haber cautela al comparar individuos en condiciones de laboratorio con aquellos de ambientes silvestres.

La amplia distribución de fechas de eclosión, reflejó lo amplio del periodo de desove, además que cada hembra desova varias veces, de tal manera que las larvas experimentan un amplio intervalo de condiciones ambientales que posiblemente promuevan variaciones en crecimiento y sobrevivencia durante el primer año de vida (Fortier y Quiñónez-Velázquez 1998). Esas condiciones ambientales distintas, podrían promover condiciones alimenticias distintas, que retrasen o apresuren su crecimiento.

La variación de tallas a la edad, también puede verse como una adaptación que les permite tomar un intervalo más amplio de calidad y cantidad de alimento.

Un adecuado entendimiento de la ecología y dinámica del estadio juvenil, es esencial ya que esta etapa de vida es crítica para determinar el vigor de la clase anual y el futuro reclutamiento (Sissenwine 1984; Cushing 1990).

Composición por tallas y edades de la captura de *S. japonicus* en el Golfo de California

La composición por edad está en función del remplazamiento, crecimiento y mortalidad. Los resultados indican que las fluctuaciones del vigor de las clases anuales afectan la variabilidad de la composición por edades y la captura. La pesca de macarela en el GC está sustentada principalmente en dos o tres clases anuales, que son las que llegan aportar hasta 70% de la captura, lo que significa que depende en gran medida de exitosos reclutamientos de un número relativamente reducido de clases anuales, las cuales llegan a permanecer en las capturas hasta siete años, de aquí que la pesca captura individuos de una fracción de la

población que se habrá reproducido de una a cinco veces, esto es, individuos >3 años (Gluyas-Millán y Quiñónez-Velázquez 1996).

Las variaciones interanuales en la composición por tallas y edades estarán influenciadas por: 1) diferencias en el vigor de las clases anuales que componen la captura, lo cual puede indicar que la población reacciona a cambios en las condiciones ambientales; 2) la mortalidad por pesca; y 3) posible crecimiento densodependiente que promueva diferencias en la talla y/o peso a la edad, aunque aquí asumimos que no ocurre debido a que el periodo analizado proviene de un tamaño medio de población, y 4) cambios interanuales en la distribución de las agregaciones debido a variaciones en el ambiente.

La tasa de explotación promedio anual $E = 0.35$ y el promedio de la mortalidad por pesca $F = 0.62$, para 1985-1991, fueron menores que los del periodo 1996-1998 ($E = 0.70$; $F = 1.76$) estimados por Martínez-Zavala *et al.* (2000), periodo que correspondería según la clasificación anterior, a un tamaño de población alto. Esto sugiere que un incremento en la mortalidad por pesca estaría relacionado directamente con una mayor disponibilidad e indirectamente mayor abundancia relativa del recurso.

CAPITULO VII CONCLUSIONES

Se identifica un grupo poblacional de macarela *S. japonicus* en el GC distinto aquel de la COBC y California. Uno de los posibles escenarios de la definición de stocks de macarela en la COBC, sugiere Bahía Magdalena como el límite sur de la distribución de un stock.

Bahía Magdalena se identificó como una zona de alimentación, crianza y/o refugio de *S. japonicus*, donde posiblemente ocurra un traslape del grupo del GC y de la COBC entre invierno y primavera. Ese periodo se propone como el más conveniente para discriminar stocks en Bahía Magdalena.

Para la macarela del GC se determinó una longevidad de 9 años, el 50% del reclutamiento a la pesquería ocurre a 193 mm que corresponde a individuos de 3.3 años de edad, la pesca captura individuos de 0 a 9 años de edad y de 90 a 312 mm. El crecimiento individual descrito por el modelo de Von Bertalanffy fue el siguiente $LE = 281.6 (1 - e^{0.22(t+3.5)})$.

La macarela *S. japonicus* mostró un clinal en el crecimiento, individuos de la misma edad fueron más grandes en la COBC que en el GC.

El periodo de reproducción de *S. japonicus* fue de noviembre a abril en el GC, y en la COBC de abril a agosto. Las principales zonas de reproducción de *S. japonicus* en el GC fueron Guaymas y Yavaros.

Un esquema hipotético de migración de *S. japonicus* en el GC, mostró que la reproducción ocurre entre noviembre y abril en: Yavaros, Guaymas, isla San Marcos y Cabo San Lucas, posteriormente entre mayo y diciembre, ocurre un desplazamiento hacia las grandes Islas del GC, que serían las zonas de alimentación y/o crianza. Entre noviembre y diciembre inicia de nuevo el desplazamiento hacia el sur a las zonas de reproducción.

El crecimiento en juveniles (0 años) de *S. japonicus* del GC indicó que individuos de 31 a 162 mm les corresponden edades de 27 a 111 días. La máxima tasa de crecimiento fue 1.91

mm d⁻¹ en individuos de 44 días de edad, y la tasa de crecimiento promedio a 110 días de edad fue 1.13 mm d⁻¹ de acuerdo al modelo de Gompertz.

Una distribución de fechas de eclosión en juveniles de *S. japonicus* del GC corrobora que el período de desove determinado a partir de la máxima frecuencia de hembras con ovarios maduros, es de noviembre a mayo. Tal coincidencia temporal fortalece las determinaciones de edad en días.

La captura de macarela del GC de 1984 a 1993, estuvo compuesta de individuos de 83 a 312 mm y 0+ a 7+ años de edad, los cuales al menos se habrán reproducido una vez. Los años de máximas capturas estuvieron compuestos hasta 70% de dos clases anuales. La primavera fue el periodo de mayores capturas y el reclutamiento a la pesquería se observó entre febrero y mayo. El promedio de la mortalidad por pesca F y la tasa de explotación E de 1985-1991 (periodo de capturas medias), fue menor que en 1996-1998 (periodo de capturas altas), y sugiere que un incremento en la mortalidad por pesca estaría relacionado directamente con una mayor disponibilidad e indirectamente mayor abundancia relativa del recurso.

RECOMENDACIONES

Continuar el monitoreo de las capturas comerciales que lleva a cabo el Instituto Nacional de la Pesca en los distintos sitios de pesca.

Considerando las limitaciones y lo escaso de recursos para investigación en aspectos como el análisis de stocks (identificación, discriminación, composición de stocks, y su relación con el manejo), es necesario hacer la mejor elección de un procedimiento para tal efecto, el cual contenga un balance de costos entre necesidades de muestreo, que puedan repetirse, que sea posible discriminar stocks, determinar la composición de agregaciones de stocks y su grado de mezcla. El uso de análisis estadísticos y de laboratorio más sofisticados, dará habilidad para discriminar stocks.

En esta tesis se identifica como zona de sobreposición de stocks de macarela a Bahía Magdalena, en la costa occidental de Baja California. No obstante, se recomienda que para propósitos de manejar esa zona con medidas de conservación y protección de la especie, se considere el comportamiento de los stocks de sardina Monterey, no únicamente la macarela, ya que la primera especie es la principal en la pesquería de cerco en todos los sitios de pesca de México.

Llevar a cabo pesca exploratoria, con artes de pesca de arrastre de media agua con embarcaciones mayores, que operen fuera de las áreas donde actualmente pescan las embarcaciones de cerco (>30 millas), permitirá contar con información para evaluar la factibilidad de incrementar las capturas de macarela en cardúmenes dispersos y otros escómbridos como el charrito *Trachurus symmetricus*. Así como obtener mayor conocimiento sobre la abundancia y distribución vertical del recurso.

LITERATURA CITADA

- Abitia-Cárdenas L.A., F. Galván-Magaña, F.J. Gutiérrez-Sánchez, J. Rodríguez-Romero, B. Aguilar-Palomino, y A. Moehl-Hitz. 1999. Diet of blue marlin *Makaira mazara* off the coast of Cabo San Lucas, Baja California Sur, Mexico. *Fish. Res.* 44: 95-100
- Adams S. M. and J. E. Breck. 1990. Bioenergetics. Pages 389-415. In: C. B. Schereck and P. B. Moyle, editors, *Methods for fish biology*. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, USA.
- Aguayo H. y M. H. Steffens. 1986. Edad y crecimiento de *Scomber japonicus* del norte de Chile. *Invest. Pesq. (Chile)* 33:61-76.
- Ahlstrom E. H. 1959. Eggs and larvae of anchovy, jack mackerel and Pacific mackerel. *CalCOFI Rep.* 1: 33-42.
- Alvarez-Borrego S. 1983. Gulf of California. In: *Estuaries and enclosed seas*, B. H. Ketchum, editors. Elsevier, Amsterdam, 427-449 p.
- Alvarez Borrego, S. 2001. The Colorado River Estuary and the Upper Gulf of California, Baja, Mexico. In: U. Seeliger & B. Kjerfve (eds.), *Coastal Marine Ecosystems of Latin America. Ecological Studies 144*, Springer Verlag, Berlín Heidelberg, 360 p
- Anónimo 2003. Anuario Estadístico de Pesca 2001. CONAPESCA-SAGARPA.
- Anonymous 1998. Improving fish stock assessments. National Academy Press. *Committee on fish stock assessment methods, Ocean studies board, Commission on geosciences, environment, and resources, National Research Council.* 177 p
- Arcos Huitrón E. y R. Torres-Villegas. 1990. Ciclo reproductor de la macarela del Pacífico *Scomber japonicus* Houttuyn (Pisces:Scombridae) en Bahía Magdalena, BCS, México. *Inv. Mar. CICIMAR*, 5(1):37-46.
- Badan Dagon A., D. Koblinsky y T. Baumgartner. 1985. Spring and summer in the Gulf of California: observations of surface thermal pattern. *Oceanologica Acta*, 8(1):13-22.
- Bakun A. 1993. The California current, Benguela current, and Southwestern Atlantic shelf ecosystems: A comparative approach to identifying factors regulating biomass yield. In Sherman K., L. M. Alexander, and B. Gold (eds.). *Large Marine Ecosystem-Stress, mitigation and sustainability*. Washington D.C., American Association for the Advancement of Science. 323p.
- Bakun A. 1996. Patterns in the ocean: Ocean processes and marine population dynamics. University of California Sea Grant, San Diego, California, USA, in cooperation with Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, Baja California Sur, México.

Bakun A. y R. Parrish. 1982. Turbulence, transport, and pelagic fish in the California and Peru Current systems. *CalCOFI Rep.* 23:99-112.

Bautista Romero J. J. 1997. Distribución del desove de *Scomber japonicus* y *Trachurus symmetricus* en la corriente de California; patrones generales y su relación con la temperatura y surgencias. *Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur.* La Paz, BCS., México. 55 p. + anexo de figuras.

Beachman T. D. 1983. Variability in median size and age at sexual maturity of Atlantic cod, *Gadus morhua*, on the Scotian shelf in the northwest Atlantic Ocean. *Fish. Bull.* 81:303-312.

Begg G. A. y J. R. Waldman. 1999. An holistic approach to fish stock identification. *Fish. Res.* 43: 35-44.

Begg G. A. 1998. A review of stock identification of haddock, *Melanogrammus aeglefinus*, in the Northwest Atlantic Ocean. *Marine Fishery Review*, 60(4):1-15.

Begg G. A., A. H. Jonathan, y D. D. Sheehan. 1999. The role of life history parameters as indicators of stock structure. *Fish. Res.* 43:141-163.

Belvaev V. A., V.B. Darniskskiy, y S. Yu Shershenkov. 2002. Dynamic processes in the fish community of the Japan sea epipelagial. *Abstract. Pisces XI annual meeting. 2002. Comparison of the productivity of marginal seas with emphasis on the Western Pacific (Japan/East sea, Yelow sea, and East China) with a focus in small pelagic.* 2002 October 18-26.

Belvaev V. A. y S. Yu. Shershenkov 2002. Abundance dynamic of Japanese mackerel in the Japan Sea. *Abstract. Pisces XI annual meeting. 2002. Comparison of the productivity of marginal seas with emphasis on the Western Pacific (Japan/East sea, Yelow sea, and East China) with a focus in small pelagic.* 2002 October 18-26.

Blaxter J. H. C. y J. R. Hunter. 1982. The biology of the clupeoid fishes. *Advances in Marine Biology* , 20: 1-223.

Bograd, S. J., T. K. Chereskin, y D. Roemmich. 2001. Transport of mass, heat, salt and nutrients in the southern California current system: annual cycle and interannual variability. *J. Geophys. Res.*, 106: 9255-9275

Brett J. 1964. The respiratory metabolism and swimming performance of young sockey salmon. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 21(5):1183-1226.

Brett R. G. and T. D. Groves. 1979. Physiological energetic. Pag. 279-352. In: W.S. Hoar, D. J. Randall and J. R. Brett, editors. *Fish physiology, volume 8.* Academic Press, New York.

- Campana S. E. and J. D. Neilson. 1985. Microstructure of fish otoliths. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42:1014-1032.
- Campana S. E. y C. M. Jones. 1992. Analysis of otolith microstructure data. In: D.K. Stevenson and S. E. Campana (ed.). Otolith microstructure examination and analysis, pp. 73-100. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 117.
- Castello L. y J. P. Castello. 2003. Anchovy stocks (*Engraulis anchovita*) and larval growth in the SW Atlantic. *Fish. Res.* 59:409-421.
- Castro-Hernández J. J. y A. T. Ortega-Santana. 2000. Synopsis of biological data on the chub mackerel (*Scomber japonicus* Houttuyn 1782). *FAO Fisheries Synopsis. No. 157*. Rome, FAO. 77 p.
- Castro R., M. Lavin y P. Ripa. 1994. Seasonal heat balance in the Gulf of California. *J. Geophys. Res.* 99:3249-3261.
- Castro R., A. S. Mascarenhas, R. Durazo, y C. Collins. 2000. Variación estacional de la temperatura y salinidad en la entrada del Golfo de California, México. *Ciencias Marinas*, 26(4): 561-583.
- Cisneros-Mata M. A. 1987. Biología reproductiva de sardina Monterrey en la costa occidental de Baja California Sur y costa de Sonora. En: M. Ramírez (Ed.) *Memorias del Simposium sobre Investigación en Biología y Oceanografía Pesquera en México*. SEP, CICIMAR, CONACyT, La Paz, Baja California Sur, 48-54 p.
- Cisneros-Mata M. A., M. Nevárez-Martínez, G. López Montemayor, P. Santos y R. Morales. 1991. Pesquería de sardina en el Golfo de California 1988/89- 1989/90. *Informe Técnico. Instituto Nacional de La Pesca (Méx.). Centro Regional de Investigación Pesquera Guaymas, (Guaymas, Son)*, 79 p.
- Cisneros-Mata M. A., M. Nevárez-Martínez, M. A. Martínez Zavala, M. L. Anguiano-Carrasco, J. P. Santos Molina, A. R. Godínez Cota y G. Montemayor-López. 1997. Diagnóstico de la pesquería de pelágicos menores del Golfo de California de 1991/92 a 1995/96. *Informe Técnico, SEMARNAP, Instituto Nacional de La Pesca, Centro Regional de Investigación Pesquera Guaymas, (Guaymas, Son)*, 59 p.
- Cisneros-Mata M. A., M. Nevárez-Martínez, y G. Hamman 1995. The rise and fall of the pacific sardine *Sardinops sagax caeruleus* Girard in the Gulf of California. *CalCOFI Rep.* 36: 136-143.
- Collette B.B. 1995. Scombridae. Atunes, bacoretas, bonitos, caballas, estorninos, melva, p. 1521-1543. In W. Fischer, F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K. E. Carpenter y V. Niem (eds.) *Guía FAO para Identificación de Especies para lo Fines de la Pesca. Pacífico Centro-Oriental. 3 Vols. FAO, Rome*.

- Collette B. B. y C. E. Nauen. 1983. FAO species catalogue. Vol. 2. Scombrids of the world. An annotated y illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date. *FAO Fish. Synop.* 2(125). 137 p.
- Collignon J. 1991. Ecologie et biologie marines. Introduction à l'halieutique. *Editorial Masson*, Paris. 298 p.
- Conover D. O. y T. M. C. Present. 1990. Countergradient variation in growth rate: compensation for length of the growing season among Atlantic silversides from different latitudes. *Oecologia* 83:316-324.
- Conover D. O., J. J. Brown y A. Ehtisham. 1997. Countergradient variation in growth of young striped bass *Morone saxatilis* from different latitudes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54:2401-2409.
- Cotero Altamirano E. 2000. Dinámica de la población de anchoveta *Engraulis mordax* del Golfo de California. *Tesis de Doctorado. Centro de investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada*, Ensenada, BC. México. 121 p.
- Cowen R. K., J. A. Hare, y M. P. Fahay. 1993. Beyond hydrography: can physical processes explain larval fish assemblages within the Middle Atlantic Bight?. *Bull. Mar. Sci.* 53:567-587.
- Crawford R. J. y G. de Villiers 1984. Chub mackerel *Scomber japonicus* in the south-east Atlantic – its seasonal distribution and evidence of a powerful 1977 year-class. *South African Journal of Marine Science*, 2:49-61.
- Csirke J. 1988. Small shoaling pelagic fish stock. 271-302 p. In: J. A. Gulland Ed. *Fish population dynamics (second edition)*. John Wiley & Sons Ltd.
- Cushing D. H. 1977. *Fisheries Biology: a study in population dynamics*. Wisconsin Univ. Press, 200 p.
- Cushing D. H. 1990. Plankton production and year-class strength in fish populations: An update of the match-mismatch hypothesis. *Advances in Marine Biology*. 26: 249-294.
- Cury P., A. Bakun, R. J. M. Crawford, A. Jarre, R. A. Quiñones, L. J. Shannon, y H. M. Verheye. 2000. Small pelagics in upwelling systems: patterns of interaction and structural changes in “wasp-waist” ecosystems. *ICES Journal of Marine Science*, 57:603-618.
- Cury P., L. J. Shannon, y Y-J Shin. 2001. The functioning of marine ecosystems. *Reykjavik Conference on Responsible Fisheries in The Marine Ecosystem*, Reykjavik, Iceland, 1-4 October 2001. 1-22 p.
- D'Amour D., J. G. Landry y T. C. Lambert. 1990. Growth of juvenile (0-group) Atlantic mackerel *Scomber scombrus* in the Gulf of St. Lawrence. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47:2212-2218.

Diario Oficial de la Federación (DOF) 16 de mayo de 1994. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994, que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestre, terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial, que establece especificaciones para su protección.

Diario Oficial de la Federación (DOF) 2000, 28 de agosto. Anexo de la Carta Nacional Pesquera. México.

Diario Oficial de la Federación (DOF) 2004, 15 de marzo. Anexo de la Carta Nacional Pesquera. México.

Dickerson T., B. J. Macewicz y J. R. Hunter. 1992. Spawning frequency and batch fecundity of chub mackerel, *Scomber japonicus*, during 1985. *CalCOFI Rep.* 33:130-140.

Douglas M. W., R. A. Maddox, K. Howard, y S. Reyes. 1993. The Mexican monsoon. *J. Climate*, 6:1665-1677.

Durazo, R. y Baumgartner, T., 2002. Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1977-1999. *Prog. Oceanogra.* 54:7-31.

Esqueda-Escárcega G. M. 1995. Spatial and temporal distribution of *Scomber japonicus* larvae in the Sea of Cortez (1984-1988). In: International symposium on middle-size pelagic fish. Bas. C., J.J. Castro & J. M. Lorenzo (Eds.). *Sci. Mar.* 59(3-4):391-397.

Ermakov Y. K. 1996. The features of the biology of the Pacific Mackerel *Scomber japonicus* in the open ocean of the California current zone. *Journal of Ichtiology* 36(1):40-45.

FAO 1995. Code of conduct for responsible fisheries. *FAO, Rome.* 41 p.

FAO 1997. The state of world fisheries and aquaculture. *FAO Fisheries Department*, Rome, Italy. 126 p.

FAO 1999. The state of world fisheries and aquaculture 1998. *FAO*, Rome.

Félix-Uraga R. 1986. Edad, crecimiento y estructura poblacional de *Sardinops sagax caeruleus* en Bahía Magdalena durante 1981 a 1984. *Tesis de maestría. CICIMAR. Instituto Politécnico Nacional*, La Paz, BCS. 103 p.

Félix-Uraga R., R. M. Alvarado-Castillo y R. Carmona-Piña. 1996. The sardine fishery along the Western coast of Baja California, 1981 to 1994. *CalCOFI Rep.* 37:188-192.

Fitch J. E. 1951. Age composition of the southern California catch of Pacific mackerel 1939-40 through 1950-51. *Calif. Dep. Fish and Game, Fish Bull.* 83:73 p.

Fortier L. y C. Quiñónez-Velázquez. 1998. Dependence of survival on growth in larval pollock *Pollachius virens* and haddock *Melanogrammus aeglefinus*: a field study based on individual hatchdates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 174:1-12.

Fry D. 1936. A preliminary summary of the life history of the Pacific mackerel. *Calif. Fish and Game*, 22(1):30-39.

Fry D. y Roedel P. M. 1949. Tagging experiments on the Pacific mackerel (*Pneumatophorus diego*). *Calif. Fish and Game, Fish. Bull.* 73: 64 p.

Geffen J. 1992. Validation of otolith increment deposition rate. In: Stevenson D. K., Campana S.E. (Eds.). Otolith microstructure examination and analysis. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 117: 101-113.

Gluyas-Millán M. G. 1989. Época de reproducción, distribución de tallas y relación peso-longitud de la macarela del litoral de Baja California. *Inv. Marinas CICIMAR*, 4(1):65-72.

Gluyas-Millán M. G. 1990. Edad crecimiento y composición de la captura *Scomber japonicus* de Bahía Vizcaíno durante 1984-1986. *Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marina-IPN*. La Paz, Baja California Sur, México. 83 p.

Gluyas-Millán M. G. y R. Félix-Uraga. 1990. Periodicidad de las marcas de crecimiento en los otolitos de la macarela *Scomber japonicus* (Houttuyn 1782) en Bahía Vizcaíno. *Inv. Mar. CICIMAR*, 5(1):33-36.

Gluyas-Millán M. G. y V. Gómez-Muñoz. 1993. Composición por tallas y edades de la macarela *Scomber japonicus* de Bahía Vizcaíno. *Investigaciones Marinas CICIMAR*, 8(1):33-38.

Gluyas-Millán, M.G.. 1994. Reproducción, edad y talla de primera madurez de la macarela *Scomber japonicus* (Houttuyn, 1872) en Bahía Vizcaíno. *Ciencias Marinas* 20(3):409-419.

Gluyas-Millán, M. G. y C. Quiñónez-Velázquez. 1996. Evidencias de distintos grupos poblacionales de macarela *Scomber japonicus*. *Ciencias Marinas*, 22(3):377-395.

Gluyas-Millán, M. G. y C. Quiñónez-Velázquez. 1997. Age, Growth and Reproduction of mackerel *Scomber japonicus* in the Gulf of California. *Bull. Mar. Sci.* 61(3):837-847.

Gluyas-Millán, M. G., M. Castonguay, y C. Quiñónez Velázquez. 1998. Growth of juvenile Pacific mackerel, *Scomber japonicus* in the Gulf of California. *Sci. Mar.* 62(3):225-231.

Gluyas-Millán M.G, R. Reyes Tisnado, R. Félix-Uraga, F. Guerrero Escobedo, C. Quiñónez Velázquez, y F. N. Melo Barrera. 2003. Pesquería de pelágicos menores en Baja California Sur, 2000-2002. *Informe Técnico. Centro Regional de Investigación Pesquera La Paz-INP-SAGARPA*. 42 p.

- Green-Ruiz Y. y G. Aguirre-Medina. 1992. Estimation of the reproductive biomass of the Pacific mackerel (*Scomber japonicus* Houttuyn 1782) in the Gulf of California (January-February). *Ciencias Marinas* 18:135-149.
- Hamman M. G., T. Baumgartner, y A. Badan-Dangon. 1988. Coupling of the Pacific sardine *Sardinops sagax caeruleus* life cycle with the Gulf of California pelagic environment. *CalCOFI Rep.* 29:102-109.
- Hewitt R. P. 1981. The value of pattern in the distribution of young fish. *Rapp. P.-V. Reun. Cons. Int. Explor. Mer* 178:229-236.
- Holden M. J. y Raitt D. F. 1975. Métodos para investigar los recursos y su aplicación. *Manual de Ciencia Pesquera. Parte 2. FAO*, 123 p.
- Hilborn R. y C. Walters. 1992. *Quantitative Fisheries Stock Assessment. Choice, Dynamics and Uncertainty*. Chapman and Hall, New York, 570 p.
- Holmgren-Urba D. y T. R. Baumgartner. 1993. A 250-year history of pelagic fish abundance from the anaerobic sediments of the central Gulf of California. *CalCOFI Rep.* 34:60-68.
- Hunter J. R. y C. A. Kimbrell. 1980. Early life history of Pacific mackerel, *Scomber japonicus*. *Fish. Bull.* 78 (1):89-101.
- Hunter J. R. y J. R. Zweifel. 1971. Swimming speed, tail beat frequency, tail beat amplitude, and size in jack mackerel *Trachurus symmetricus*, and others fishes. *Fish. Bull.* 69:253-266.
- Ihssen P. E., H. E. Booke, J. M. Casselman, J. M. McGlade, N. R. Payne, y F. M. Utter. 1981. Stock identification: materials and methods. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38:1838-1855.
- Iles T. D. y M. Sinclair. 1982. Atlantic herring: stock discreteness and abundance. *Science* 215, 627-633.
- Jennings S. M. Kaiser y J. Reynolds. 2001. *Marine fishery ecology*. Blackwell Science. 417 p.
- Johnson A. G., W. A. Jr. Fable, M. L. Williams, y L. E. Barger. 1983. Age, growth and mortality of King mackerel *Scomberomorus cavalla*, from the Southeastern United States. *Fish. Bull.* 81(1):97-105.
- Jones C. 1986. Determining age of larval fish with otolith increment technique. *Fish. Bull.* 84(1): 91-103.

- Kendall A. W. Jr. y D. Gordon 1981. Growth rate of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) larvae in the middle Atlantic Bight. *Rapports et Procès-verbaux des Réunions Conseil international pour l'Exploration de la Mer* 178, 337-341.
- Knaggs E. H. y R. G. Parrish. 1973. Maturation and growth of Pacific mackerel, *Scomber japonicus* (Houttuyn). *Calif. Fish and Game*. 59(2): 114-120.
- Kotlyar A. N. y A. A. Abramov. 1982. Some biological properties of Peruvian mackerel, *Scomber japonicus peruanus* (Scombridae). *J. Ichtyol.* 22(6):91-101.
- Kramer D. 1960. Development of eggs and larvae of Pacific mackerel *Scomber japonicus* (Houttuyn) (Northeast Pacific). *Fish. Bull.* 60:393-348.
- Kramer D. 1969. Synopsis of the biological data on the pacific mackerel *Scomber japonicus* Houttuyn (Northeast Pacific). *FAO. Fisheries Synopsis No.* 40. 32 p.
- Kramer D. y P. E. Smith. 1970. Seasonal and geographic characteristics of fishery resources, California current region—IV. Pacific mackerel. *Commer. Fish. Rev.* 32(5): 27-31.
- Lai Han-Lin, V. F. Gallucci, D. R. Gunderson, y R. F. Donnelly. 1996. Age determination in fisheries: methods and applications to stock assessment. 82-178 p. In: V. Gallucci, S. Saila, D. J. Gustafson, B. J. Rothschild. (Eds.). *Stock assessment. Quantitative methods and applications for small-scale fisheries.* CRC Press. Boca Raton, Florida.
- Lasker R. 1978. The relation between oceanographic conditions and larval anchovy food in the California current: identification of factors contributing to recruitment failure. *Rapp. P.-v Reun. Cons. Int. Explor. Mer* 173:212-230.
- Lasker R. 1981. The role of a stable ocean in larval fish survival and subsequent recruitment. Pag. 79-87. In: R. Lasker editor. *Marine fish larvae. Morphology, ecology and relation to fisheries.* University of Washington Press, Seattle and London.
- Larkin P. A. 1996. Concepts and issues in marine ecosystem management. *Review in Fish Biology and Fisheries*, 6: 139-164.
- Lavin M. F., E. Beier, y A. Badán. 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escalas estacional e interanual. Contribución de la oceanografía física en México. *Monogr. No. 3, Unión Geofísica Mexicana*, 139-169.
- Lavenberg R. y J. E. Fitch. 1966. Annotated list of fishes collected by midwater trawl in the Gulf of California, March-April 1964. *Calif. Fish and Game* 52(2):92-110.
- Legget W. y E. Deblois 1994. Recruitment in marine fishes: It is regulated by starvation and predation in the eggs and larval stages?. *Netherlands Journal of Sea Research* 32:119-134.

- Lindstrøm U., Y. Fujise, T. Haug y T. Tamura. 1998. Feeding habits of western North Pacific Minke Whales, *Balaenoptera acutorostrata*, as observed in July-September 1996. *Rep. Int. Whal. Commn.* 48: 463-469.
- Lowry M.S., C.W. Oliver, C. Macky y J.B. Wexler. 1990. Food habits of California sea lions *Zalophus californianus* at San Clemente Island, California, 1981-86. *Fish. Bull.* 88:509-521.
- Lyn R. J. y J. J. Simpson. 1987. The California current system: the seasonal variability of physical characteristics. *J. Geophys. Res.* 92: 12947-12966.
- MacCall A. 1990. Dynamic geograpc of marine fishes populations. *University of Washington Press*, Washington.
- Magnuson J. J. 1978. Locomotion by scombrid fishes: hydromechanics, morphology, and behavior. Pag. 239-313. In: W. S. Hoar and D. J. Randall (eds.). *Fish physiology, volume 7.* *Academic Press*, New York.
- Mallicote D. L. y R. H. Parrish. 1981. Seasonal growth pattern of California stocks of northern anchovy *Engraulis mordax*, Pacific mackerel *Scomber japonicus*, and jack mackerel *Trachurus symmetricus*. *CalCOFI Rep.* 22: 69-81.
- Mangel M. y M. V. Abrahams. 2001. Age and longevity in fish, with considerations of the feroux trout. *Experimental Gerontology*, 36:765-790.
- Martínez Aguilar S. y J. A. de Anda Montañéz. 1990. Estimación de la biomasa reproductora de *Scomber japonicus* Houttuyn, en el Golfo de California (marzo 1981). *Ciencia Pesquera, Instituto Nacional de La Pesca*, (Méx), 7:17-34.
- Martínez-Zavala M. A., M.A. Cisneros-Mata, M. Anguiano-Carrasco, J. P. Santos-Molina, M. O. Nevárez-Martínez, A. Godínez-Cota y G. Montemayor-López. 2000. Diagnósis de la pesquería de pelágicos menores del golfo de California de 1996/97 a 1997/98. *Informe Técnico. SMARNAP, Instituto Nacional de La Pesca, Centro Regional de Investigación Pesquera Guaymas*, Guaymas, Son. México. 52 p.
- Matsuura Y. y R. Hewitt. 1995. Changes in spatial patchiness of pacific mackerel, *Scomber japonicus*, larvae with increasing age and size. *Fish. Bull.* 93:172-178.
- Meekan M. G. y L. Fortier 1996. Selection for fast growth during the larval life of Atlantic cod *Gadus morhua* on the Scotian Shelf. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 137: 25-37
- Mendo, J. A. 1984. Edad, crecimiento y algunos aspectos reproductivos y alimentarios de la caballa (*Scomber japonicus peruanus*). *Bol. Inst. Mar. Peru.* 8:101-156.
- Migoya M. C. 1989. Etude de la croissance des larves de maquereau blue de l'Atlantique (*Scomber scombrus*), à partir de l'examen de la microstructure des otolithes. *M. Sc. Thesis, Université du Québec à Rimouski*, Rimouski, Québec, Canada.

Molina R. E., F. A. Manrique y H. E. Velazco. 1996. Filtering apparatus and feeding of the Pacific mackerel *Scomber japonicus* in the Gulf of California. *CalCOFI Rep.* 37:251-256.

Morales-Nin B. 1988. Crecimiento de *Scomber japonicus* (Houyttun 1872) (Pises: Scombridae) y *Sardinops sagax* (Jenyns 1923) (Pises: Clupeidae) en aguas ecuatorianas. *Inv. Pesq.* (Chile) 52(4):483-500.

Morales-Nin B. 2000. Review of the growth regulation processes of otolith daily increment formation. *Fish. Res.* 46: 53-67.

Moser H. G., E. H. Ahlstrom, D. Kramer y E. Stevens. 1974. Distribution and abundance of fish eggs and larvae in the Gulf of California. *CalCOFI Rep.* 17:112-127.

Moser H. G., R. L. Charter, P. E. Smith, D. A. Ambrose, S. R. Charter, C. A. Meyer, E. M. Sanknop y W. Watson. 1993. Distribution atlas of fish larvae in the California Current region: taxa with 1000 or more total larvae, 1951 through 1984. *CalCOFI Atlas* No. 31, 233 p.

Muck P. y G. Sánchez. 1987. The importance of mackerel and horse mackerel predation for the Peruvian anchoveta stock (a population and feeding model). P. 276-293. In D. Pauly and I. Tsukayama (eds.). *The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystems: Three decades of change, ICLARM and Reviews* 15, 351 p.

Nevárez-Martínez, M. O. 1990. Producción de huevos de la sardina Monterrey *Sardinops sagax caeruleus* en el Golfo de California: una evaluación y crítica. *Tesis de Maestría, CICESE*, Ensenada, BC. México, 144 p.

Nevárez-Martínez, M. O. 2000. Variabilidad de la población de sardina Monterrey *Sardinops caeruleus* en el Golfo de California, México. *Tesis de Doctorado*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN. 103 p.

Nikolsky G. V. 1963. *The ecology of fishes*. 352 p. Academic Press, London and New York.

Nikolsky G. V. 1969. Theory of Fish Population Dynamics as the Biological Background for the Rational Exploitation and Management of Fishery Resources. *Oliver & Boyd; Edinburgh*, 323 p.

Nøttestad L., J. Giske, J. Chr. Holst, y G. Huse. 1999. A length-based hypothesis for feeding migrations in pelagic fish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56 (Suppl. 1):26-34.

Olvera Limas R. M. 1975. Distribución de larvas de macarela *Scomber japonicus* (Houttyun) en las areas sur y centro del Golfo de California, en abril de 1972. *Instituto Nacional de La Pesca. INP/SC.* 12:15 p.

- Overholtz W. J. 1989. Density dependent growth in the northwest Atlantic stock of Atlantic mackerel. *J. Northwest Atl. Fish. Sci.* 9: 127-135.
- Overholtz W. J., S. Murawski y W. Maichaels. 1991. Impact of compensatory responses on assessment advice for the Northwest Atlantic mackerel stock. *Fish. Bull.* 89: 117-128.
- Panella G. 1971. Fish otoliths: daily growth layers and periodical patterns. *Science*, 173:1124-1127.
- Panella G. 1974. Otolith growth patterns: an aid in age determination in temperate and tropical fishes. In: *Bagenal T.B. (Ed.), the ageing of fish, pp.28-39. Old working Surrey, England.*
- Parrish R. H. 1973. Exploitation and recruitment of Pacific mackerel *Scomber japonicus*, in the Northeastern Pacific. *CalCOFI Rep.* 17:136-140.
- Parrish R. H. y MacCall A. 1978. Climatic variation and exploitation in the Pacific mackerel fishery. *Fish Bull.* 167: 109 p.
- Parrish R. H., D. L. Mallicoate y F. Mais. 1985. Regional variation in the growth and age composition of northern anchovy, *Engraulis mordax*. *Fish. Bull.* 83:483-496.
- Peterman R. M., M. J. Bradford, N. Lo, y R. Methot. 1988. Contribution of early life stages to interannual variability in recruitment of northern anchovy *Engraulis mordax*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45:8-16.
- Pinkas L. 1962. Bluefin tuna food habits. p.47-63. In L. Pinkas, M. S. Oliphant, and I. L. K. Iverson (eds.). Food habits of Albacore, Bluefin tuna, and Bonito in California waters. *Fish. Bull.* 152.
- Quiñónez-Velázquez C. 1997. Survie relative et trajectoires de croissance de la ponte à la métamorphose chez la gorbege *Pollachius virens* et l'aiglefin *Melanogrammus aeglefinus* du plateau Néo-Écossais. 136 p. *Thèse Philosophiae Doctor (Ph.D.). Université Laval, Québec, Canada.*
- Quiñónez-Velázquez C., M. Nevárez Martínez y M. G. Gluyas-Millán. 2000. Growth and hatching dates of juvenile pacific sardine *Sardinops ceruleus* in the Gulf of California. *Fish. Res.* 48: 99-106.
- Radovich J. 1961. Relationships of some marine organisms of the northeast Pacific to water temperature particularly during 1957 through 1959. *Calif. Dept. Fish and Game, Fish. Bull.* 112: 62 p.
- Ramp, S. R., McClean, J. L., Collins, C. A., Semtner, A. J. y Hays, K. A. S., 1997. Observations and modeling of the 1990-1992 El Niño signal off Central California. *J. Geophys. Res.*, 102: 5553-5582.

Reznick D. N., H. Bryga, J. A. Endler. 1990. Experimentally induced life-history evolution in a natural population. *Nature* 346: 357-359.

Ricker W. E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish population. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, 191:382 p.

Ricker W. E. 1979. Growth rates and models. In: Hoar W. S., D. J. Randall and J. R. Brett (ed.). *Fish Physiology*. Vol. VIII, Bioenergetics and Growth, pp. 678-743. *Academic Press*, New York.

Ricker, W. E. 1981. Changes in the average size and age of pacific salmon. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 1636-1656.

Robles J. M. y S. G. Marinone. 1987. Seasonal and interannual thermohaline variability in the Guaymas Basin of the Gulf of California. *Cont. Shelf Res.* 7:715-733.

Roden G. I. 1964. Oceanographic aspects of the Gulf of California. In: T. H. van Andel and G.G. Shore (eds.). *Amer. Ass. Petrol. Geol. Mem.* 3:30-58.

Roden G. I. 1971. Aspects of the transition zone in the Northeastern Pacific. *J. Geoph. Res.*, 76: 3462-3475.

Roedel P. 1952. A racial study of the Pacific mackerel *Pneumatophorus diego*. *Calif. Dept. Fish. And Game, Fish Bull.* 84: 53 p.

Rosas-Cota A. 1977. Corrientes geostróficas en el Golfo de California en la superficie y a 200 m, durante las estaciones de invierno y verano. *CalCOFI Rep.* 19:89-96.

Rothschild B. J. y T. R. Osborn. 1988. The effects of turbulence on planktonic contact rates. *J. Plankton Res.* 10:465-474.

Serchuk F. M., M. D. Grosslein, R. G. Lough, D.G. Mountain, y L. O'Brien. 1994. Fishery and environmental factors affecting trends and fluctuations in the Georges Bank and Gulf of Maine Atlantic cod stocks: an overview. *ICES mar. Sci. Symp.* 198. 77-109.

Silva M. A. 1999. Diet of common dolphins, *Delphinus delphis*, off the Portuguese continental coast. *J. Mar. Biol. Ass. UK*, 79:531-540

Simard P., M. Castonguay, D. D'amour y P. Magnan. 1992. Growth comparison between juvenile Atlantic mackerel *Scomber scombrus* from the two spawning groups of the Northwest Atlantic. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49: 2242-2248.

Sissenwine, M.P. 1984. Why do fish populations vary?. p. 59-94. In: May, R.M., (ed). *Exploitation of marine communities*. New York, NY: Springer-Verlag; p..

Smale M.J. 1991. Occurrence and feeding of three shark species, *Carcharinus brachyurus*, *C. obscurus* and *Sphyrna zygaena*, on the Eastern Cape coast of South Africa. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 11:31-42.

Sokolov V. 1974. Investigaciones biológico pesqueras de los peces pelágicos del Golfo de California. *CalCOFI Rep.* 17: 92-96.

Sokolov V. y M. Wong Ríos. 1972. Informe científico de las investigaciones sobre peces pelágicos del Golfo de California, (sardina, crinuda, y anchoveta) en 1970. *México/PNUD/FAO. Inf. Cient.* 1: 31 p.

Soutar A. y J. D. Isaacs. 1969. History of fish populations inferred from fish scales in anaerobic sediments off California. *CalCOFI Rep.* 13:63-70.

Sparre P., E. Ursin, y S. C. Venema. 1989. Introduction to tropical fish stock assessment. Part I Manual. *FAO Fisheries Technical Paper No. 306.1.* Rome, FAO. 337 p.

Sterns S. C. 1992. *The evolution of life history.* Oxford University press, Oxford.

Velarde E., M. S. Tordecillas, L. Vieyra y R. Esquivel. 1994. Seabirds as indicators of important fish populations in the Gulf of California. *CalCOFI Rep.* Vol.35:137-143.

Waldman J. R. 1999. The importance of comparative studies in stock analysis. *Fish. Res.* 43: 237-246.

Walters, C. J. y F. Juanes. 1993. Recruitment limitation as a consequence of natural selection for use of restricted feeding habitats and predation risk taking by juvenile fish. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* 50:2058-2070.

Ware D. 1978. Bioenergetics of pelagic fish: Theoretical change in swimming speed and ration with body size. *J. Fish. Board Can.* 35:220-228.

Ware D. y T. C. Lambert 1985. Early life history of Atlantic mackerel *Scomber scombrus* in the southern Gulf of St. Lawrence. *Can. J. Fish. Aqua. Sci.*42, 577-592.

Williams T. y B. C. Bedford. 1974. The use of otoliths for age determination. Pages 114-123. In: T. B. Bagenal (Ed). *The proceedings of an international symposium on the ageing of fish.* Unwin Brothers Ltd. Surrey, England.

Wilkinson L. 1990. SYSTAT: The system for statistics. Evanson, II. SUSTAT, Inc.

Yoshida H.O. 1980. Synopsis of biological data on bonitos of the genus *Sarda*. *NOAA Tech. Rep. NMFS Circ. 432. FAO Fish. Synop.* No. 118. 50 p.

REFERENCIAS ELECTRONICAS

www.fishbase.org/Summary/SpeciesSummary.cfm?genusname=Scomber&speciesname=japonicus

www.globefish.org/publications/reserchprogram/vols/vol64.htm