

**Centro de Investigación Científica y de
Educación Superior de Ensenada**



**RELACION ENTRE LA TEMPERATURA, EL
CRECIMIENTO Y LA ABUNDANCIA DE LA SARDINA
Sardinops caeruleus (GIRARD, 1856) EN BAHIA
MAGDALENA, BAJACALIFORNIA SUR, MEXICO**

**TESIS
MAESTRIA EN CIENCIAS**

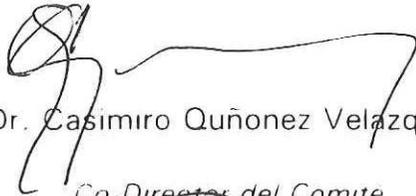
OSCAR ARMANDO GONZALEZ OCHOA

Ensenada, Baja California, Mexico. Agosto 2001.

TESIS DEFENDIDA POR

Oscar Armando González Ochoa

Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ



Dr. Casimiro Quñonez Velazquez

Co-Director del Comité



Dr. Jorge Adrián Rosales Casán

Co-Director del Comité



Dr. Oscar Sosa Nishizaki

Miembro del Comité



Dr. Alejandro Francisco Parés Sierra

Miembro del Comité



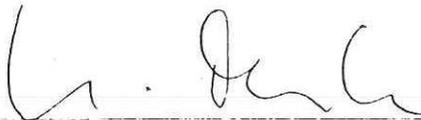
M.C. Vicente Ferreira Bartrina

Miembro del Comité



M.C. Roberto Félix Uruga

Miembro del Comité



Dr. Helmut Maske Rubach

*Jefe del Departamento de
Ecología*



Dr. Luis Alberto Delgado Argote

Director de Estudios de Posgrado

29 de agosto del 2001

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE
ENSENADA

DIVISIÓN DE OCEANOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA

RELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA, EL CRECIMIENTO Y LA ABUNDANCIA
DE LA SARDINA *Sardinops caeruleus* (GIRARD, 1856) EN BAHÍA MAGDALENA,
BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO.

TESIS

Que para cubrir parcialmente los requisitos

necesarios para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta

OSCAR ARMANDO GONZÁLEZ OCHOA

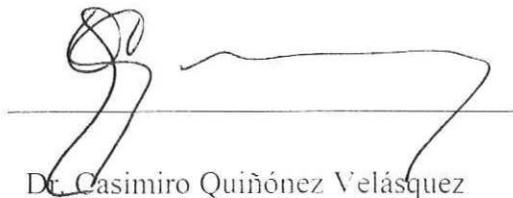
Ensenada, Baja California, México

Agosto 2001

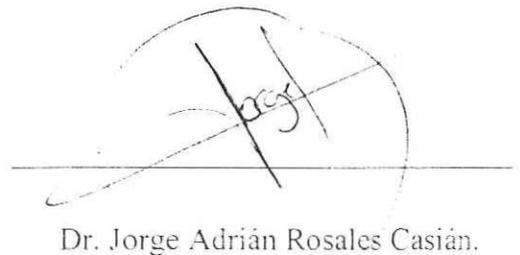
RESUMEN de la tesis de OSCAR ARMANDO GONZALEZ OCHOA, presentada como requisito parcial, para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en ECOLOGÍA MARINA. Ensenada, Baja California, México. Agosto del 2001.

RELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA, EL CRECIMIENTO Y LA ABUNDANCIA DE LA SARDINA *Sardinops caeruleus* (GIRARD, 1856) EN BAHÍA MAGDALENA, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO.

Aprobado por:



Dr. Casimiro Quiñónez Velásquez



Dr. Jorge Adrián Rosales Casán.

Se analizó la relación entre la temperatura superficial del mar, el crecimiento individual y la abundancia relativa de las clases anuales de la sardina Monterrey *Sardinops caeruleus* en Bahía Magdalena, Baja California Sur, durante 1981 a 1996. Se recolectaron 12,221 peces de la captura comercial para la determinación de la edad, mediante la lectura de incrementos anuales de crecimiento en los otolitos. Un incremento de crecimiento está representado por una zona opaca y otra hialina las cuales se depositan en un año. La talla promedio por edad se estimó por retrocálculo usando la relación entre el radio del otolito y la talla del pez de acuerdo al procedimiento de Fraser-Lee. El tamaño de las cohortes (1981-1993) se estimó por análisis de población virtual y se determinó la relación que guardan con la temperatura superficial del mar y con la talla a la edad 1-. Las sardinias de las clases anuales de 1985 a 1988 crecieron más durante el primer año que las de clases anuales anteriores y posteriores, este crecimiento se relacionó de manera inversa con la abundancia relativa. Los cambios en abundancia relativa de las clases anuales fueron descritos adecuadamente ($R^2=0.94$) por un modelo exponencial, que incorpora la talla de la sardina al año de edad, la temperatura superficial del mar durante primavera-verano (primeros seis meses de vida) y el número de individuos a la edad 1.

Palabras clave: *Sardinops caeruleus*, temperatura, abundancia de la clase anual.

ABSTRACT of the Thesis of OSCAR ARMANDO GONZALEZ OCHOA, present the as partial requirement to obtain the MASTER IN SCIENCIAS grade in MARINE ECOLOGY. Ensenada, Baja California, Mexico. August 2001.

RELATIONSHIP BETWEEN TEMPERATURE, GROWTH and ABUNDANCE OF THE PACIFIC SARDINE *Sardinops caeruleus* (GIRARD, 1856) IN BAHIA MAGDALENA, BAJA CALIFORNIA SUR, MEXICO.

The relation between sea surface temperature, growth and year class relative abundance of the Pacific sardine *Sardinops caeruleus* in Bahía Magdalena, Baja California Sur, from 1981 to 1996 was analyzed. 12,221 pairs of otoliths for age determination through the growth increments reading were collected. A growth increment is represented by an opaque and a translucent zone, both deposited in a year. The average length by age was back calculated using the relation between otolith radius and fish length according to Fraser-Lee procedure. Year class strength (1981-1993) was estimated using virtual populations analysis, and was estimated the relation with the sea surface temperature and the 1-year old standard length. The sardines of 1985 to 1988 year classes grew more during your first year that those of previous and later year classes, and this showed an inverse relation to year class relative abundance. The variation of year classes relative abundance was described adequately ($R^2=0.94$) by an exponential model that includes the sardine length at one year old, sea surface temperature during the juvenile life period (spring-summer) and the number at one-year-old-fish.

Key words: *Sardinops caeruleus*, temperature, year class strength

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis a mis padres, Rubén y Graciela y mis Hermanos, Judith y Héctor quienes con su comprensión, entusiasmo y consejos, me han infundido y confianza para seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer de manera muy especial a dos personas:

El Dr. Casimiro Quiñónez Velázquez, investigador de CICIMAR, por su excelente disposición al proporcionarme los datos pertinentes, asesoría y dirección en el desarrollo y conclusión de esta tesis. Su ayuda apareció para mí en un incierto y difícil momento de mi estancia en el postgrado. ¡Muchas gracias Casimiro!

El Dr. Oscar Sosa Nishizaki, investigador de CICESE, quien desde un principio mantuvo la disposición de apoyarme de diversas maneras. Circunstancias desfavorables, no fueron suficientes para que obstaculizar su desinteresada ayuda cuando la solicité. Su atención fue siempre entusiasta, con el trato de camaradería que le caracteriza. ¡Muchas gracias Oscar!

A los integrantes de mi comité: M. en C. Vicente Ferreira Bartrina, Dr. Casimiro Quiñónez Velásquez, Dr. Oscar Sosa Nishizaki, Dr. Alejandro Pares Sierra, y M. en C. Roberto Félix Uruga y Dr. Jorge Adrián Rosales Casián

Quiero hacer patentes también mis agradecimientos a la M. en C. Guadalupe Minerva Torres Alfaro y el Biol. Marino Armando Hernández López, del Laboratorio de Edad y Crecimiento de CICIMAR por su paciencia durante mi entrenamiento en el proceso de lectura y medición de otolitos de sardina. Al CICIMAR por el financiamiento desde 1981 al programa de recolecta de material biológico de la sardina Monterrey en Bahía Magdalena, lo que permitió acceder a los datos para el desarrollo del presente trabajo de tesis.

Al Océan. César Octavio Almeda Jáuregui, del departamento de Ecología de CICESE, por su valioso auxilio en el manejo de paquetes y programas estadísticos, no sólo durante el desarrollo de la presente tesis sino a través de todo el postgrado.

A mis compañeros de clase y amigos Juan Antonio y Kassandra a Juan Carlos y Mónica por su compañía, amistad y apoyo; a Julio, a Loira.

A Laura con quien compartí muy felices experiencias en los penúltimos momentos de mi estancia en en CICESE.

Al personal de la biblioteca de CICESE, Dolores Sarracino Ramírez, Guadalupe Morales Carrillo y Cecilia González. Se mostraron siempre afables en su trato y dispuestas a auxiliarme de manera expedita en la búsqueda y adquisición de información necesaria para mi formación.

Al Ing. José Ma. Domínguez y el Téc. Fco. Javier Ponce Isguerra, de la Sección de Apoyo Gráfico, de la Div. de Oceanología por su valiosa ayuda en la edición de mapas y figuras.

Al Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE).

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada.

CONTENIDO

Lista de figuras.....	8
Lista de tablas.....	10
I. Introducción	1
1. Objetivo General	4
2. Objetivos Particulares	4
II. Antecedentes	5
1. Biología de la especie.....	5
2. La edad y crecimiento de peces.	6
3. Pesquería de sardina en California y Baja California.	9
4. Reclutamiento.	12
5. Área de estudio.....	18
III. Materiales y métodos	21
1. Recolectas	21
2. Determinación y validación de la edad.	21
3. Retrocálculo y crecimiento.	22
4. Tamaño de la clase anual	23
5. Relación entre el tamaño de la clase anual con la temperatura y el crecimiento.....	24
IV. Resultados	26
V. DISCUSIÓN	38
1. Recolectas	38

2. Validación de la edad	39
3. Retrocálculo	41
4. Análisis de Población Virtual.....	43
5. Tamaño de la clase anual, temperatura y crecimiento	44
VI. Conclusiones	50
VII. Literatura citada	51

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Ubicación geográfica de Bahía Magdalena en la costa occidental de Baja California Sur. Se señalan los puertos de descarga de sardina <i>S. caeruleus</i>	20
2. Esquema de un otolito de sardina <i>S. caeruleus</i> que muestra el núcleo, las bandas de crecimiento opacas, translúcidas, el radio total del otolito (RO) y los radios a cada banda de crecimiento (R_i).	24
3. Micrografía de un otolito de sardina <i>S. caeruleus</i> . Se indican el núcleo (triángulo), las bandas opacas (bandas blancas) y translúcidas (bandas oscuras indicadas por flechas). El otolito perteneció a una hembra de 198 mm de LP, del grupo de edad 5 terminado en translúcido (5T).	27
4. Proporción mensual de otolitos con borde opaco de sardina <i>S. caeruleus</i> en Bahía Magdalena. Se presentan los años del estudio mejor representados en los distintos meses.....	28
5. Año tipo de la proporción mensual de otolitos con borde opaco y de individuos sexualmente maduros de sardina <i>S. caeruleus</i> en Bahía Magdalena. También se muestra la temperatura superficial del océano para el período de estudio obtenida de la CIAT y COADS de 1981 a 1996.....	28
6. Relación entre el radio del otolito y la longitud patrón de la sardina <i>S. caeruleus</i> en Bahía Magdalena	31

7 . Variación interanual del tamaño de la clase anual estimada a partir de la matriz estructurada por edades de la captura y por Análisis de Población Virtual. Los valores del eje de las ordenadas se presentan en logarítmica.....	33
8. Relación entre el tamaño de la clase anual estimada por Análisis de Población Virtual y la longitud patrón de sardina <i>S. caeruleus</i> en Bahía Magdalena.	34
9. Relación entre el tamaño de la clase anual estimada a partir de la matriz estructurada por edades de la captura y la longitud patrón de sardina <i>S. caeruleus</i> en Bahía Magdalena.	35
10. Relación entre la temperatura superficial del océano y el tamaño de la clase anual estimada por Análisis de Población Virtual.	35
11. Relación entre la temperatura superficial del océano y el tamaño de la clase anual estimada a partir de la matriz estructurada por edades de la captura.....	36
12. Variación anual del tamaño de la clase anual de la sardina <i>S caeruleus</i>	37

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
I. Número de individuos de sardina <i>S. caeruleus</i> recolectados por mes y año en la muestra biológica.	27
II. Número de individuos por clase anual encontrados a partir de las determinaciones de edad. Se muestra también el máximo y mínimo de las edades, el radio del otolito y la longitud patrón.	30
III. Promedios de la longitud patrón retrocalculada por grupo de edad hasta los 3.5 años a intervalos de 0.5 años.	31
IV. Análisis de varianza de los promedios de la longitud patrón retrocalculadas entre los diferentes grupos de edad de la sardina <i>S. caeruleus</i> en Bahía Magdalena.	32

**RELACION ENTRE EL CRECIMIENTO, LA TEMPERATURA Y LA
ABUNDANCIA DE LA SARDINA *Sardinops caeruleus* (GIRARD 1854) EN BAHIA
MAGDALENA, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO.**

I. INTRODUCCIÓN

Las poblaciones de peces pelágicos menores soportan algunas de las pesquerías más importantes a nivel mundial (FAO 1998, Fischer *et al.* 1995). Las especies que sustentan estas pesquerías se caracterizan por presentar grandes fluctuaciones interanuales en sus abundancias (Jacobson y MacCall 1995). Estos cambios en abundancia se han observado en todas las regiones donde se capturan: Pacífico Nororiental, Pacífico Oeste, Pacífico Sudeste, Pacífico Sudaustraliano y Atlántico Sudeste (Schwartzlose *et al.* 1999), lugares que se caracterizan por ser zonas de surgencias altamente productivas (Bakun 1985).

La pesquería de sardina en E. U. A. tuvo incrementos sostenidos desde sus inicios en 1919 (Radovich 1982) alcanzando el máximo de capturas en 1936, con 800,000 t (Barnes *et al.* 1992). En los años 1944-45 la captura disminuye a niveles muy bajos y precisamente en esos años comienza la pesquería en México, en el Pacífico de Baja California. Hacia los años 1960, las capturas declinan en el Pacífico y la flota se desplaza al Golfo de California, (Lluch-Belda *et al.* 1986). En años recientes, las poblaciones se han incrementado de manera consistente, tanto en Baja California como en California (Smith *et al.* 1992, Barnes *et al.* 1992). Actualmente la producción pesquera de sardina, comprende más del 25 % (alrededor de 400,000 t año⁻¹) de la producción pesquera nacional, y se

utiliza tanto para consumo humano directo como indirecto (sardina industrializada) (Anónimo 1999). En Bahía Magdalena, se capturan un promedio de 20,000 t anuales (Félix-Uraga *et al.* 1996) y para el año 2000 se obtuvo el máximo registro histórico superando las 40,000 t.

Con frecuencia se pensó en que las fuertes variaciones en abundancias se debían a la sobreexplotación. Sin embargo, se ha sugerido que una porción importante de éstas variaciones se debe a las condiciones climáticas (Lluch-Belda *et al.* 1991). El análisis paleoceanográfico de sedimentos laminados en cuencas anóxicas, indican que las fluctuaciones son anteriores al inicio de la explotación pesquera (Baumgartener *et al.* 1992).

Entre las causas responsables de estas variaciones se han considerado altibajos en el reclutamiento, entendido como la porción de juveniles que alcanzan una talla en la que ingresan al efectivo reproductor de la población (Bakun 1985). Tanto el ambiente biótico como el abiótico, influyen en diversa manera en el desarrollo de los organismos y por ende en su supervivencia (Bakun 1985, Houde 1987). Se ha señalado a la temperatura como responsable de estas variaciones (Barnes *et al.* 1992, Böhling *et al.* 1991) puesto que modifica las tasas metabólicas y por tanto acelera o retrasa el crecimiento (Cushing 1995). Esto a su vez afecta la intensidad del reclutamiento al modificar las tasas de supervivencia y dando lugar a distintas abundancias de las clases anuales (Jobling 1995, Smith *et al.* 1992, Campana 1996). Un crecimiento acelerado durante los estadios tempranos del desarrollo, reduce el tiempo de exposición a los depredadores y aumenta la habilidad para capturar alimento (Shepherd y Cushing 1980). La duración de los estadios del desarrollo

previos al reclutamiento, se ha sugerido como una variable que influye en gran medida la supervivencia y por ende a la abundancia de la población adulta de la sardina (Butler *et al.* 1993, Martínez-Cuapio 1997).

El patrón de crecimiento de los peces puede estudiarse a través de varios métodos: a) por observación directa cultivando individuos en estanques experimentales y observando el aumento en tamaño; b) por marcado y recaptura y c) con el retrocálculo de tallas a una edad pretérita a partir del crecimiento de sus estructuras osificadas (Erhardt 1981, Weatherley y Gill 1989)

Los estudios en poblaciones de peces asociados con la determinación de la edad y crecimiento son de importancia primordial en la investigación biológico-pesquera. Se encuentran vinculados a uno o varios de los siguientes aspectos: la determinación de tallas de primera madurez sexual y frecuencia reproductiva (Morales-Nin 1992); la construcción de tablas talla-edad; la estimación de parámetros de crecimiento, usados como base de otros modelos (ejem. rendimiento óptimo) y el estudio de mecanismos compensatorios anatómo-fisiológicos que fundamentan el crecimiento (Pauly 1987).

La edad y el crecimiento de la sardina ha sido determinada por medio de la lectura de sus otolitos, tanto utilizando marcas depositadas anualmente (Félix-Uraga y Ramírez-Rodríguez 1989, Félix-Uraga 1990) como con marcas diarias (Barnes y Foreman 1994, Martínez-Cuapio 1997, Quiñonez-Velázquez *et al.* 2000).

Entonces, las diferencias observadas en el crecimiento podrían originar cambios en el reclutamiento y así, la identificación y posible descripción de la relación entre este

último y una variable ambiental como la temperatura puede ser de gran utilidad para entender las fluctuaciones de las abundancias de las poblaciones de sardina.

1. Objetivo General

El presente trabajo de tesis tiene por objetivo evaluar la relación entre la temperatura superficial del mar, el crecimiento individual durante la etapa juvenil y la abundancia relativa de la clase anual de la sardina *Sardinops caeruleus* capturada en Bahía Magdalena, B. C. S.

2. Objetivos Particulares

Estimar la longitud a una edad pretérita a partir de la relación entre el radio del otolito y la longitud de la sardina, por medio del retrocálculo.

Determinar la relación entre la temperatura superficial del mar y la abundancia de la sardina durante su etapa pre-recluta.

Determinar la relación entre el crecimiento y la abundancia de la sardina durante su etapa pre-recluta.

Integrar en una expresión matemática la relación entre la temperatura superficial del mar, el crecimiento pre-recluta y el tamaño de la clase anual de la sardina en Bahía Magdalena.

II. ANTECEDENTES

1. Biología de la especie.

La sardina (*Sardinops caeruleus*) es un pez del orden Clupeiforme, de la Familia Clupeidae. En este estudio se empleó el nombre científico, propuesto por Whitehead y Rodríguez-Sánchez (1995) en su más reciente revisión. Posee un cuerpo delgado, fusiforme y comprimido lateralmente, carece de línea lateral y de escamas en la cabeza. Forma cardúmenes de hasta 10 millones de individuos (Fischer *et al.* 1995). Es una especie pelágica, filtro-alimentadora, que consume diatomeas, copépodos, dinoflagelados y huevos de peces.

La longevidad máxima reportada de la sardina es de once años y comúnmente no rebasa los 300 mm de longitud total (Butler *et al.* 1993), aunque se han reportado tallas de hasta 410 mm (Serra y Tsukayama 1988). La primera madurez sexual ocurre de uno a dos años de edad y a una longitud patrón promedio de 160 mm (Macewicz *et al.* 1996). El ciclo de reproducción presenta desoves parciales por la maduración asincrónica de los ovocitos (Torres *et al.* 1986) y la fertilización es externa (Serra y Tsukayama 1988). El desove ocurre durante casi todo el año en mar abierto, con máximos en invierno y verano (Hernández-Vázquez 1994).

Los huevos son esféricos con diámetro promedio de 1.7 mm, y la duración del desarrollo embrionario es inversamente proporcional a la temperatura (Serra y Tsukayama 1988). La eclosión ocurre a los tres días a una temperatura de 15° C y las larvas al nacer tienen una longitud promedio de 3.5 mm. Las larvas conservan el saco vitelino por un

período de cuatro a siete días (Lasker 1964). La alimentación se inicia cuando las larvas alcanzan una longitud aproximada de 4.5 mm y la metamorfosis ocurre a los 25 mm. La apariencia de adulto la adquieren a los 40 mm (Torres-Orozco 1991).

Las sardinas del género *Sardinops* se distribuyen y capturan frente a las costas de Sudáfrica-Namibia en la Corriente de Benguela; Australia-Nueva Zelanda en la Corriente Australiana del Este y del Oeste; Chile-Perú en la Corriente de Humbolt; México-California en la Corriente de California y Golfo de California y en Japón-Rusia en la Corriente de Kuroshio (Parrish *et al.* 1989, Schwartzlose *et al.* 1999). Estas poblaciones están sujetas a un relativo aislamiento geográfico (Grant y Leslie 1996) y sus ambientes se caracterizan por ser zonas de surgencias altamente productivas (Bakun 1985).

La sardina presenta desplazamientos estacionales e interanuales. Los primeros se refieren a los procesos reproductivos de cada año, en tanto que los segundos consisten en repliegues o expansiones de sus áreas de distribución en respuesta a fenómenos oceanográficos como El Niño (Luch-Belda *et al.* 1992). Las migraciones pueden ser aumentadas o disminuidas de acuerdo a las variaciones en las condiciones ambientales (Lluch-Belda *et al.* 1992). Las poblaciones se caracterizan por cambios muy marcados en sus abundancias para todas las zonas de su distribución mundial (Schwartzlose *et al.* 1999).

2. La edad y crecimiento de peces.

Uno de los aspectos importantes para el estudio de la dinámica poblacional, es conocer la edad de los organismos. Los métodos para estimar la edad se pueden agrupar en directos e indirectos. Los primeros, involucran la observación y análisis de discontinuidades del crecimiento en estructuras duras (como escamas, otolitos, huesos y

espinas) producto de cambios en el metabolismo y su relación con el tiempo en que ocurrieron. Los métodos indirectos, están relacionados con el agrupamiento de individuos de tallas similares que se supone estarían conformando grupos anuales o cohortes, es decir, organismos que tienen aproximadamente la misma edad. El análisis de las modas que se presentan en las distribuciones de frecuencia de tallas, pueden interpretarse como grupos de edad y se conoce como método de Petersen (Erhardt 1981, Weatherley y Gill 1989, Sparre *et al.* 1989).

Los otolitos son parte del oído interno de los peces. Son tres pares y se encuentran alojados en unas cámaras de los canales semicirculares. De éstos, los de mayor tamaño son los *sagitta*. Los otolitos están constituidos por carbonato de calcio en forma de aragonita (materia inorgánica) y una proteína fibrosa llamada otolina (materia orgánica) (Morales-Nin 1992, Erhardt 1981, Gauldie y Nelson 1990). Se forman a manera de capas alternas. Una capa o banda opaca, se forma durante períodos de crecimiento corporal rápido, es ópticamente densa y está constituida por otolina (una proteína fibrosa) y aragonita (sales de CaCO_3); mientras que una banda translúcida se forma durante períodos de lento crecimiento, es de apariencia semi-transparente y está constituida casi en su totalidad por aragonita. Estas se denominan anillos, *annuli*, zonas, bandas, incrementos o marcas de crecimiento y aparecen por lo común anualmente (Jearld 1983, Beckman y Wilson 1995). La primera zona que se forma, al nacer el pez, se llama núcleo y es de apariencia opaca. A continuación se forma una banda translúcida a la que le siguen una serie de opacas y translúcidas alternadas. A medida que el pez envejece las bandas que se van depositando,

son más angostas como resultado de una disminución en la velocidad de crecimiento (Jearld 1983, Casselman 1989).

Los cambios estacionales aunados, a los ciclos de producción influyen en el crecimiento de los peces y en el patrón de formación periódica de las bandas. Si bien en algunas especies de ambientes tropicales, donde las variaciones estacionales son menos marcadas, se ha señalado la poca o ausente definición de las bandas (Manooch 1987, Sparre *et al.* 1989); en muchas otras, se ha comprobado su existencia y utilidad en la determinación de la edad (Manooch 1987, Samuel *et al.* 1987, Weatherley y Gill 1989).

Las bandas o marcas, en algunos casos, pueden aparecer en respuesta a cambios metabólicos individuales y no se forman de manera periódica, originando lo que se conoce como *pseudoannuli*, anillos dobles o falsos. Por esta razón la utilización de cualquier estructura osificada para determinar la edad depende del reconocimiento de un patrón de formación de anillos, el cual pueda asociarse con una escala cronológica regular (Beamish y MacFarland 1983, Jearld 1983, Manooch 1987, Casselman 1989).

Un método utilizado para estimar el crecimiento, es el retrocálculo. Requiere datos de edades determinadas a partir de estructuras óseas y la medición de los incrementos o marcas en dichas estructuras. El procedimiento supone la existencia de una relación proporcional entre el tamaño del pez y el tamaño de la estructura utilizada para determinar la edad. En general se obtiene la medida del radio a cada banda de crecimiento con el supuesto de que no existen irregularidades en la estructura que impidan hacerlo. Entonces, se pueden hacer estimaciones de la longitud a un tiempo o edad pretérita, es decir, el tiempo en que se formó cada banda (Jearld 1983, Casselman 1989).

Entre los métodos para estimar la abundancia relativa de las poblaciones de peces se encuentra el análisis de población virtual (APV) o análisis de cohortes. Originalmente se desarrollaron como técnicas basadas en la edad y que luego se adaptaron a datos de longitud. Requieren el monto de la captura expresado como número de peces. Posteriormente estas capturas se distribuyen en los grupos de edad que las conforman. La representación de estos grupos en las capturas, en realidad se encuentra subestimada puesto que muchos de los organismos han muerto debido a causas naturales y a la pesca. Asignando estimaciones de mortalidad natural (M) y por pesca (F), se pueden hacer cálculos retrospectivos y encontrar el número de peces de una cohorte, es decir, aquellos que sobrevivieron en cada año y finalmente el número de reclutas. La palabra “virtual”, se tomó de la por analogía de “imagen virtual” utilizada en física. La población virtual, es una población que se aproxima a la población que virtualmente o potencialmente existe en el medio (Sparre *et al.* 1989).

3. Pesquería de sardina en California y Baja California.

La pesquería de sardina en el ámbito comercial comenzó a partir de 1919 en la costa del Pacífico de Estados Unidos de América y el sur de Canadá. Tuvo un crecimiento sostenido durante los primeros 16 años alcanzando niveles máximos entre 1932-1938 y se mantuvo estable aproximadamente hasta 1944 con captura promedio de 500,000 t anuales (Radovich 1982)

Se estima que para 1932, en el Pacífico Oriental, existía una biomasa de 3'600,000 t (Murphy 1966) y decayó hasta 6,000 t en 1975. El volumen máximo de captura se registró en 1936, con 800,000 t (Barnes *et al.* 1992). El menor volumen de captura se registró en

1942. La disminución desde 1944-45 ocasionaron el desplazamiento de la flota hacia el sur, con el incremento en los costos de operación por lo que Canadá se retiró de la pesca en 1946 (Radovich 1982). A partir de 1940 comienzan estudios oceanográficos para intentar explicar las causas del colapso de sardina en la Corriente de California (Bernal 1981).

La pesquería de sardina en México, comienza a fines de los años 1940 con la declinación de la pesquería de sardina en California, E. U. A. Inicialmente las capturas se ubican desde Ensenada a Isla Cedros, Baja California y para la década de los 1950 se extiende hasta Bahía Magdalena, Baja California Sur. Durante los años 1960 las capturas decrecen y las plantas procesadoras se trasladan a Guaymas en el Golfo de California, donde el recurso era abundante (Lluch-Belda *et al.* 1986, Cisneros-Mata *et al.* 1987 citado en: Cisneros-Mata 1995). Desde 1980, la población en California y norte de Baja California, se ha incrementado consistentemente, en cerca de $50\% \text{ año}^{-1}$ (Smith *et al.* 1992) hasta alcanzar una biomasa de 340,000 t en 1991 (Barnes *et al.* 1992).

Para el año 1999, la flota sardinera mexicana que opera en el Pacífico, produjo un total de 106,514 t de producto para consumo humano directo (8.28% de la producción pesquera nacional) y 248,126 t para consumo humano indirecto o sardina industrializada (19.3%) (Anónimo 1999). La captura de sardina en Bahía Magdalena ha mostrado una tendencia ascendente desde aproximadamente 5,000 t en 1972 a 15,000 t en 1990. Después de 1990 las capturas han promediado 20,000 t por año. Estos cambios en las capturas fueron relacionados a la abundancia de las clases anuales que se reclutaron a la población explotada (Félix-Uraga *et al.* 1996).

Esta característica de las enormes fluctuaciones en sus capturas es común a las poblaciones de peces pelágicos menores. Por mucho tiempo, se atribuyó a la pesca las fuertes declinaciones en las poblaciones. Sin embargo, existe evidencia de que una porción importante de la misma está asociada a condiciones climáticas (Lluch-Belda *et al.* 1991).

El análisis de las escamas depositadas durante los últimos 2000 años en la cuenca anóxica de Santa Bárbara, California, (Baumgartner *et al.* 1992) y el Golfo de California durante los últimos 250 años (Holmgren y Baumgartner 1993) muestran procesos de contracción y expansión de las abundancias de sardina y anchoveta alternadas en tiempo, en respuesta a cambios climáticos globales.

Se ha sugerido que algunas especies presentan grandes variaciones en sus abundancias en periodos decadales (o ciclos de regímenes) y pueden diferenciarse en dos tipos (Luch-Belda *et al.* 1992). Las especies del tipo I, que incluye a las sardinas, son abundantes a temperaturas oceánicas y atmosféricas relativamente más cálidas. Presentarían dos fases fenotípicas: gregaria y solitaria. Durante la fase gregaria, su abundancia es mayor, adquieren cuerpos más pequeños a la misma edad y capacidad de natación a mayores distancias posiblemente para ocupar nuevas áreas, mayores y más productivas. Son más migratorias (excepto cuando hay barreras térmicas fuertes), se expanden y desplazan rápidamente hacia los polos durante los períodos cálidos cambiando rápidamente sus áreas de reproducción y alimentación. Durante la fase solitaria, se encuentran relativamente restringidas a áreas costeras, son mayores en talla y no migratorias. Las especies del tipo II, que incluye a las anchovetas por ejemplo, serían más abundantes a temperaturas relativamente más frías. No muestran cambios fenotípicos y se

distribuyen de manera más homogénea, contrayendo y expandiendo su área de distribución alrededor de ciertos centros geográficos. Al no migrar tanto, su distribución es más homogénea. Cuando el tipo I declina en número, el tipo II se incrementa rápidamente. Cuando la sardina reemplaza a la anchoveta el primer signo es incremento de sardina. Una reducción en anchoveta se hace aparente hasta después; en cambio cuando la anchoveta reemplaza a la sardina, al parecer ocurre una contracción en la distribución de la sardina.

Estos cambios en las abundancias, quedarían comprendidos en lo que se conoce como cambios decadales o ciclos de régimen, que explicarían las abundancias predominantes de sardina y anchoveta a nivel mundial. A éstas se añaden las variaciones interanuales, contenidas dentro de la variación decadal. La abundancia aumenta o disminuye durante períodos cálidos y fríos respectivamente, lo cual es más notorio durante los eventos El Niño-Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) (Luch-Belda *et al.* 1991).

Lo anterior alude entonces al hecho de que las fluctuaciones de las poblaciones son un fenómeno natural que ocurre de manera independiente de la actividad pesquera (Holmgreen y Baumgartner 1993). Se han buscado causas complementarias a la pesca señalándose la importancia del reclutamiento de organismos inmaduros a la población adulta.

4. Reclutamiento.

Algunos autores consideran que la supervivencia de las postlarvas determina el éxito en el reclutamiento a la población (Butler *et al.* 1993). Sin embargo, otros insisten en que las postlarvas y juveniles tempranos (Martínez-Cuapio 1997, Watanabe *et al.* 1995) y

más probablemente estos últimos sean los que determinan el reclutamiento (Lo *et al.* 1995). Esto propone que la relación entre la supervivencia de peces juveniles y el tamaño de la clase anual o cohorte pudiera ser la fuente principal de los cambios interanuales de la abundancia en poblaciones de peces marinos (Gulland 1965, Quiñonez-Velázquez *et al.* 2000). Una cohorte se define como el número de individuos nacidos en un lugar en un período específico de tiempo y que son de la misma edad.

El término reclutamiento, aquí usado, se refiere a la proporción de peces juveniles que sobreviven a los diversos estadios ontogénicos o de desarrollo hasta alcanzar una talla en la que ingresan al efectivo reproductor de una población. Comprende todo un período de susceptibilidades en el que este grupo poblacional es prácticamente invisible, desde la formación de gametos en los progenitores hasta la apreciación de éstos como progenie de tamaño capturable. Constituye un continuo de procesos, en el cual la proporción entre el tamaño de la población desovante y el reclutamiento, varía de año en año hasta en varios ordenes de magnitud (Bakun 1985).

Existe mucho debate respecto a las causas de las fluctuaciones en el reclutamiento y en la declinación de las poblaciones de peces pelágicos menores (Cushing 1995). La mayoría de los trabajos han abordado esta problemática desde el punto de vista de la sobrepesca y consideran la magnitud de la mortalidad por pesca como un factor determinante en el éxito o fracaso de las poblaciones para mantener su capacidad de reposición (Murphy 1966).

Uno de los objetivos de estudio de la dinámica de poblaciones de peces es comprender los procesos responsables de la variación en el reclutamiento. Las causas

potenciales de estas variaciones, pueden deberse en esencia a: 1) cambios en la producción de huevos y 2) cambios en la mortalidad de los estadios tempranos de vida antes de la incorporación de los reclutas a la población adulta (Jobling 1995, Cushing 1995). Una reducción en la producción de huevos puede ser debida a una biomasa desovante reducida o a una baja en la actividad del desove de los adultos (Jobling 1995). La mortalidad de los estadios tempranos, puede modificarse por la agregación de depredadores o la insuficiencia de alimento que conduce a un crecimiento lento y la exposición por tiempos mayores a la depredación (Cushing 1995). Se han formulado diversas hipótesis para intentar explicar esta variabilidad estando entre las principales:

- 1) La hipótesis del “período crítico”, considera como factor importante del reclutamiento a la mortalidad limitada al período específico de tiempo en que las larvas nacen y aprenden a alimentarse (Hjort 1914)
- 2) Otra hipótesis sugiere que el reclutamiento es altamente influido por el transporte advectivo de larvas lejos de las áreas de crianza de juveniles, de modo que huevos y larvas son conducidos a zonas poco favorables del océano por transporte de Eckman y goestrófico, efecto de surgencias fuertes, turbulencia excesiva y termoclina profunda (Hjort 1914, Parrish *et al.* 1981).
- 3) Hipótesis del océano estable considera que la estabilidad de la capa superior de agua es esencial para la agregación larvaria, pues propicia la concentración del plancton en ciertas zonas o parches que pueden ser aprovechados por las larvas como alimento (Lasker 1975, Lasker 1981)

- 4) La hipótesis del acoplamiento y desacoplamiento (Match-Mismatch, en inglés) que sugiere que la variación entre el tiempo relativo del desove y el florecimiento estacional del fitoplancton contribuyen a fluctuaciones en el reclutamiento (Cushing 1975).
- 5) La hipótesis de la ventana ambiental óptima sugiere que en áreas de surgencia, a intensidades bajas o altas de surgencia, el reclutamiento es pobre, existiendo un intervalo en el que es óptimo. De modo que se establece una relación en forma de domo entre el éxito del reclutamiento y la intensidad de surgencia (Cury y Roy 1989, Roy *et al.* 1992)

Durante el tránsito por los diversos estadios de desarrollo los organismos quedan expuestos a una compleja serie de factores que influyen en diversa medida en su supervivencia (Houde 1987). Entre los principales se han sugerido dos grupos. Factores bióticos como disponibilidad de alimento, competencia, depredación y enfermedades. Y elementos abióticos, como procesos de transporte por advección, cambios en temperatura, salinidad, estratificación de la columna de agua generadores de tensión fisiológica (Bakun 1985, Jobling 1995). La importancia relativa de estos factores permanece incierta. Más aun, pareciera cambiar dependiendo de la escala espacial en la que se supone ocurre el reclutamiento (Myers *et al.* 1997, Mullin 1993).

Luch-Belda *et al.* (1986) consideran que los eventos El Niño en combinación con la presión de pesca, u otro factor que afecte la mortalidad, resulta en modificaciones en el tamaño de la población. Sin embargo, otros afirman que son los factores ambientales más que el esfuerzo de pesca lo que determina el estado de la población y la pesquería (Hammann *et al.* 1988).

Luch-Belda *et al.* (1991) consideran la existencia de una relación entre la abundancia, reclutamiento y los procesos de surgencias. Mientras que Jacobson y MacCall (1995) discutieron que la temperatura superficial del mar influye en la variabilidad de las poblaciones de los pelágicos menores.

De entre los factores abióticos, la temperatura ha sido señalada con más frecuencia como factor clave en la determinación del reclutamiento (Barnes *et al.* 1992, Campana 1996, Félix-Uraga *et al.* 1996) puesto que juega un importante papel durante la ontogenia, modificando las tasas de crecimiento y por tanto la incidencia de la depredación. Por otro lado puede ser un indicador de otros cambios en el ambiente físico (ejem. velocidad del viento) (Cushing 1995) y si bien en algunos casos aparentemente no es la más importante, no obstante es una variable sucedánea o indicativa (Jacobson y MacCall, 1995). Paul (1976) y Horn (1986) reportaron una relación positiva entre la abundancia de la clase anual del pargo *Chrysophrys auratus* y la temperatura del agua. Sin embargo, no se propone un mecanismo de unión entre estas variables.

La variabilidad en el crecimiento de los estadios primarios es considerada un aspecto importante en el proceso de reclutamiento (Houde 1987, Jobling 1995). La variación entre las tasas de crecimiento y supervivencia durante la etapa juvenil de los peces ha sido señalada como una fuente potencial de los cambios en abundancia de las clases anuales (Smith *et al.* 1992, Butler *et al.* 1993, Campana 1996). Una estrategia de supervivencia, es un rápido crecimiento durante las etapas de larva y juvenil para reducir el tiempo de vulnerabilidad a depredadores potenciales y aumentar la habilidad para capturar alimento (Shepherd y Cushing 1980, Houde 1987).

Comparando la longitud a una determinada edad entre peces nacidos en diferentes áreas o a distintos tiempos es posible identificar diferencias espaciales o temporales dentro del patrón ontogénico de crecimiento (Hovenkamp 1990, Böhling *et al.* 1991, Woodbury y Ralston 1991, Cargnelli y Gross 1996, Fortier y Quiñonez-Velázquez 1998). Los factores bióticos y/o abióticos influyen sobre los patrones de crecimiento durante la ontogenia y generan las divergencias espaciales y/o temporales cuyo conocimiento puede ser de particular interés en elucidar variaciones en el reclutamiento.

Campana (1996) muestra, para el bacalao *Gadus morhua*, la importancia del crecimiento durante el primer año de vida para la definición de la abundancia relativa de la clase anual. Iles (1973), analizando el crecimiento del grupo de edad-0 de la sardina *S. caeruleus* en el sur de California de 1934 a 1955, sugiere que la longitud al primer año de vida de los peces puede ser indicadora del reclutamiento, y lo plantea como una alternativa más expedita que analizar datos de captura y esfuerzo (Murphy 1966, Hampton y Majkowski 1986). Sería especialmente importante saber si existe un estadio o talla altamente influida por la mortalidad; entonces, la influencia del crecimiento en la duración de la etapa de desarrollo que experimenta alta mortalidad puede ser un crítico determinante de las tasas de supervivencia (Miller *et al.* 1988). A su vez, el análisis del crecimiento de los peces juveniles podría ser útil en la estimación del tamaño de la clase anual, que es una de las principales limitantes para elaborar eficientes estrategias de explotación de los recursos pesqueros (Cushing y Harris 1973, Overholtz *et al.* 1991).

La comprensión de los cambios de abundancia causados por variaciones en el reclutamiento ayudará a los administradores a regular las actividades de la pesca. La

identificación y descripción de la posible relación entre la abundancia de la clase anual, el crecimiento y alguna variable ambiental fácilmente mensurable como, la temperatura, será de gran ayuda en ese sentido.

5. Área de estudio

Bahía Magdalena, se encuentra situada entre los 24° 15' - 25° 20' N y los 111° 30'-112° 15' W. Comprende una superficie aproximada de 114,600 ha. Está formada por tres zonas: Noroeste, que es irregular, con gran cantidad de esteros, lagunas y canales de profundidad media de 3.5 metros, es conocida como Santo Domingo. Una porción central que conecta al mar abierto por una boca de 30 m de profundidad conocida como Bahía Magdalena. Y una porción más sureña conocida como Bahía Almejas que posee una gran cantidad de bajos y no permite la navegación de los barcos (Fig. 1). (Anónimo 1979, COBIAC citado en: Félix-Pico 1993). La zona de canales, Bahía Magdalena y Bahía Almejas definen el sistema lagunar Magdalena-Almejas. En la zona de canales se encuentra localizado el Puerto Adolfo López Mateos, y en la porción noroeste de Bahía Magdalena propiamente dicha se ubica el Puerto San Carlos (Félix-Uraga 1986). Se considera una zona de refugio y de alimentación para flora y fauna marina. Se sitúa en el límite sur de la Corriente de California y el extremo norte de las masas de agua cálida provenientes del ecuador, en una zona de transición con alta productividad (Parrish *et al.* 1981, Gluyas-Millán y Quiñonez-Velázquez 1996).

Con respecto a las condiciones climáticas, posee un clima cálido seco que de acuerdo a Köpen, es semiárido (BS). Presenta una temperatura media anual de 20 °C. Durante julio a agosto, ocurren los valores más altos de 34-41°C y los mínimos de 4-9 °C

se presentan en enero-febrero. La precipitación anual promedio es de 125 mm ocurriendo el 75% de la esta precipitación en Otoño-Invierno (Hasting y Turner 1965, Rueda-Fernández 1983).

En cuanto a las condiciones oceanográficas, la salinidad en la superficie es máxima en los canales con 39.2 y mínima en las bocas con 34 (Alvarez-Borrego *et al.* 1975). El oxígeno disuelto en la zona de la boca de 6.85 ml l⁻¹ como máximo y 3.68 ml l⁻¹ como mínimo en la zona de la boca (Acosta-Ruiz y Lara-Lara 1978). La zona frente a la bahía esta sujeta a la acción de una divergencia oceánica durante todo el año (Parrish *et al.* 1981). Efecto de las surgencias frente a Bahía Magdalena alcanzan a penetrar en su interior según perfiles de temperatura, conductividad y velocidad del viento (Salinas-González 1987).

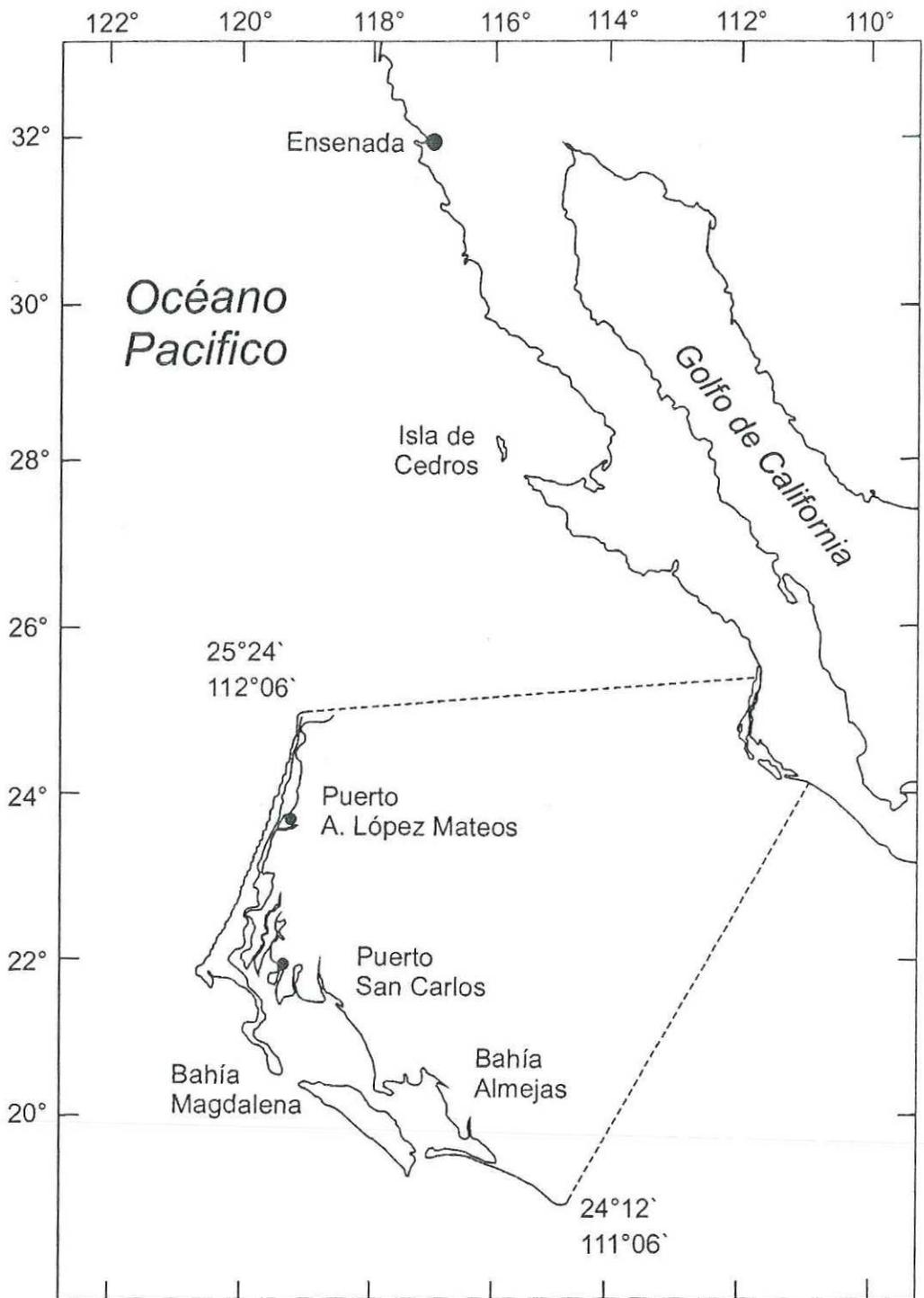


Figura 1. Ubicación geográfica de Bahía Magdalena en la costa occidental de Baja California Sur. Se señalan los puertos de descarga de sardina *S. caeruleus*.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

1. Recolectas

La flota pesquera de Bahía Magdalena está constituida por entre 5 y siete barcos con una capacidad de 60 a 120 t. Las capturas se realizan en el interior de Bahía Magdalena, y sólo eventualmente cuando el recurso es escaso, salen a capturarlo en el área adyacente a la boca de la bahía. Para el presente trabajo de tesis, se utilizó información biológica obtenida de la descarga comercial de sardina en los puertos de Adolfo López Mateos y San Carlos, B. C. S., México, durante 1981 a 1996 (Fig. 1) realizado por personal de CICIMAR. Mensualmente se realizaron dos tipos de muestreo: masivo y biológico. El primero consistió en tomar hasta 10 Kg de sardina de la captura por barco, medir su longitud patrón o estándar (LP) y agrupar los individuos en intervalos de 5 mm. Para la muestra biológica se tomaron al azar hasta cinco peces de cada intervalo de longitud de la muestra masiva. En el laboratorio cada organismo de la muestra biológica ($n = 12,221$) fue pesado (peso total ± 1 g) y nuevamente medido (LP ± 1 mm). Macroscópicamente se le determinó el sexo y su estado de madurez, y se les extrajeron los otolitos (*sagittae*), para posteriormente determinar la edad

2. Determinación y validación de la edad.

La determinación de la edad, se efectuó contando el número de incrementos de crecimiento en el otolito (bandas opacas y translúcidas) usando un microscopio estereoscópico con luz reflejada sobre fondo color negro mate. Se registró el tipo de borde (opaco o translúcido) en la porción distal posterior del otolito (Fig. 2) (Félix-Uraga *et al.* 1996). Un incremento de crecimiento es definido por una amplia zona opaca y una delgada zona

translúcida, que corresponden a un periodo de rápido y lento crecimiento (Yaremko 1996, Beckman y Wilson 1995). Para validar la temporalidad de los incrementos de crecimiento se utilizó la proporción mensual de otolitos que presentaron borde opaco (Barnes y Foreman 1994, Gluyas-Millán y Quiñónez-Velázquez 1996). Esto se realizó para los aquellos años que se tenían más completos y además se construyó un año tipo.

3. Retrocálculo y crecimiento.

De la muestra biológica por mes, se seleccionaron al azar hasta 5 sardinas por grupo de edad (en promedio representa más del 15% de la muestra para la determinación de edad). A los otolitos de los peces seleccionados se les midió el radio total (RO) y el radio a cada zona de crecimiento (R_i), desde el núcleo al margen posterior (Yaremko 1996) (Fig. 2). Las mediciones se efectuaron con la ayuda de un sistema video-digitizador, utilizando el procesador de imágenes Sigma Scan Pro ver. 4.1 para Windows.

Para estimar la longitud pretérita promedio del pez al borde distal de cada zona de crecimiento, se reconstruyó el patrón de crecimiento individual usando la relación entre el radio del otolito y la longitud del pez

$$LP_c = a + b RO_c \quad (1)$$

Después, se calcularon nuevamente los coeficientes de la regresión utilizando los criterios propuestos por Ricker (1973, 1984) para lo que se conoce como una regresión funcional, $b = b/r$, $a = \Sigma LP/n - b (\Sigma RO_c/n)$. Una vez hechos los nuevos estimados para los coeficientes, se procedió a realizar el retrocálculo de acuerdo al procedimiento de Fraser-Lee (Carlander 1981):

$$LP_i = a + ((LP_c - a)/RO_c) R_i \quad (2)$$

donde:

LP_c = Longitud patrón al tiempo de captura

RO_c = radio del otolito al tiempo de captura

a = intercepto de la línea de regresión ordinaria o común

b = pendiente de la línea de regresión ordinaria o común

r = coeficiente de correlación

n = número de observaciones

LP_i = Longitud patrón al tiempo o edad i

R_i = Radio del otolito al tiempo o edad i

a = nueva estimación para la intersección de la línea de regresión RO_c — LP_c
(Ricker 1973, 1984)

b = nuevo cálculo de la pendiente para la línea de regresión RO_c — LP_c (Ricker
1973, 1984)

4. Tamaño de la clase anual

Se utilizaron dos estimaciones relativas del tamaño del stock de la sardina *S. caeruleus* para la zona de Bahía Magdalena. El sugerido por Félix-Uraga *et al.* (1996), que consiste en estimar el tamaño de las cohortes o clases anuales, utilizando la captura estructurada por edades (número de peces por edad). Y la segunda, a través un análisis de población virtual (APV) realizado con el programa ELEFAN III versión 1.1 (Gayanilo *et al.* 1989) utilizando la matriz estructurada por edad de la captura de sardina desde 1981 a 1996.

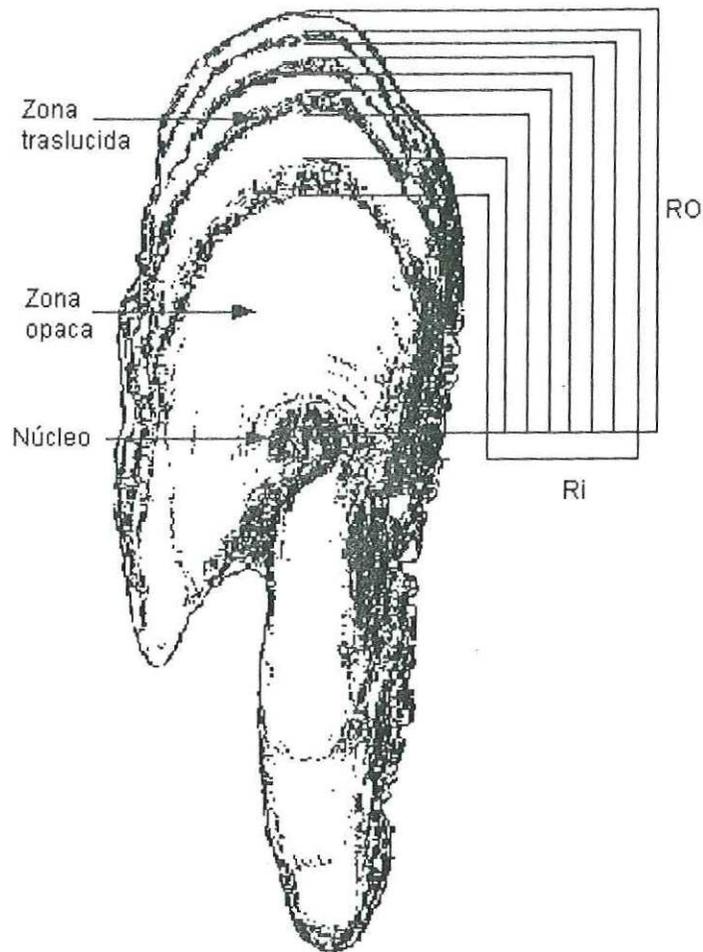


Figura 2. Esquema de un otolito de sardina *S. caeruleus* que muestra el núcleo, las bandas de crecimiento opacas, translúcidas, el radio total del otolito (RO) y los radios a cada banda de crecimiento (R_i).

5. Relación entre el tamaño de la clase anual con la temperatura y el crecimiento

El periodo de reproducción de la sardina en la zona de Bahía Magdalena es de diciembre a marzo (Hernández-Vázquez 1994), en consecuencia las larvas nacidas durante ese período, experimentarán diferencias de temperatura superficial del mar en años

consecutivos (Bakun 1996). Para fines del análisis se supone que si la temperatura afecta la abundancia de las clases anuales, su efecto actuará sobre una moderada escala de tiempo estacional. Para evaluar esta relación se utilizó el promedio durante primavera-verano y el promedio anual de la temperatura superficial del mar. Durante esos dos periodos, las sardinas, en promedio, completarán seis meses y un año de vida respectivamente. La temperatura superficial del mar en la zona externa de Bahía Magdalena para 1981 a 1990 se obtuvo de la base de datos COADS (Comprehensive Ocean Atmosphere Data Set) (Roy y Mendelsohn 1994), y de 1991 a 1996, de la base de datos de la Comisión Interamericana del Atún Tropical (Anónimo 1991-1996).

Se determinó la relación entre el tamaño de la clase anual y el crecimiento durante la etapa prerrecluta a las edades de 0 y 1 años. Así mismo, se determinó la relación entre el tamaño de la clase anual y la temperatura superficial del océano. En ambos casos se utilizaron como estimadores de la abundancia relativa la captura estructurada por edades y los obtenidos por medio del APV.

IV. RESULTADOS

Un total de 12,221 sardinas *S. caeruleus* integraron la muestra biológica. En la Tabla I se presenta tanto la distribución mensual como la anual para el periodo del estudio. Los meses de enero a marzo y de agosto a noviembre estuvieron escasamente representados para los años 1981 a 1984 y 1992 a 1994.

Los otolitos de sardina *S. caeruleus* en la zona de Bahía Magdalena presentaron incrementos de crecimiento denotados por bandas opacas y translúcidas. En la Figura 3 se aprecia una micrografía de un otolito representativo de la especie.

A causa de la falta de disponibilidad de sardina en Bahía Magdalena no fue posible tener representados a todos los meses. Para evidenciar el patrón en la formación de los incrementos de crecimiento, se utilizaron los años mejor representados en la muestra (Fig. 4). Con la finalidad de reducir el efecto interanual en el patrón de formación de bandas de crecimiento, se construyó un año tipo utilizando todos los años en conjunto (Fig. 5). Se estimó entonces la proporción mensual de otolitos con borde opaco.

El período de formación de la banda opaca durante el período de estudio, comprende aproximadamente desde abril a septiembre (Fig. 4 y 5), y la banda translúcida terminó de depositarse en marzo. De acuerdo a este patrón de formación un incremento de crecimiento se formará en un año y cada banda en seis meses. El número de organismos hembras sexualmente maduros (Fig. 5), alcanzan un máximo durante los meses de diciembre a marzo y coincide con la formación de la banda translúcida, en

Tabla I. Número de individuos de sardina *S. caeruleus* recolectados por mes y año en la muestra biológica.

Año	M e s												Total
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1981				50	50	50	100		50	50	50		400
1982	50			50	99	83	91	78	43			50	544
1983					111	60	138						309
1984				33	139	241	237	66					716
1985	14	78	43		38	104	99	103		68			547
1986	88	101	82	31	198	91	73	59		33	84	42	882
1987	60	28		34	60	52							234
1988	47	46	123	49	76	113	89			38		68	649
1989	142	90	99	136	228	118	45	61	20		22	47	1008
1990	57	51	95	108	170	151	133	78	53	164	309	47	1416
1991	105	57	109	136	247	219	159	207	85	49	56		1429
1992				22	121	173	148	69					533
1993				114	94	99	152	57	16		15		547
1994			111	125	75	43	83	78	95	95	63	121	889
1995	138	144	56		27	227	109	114	149	54	59	82	1159
1996	125	40	79		185	69	65	55	29	87	156	69	959
Total													12221

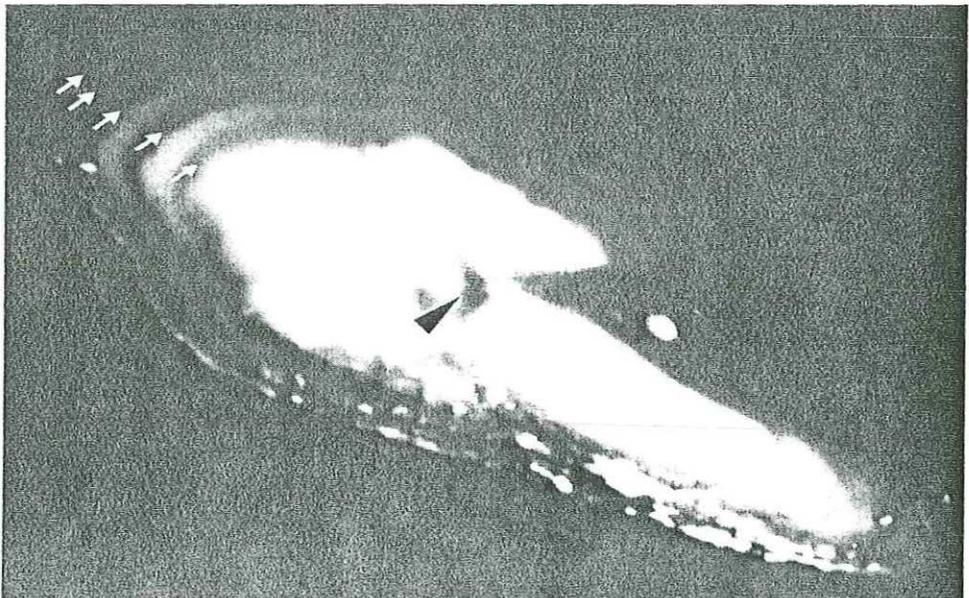


Figura 3. Micrografía de un otolito de sardina *S. caeruleus*. Se indican el núcleo (triángulo), las bandas opacas (bandas blancas) y translúcidas (bandas oscuras indicadas por flechas). El otolito perteneció a una hembra de 198 mm de LP, del grupo de edad 5 terminado en translúcido (5T).

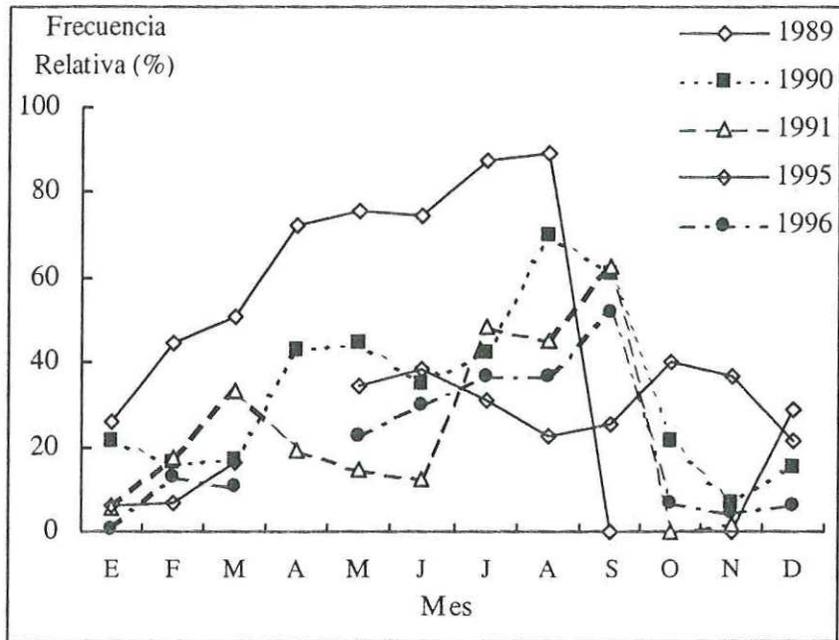


Figura 4. Proporción mensual de otolitos con borde opaco de sardina *S. caeruleus* en Bahía Magdalena. Se presentan los años del estudio mejor representados en los distintos meses.

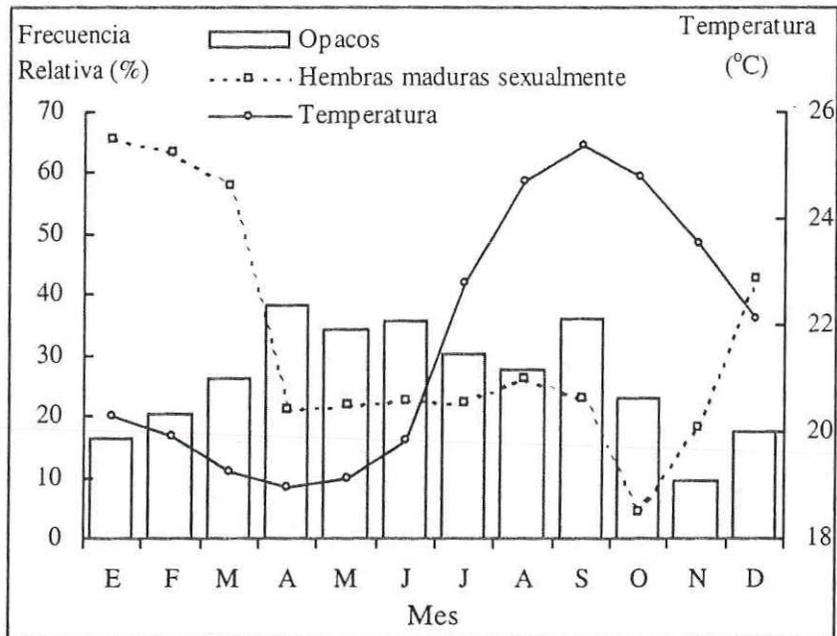


Figura 5. Año tipo de la proporción mensual de otolitos con borde opaco y de individuos sexualmente maduros de sardina *S. caeruleus* en Bahía Magdalena. También se muestra la temperatura superficial del océano para el período de estudio obtenida de la CIAT y COADS de 1981 a 1996.

tanto que se presentan en niveles bajos el resto de los meses, con mínimo hacia el mes de octubre. La temperatura del océano alcanza los valores mayores en los meses de agosto a noviembre, en tanto que los meses con temperaturas menores son marzo a mayo, coincidiendo aproximadamente un decremento en la proporción de hembras maduras e inicio de la formación de la banda opaca (Fig. 5).

Para analizar los cambios en crecimiento por clase anual, se utilizaron un total de 1,877 organismos. En la tabla II se presentan el tamaño de muestra por clase anual y el máximo y mínimo para la edad, la longitud patrón y el radio del otolito.

El tamaño del otolito y la longitud patrón del pez guardaron una relación positiva ($r^2=0.70$, $P<0.001$), de donde se deduce que estas estructuras presentan un patrón de crecimiento proporcional. La relación se determinó por la regresión:

$$LP_c = 11.17 + 105.78 RO_c \quad (2)$$

Después se obtuvieron nuevamente los parámetros para la regresión según lo propuesto por Ricker (1973, 1984), quedando entonces:

$$LP_c = -20.62 + 126.91 RO_c \quad (3)$$

El parámetro $a = -20.62$ de esta ecuación, se utilizó después en la fórmula de retrocálculo quedando (Fig. 6):

$$LE_i = -20.62 + ((LE_c - 20.62) / RO_c) R_i \quad (4)$$

Por medio de esta ecuación se obtuvieron las longitudes retrocalculadas para edades pretéritas a intervalos de 0.5 años (es decir, a cada banda de crecimiento opaca y

translúcida). En la Tabla III se presentan las longitudes estimadas por retrocálculo hasta los 3.5 años de edad a partir de peces de los grupos 0+ a 6+. Se aprecia (columnas) que las longitudes estimadas a las edades 0.5 a 1.5 años son mayores para las sardinas de los grupos 0+ a 2+ años con respecto a los grupos mayores a 2 años.

Tabla II. Número de individuos por clase anual encontrados a partir de las determinaciones de edad. Se muestra también el máximo y mínimo de las edades, el radio del otolito y la longitud patrón.

Clase	n	Edad (años)		Radio del otolito (mm)		Longitud estándar (mm)	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max
1977	2	3	4	1.42	1.73	161	123
1978	33	2	3	1.28	1.72	138	190
1979	63	1	4	1.15	1.71	131	195
1980	59	0	3	1.15	1.77	130	184
1981	51	0	6	1.11	1.86	129	197
1982	60	0	4	1.26	1.73	140	193
1983	108	0	6	0.87	1.86	98	211
1984	170	0	6	1.15	1.98	121	218
1985	154	0	5	1.16	1.96	119	220
1986	143	1	5	1.20	2.05	129	215
1987	149	0	5	1.20	2.05	129	215
1988	150	0	4	1.11	1.92	125	206
1989	127	0	6	1.08	1.79	115	212
1990	118	0	5	1.05	1.82	114	202
1991	137	0	4	0.97	1.80	100	198
1992	139	0	3	0.90	1.82	95	200
1993	123	0	2	1.02	1.84	105	203
1994	69	0	1	1.05	1.76	103	193
1995	22	0	0	1.22	1.47	120	165
Total	1877						

Para evaluar las diferencias en longitud por grupo de edad, se efectuó una comparación múltiple a través un análisis de varianza (Tabla IV). Se observa que las longitudes estimadas a edades de 0.5 a 1.5 años son significativamente mayores para sardinas de los grupos de edad 0 y 1 respecto al resto de los grupos (sardinas mayores de 2 años). Esto comprobó que los individuos menores a 1.5 años deberían excluirse de los

análisis posteriores, pues presentan tallas mayores a una misma edad que los grupos de edades más avanzadas.

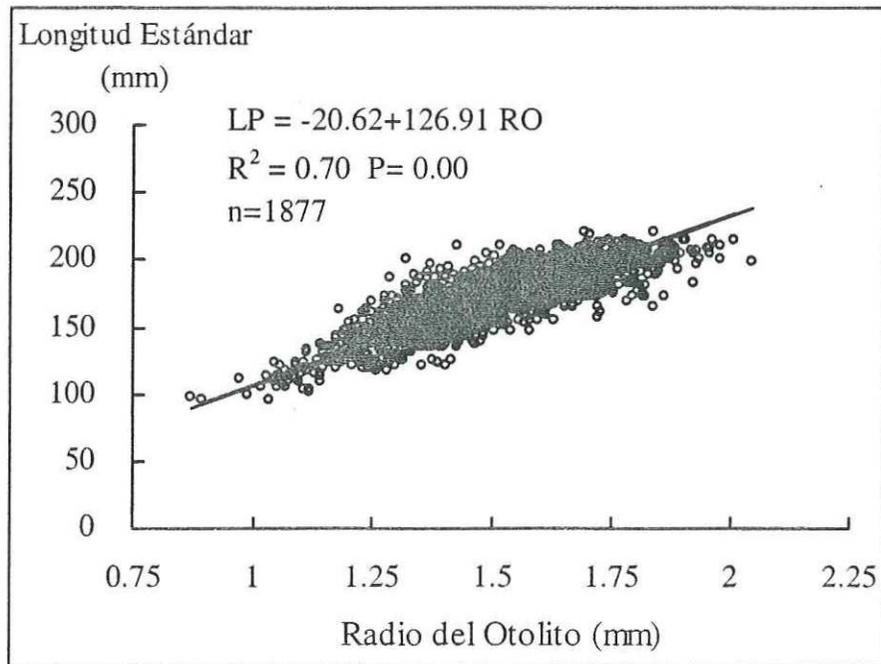


Figura 6. Relación entre el radio del otolito y la longitud patrón de la sardina *S. caeruleus* en Bahía Magdalena

Tabla III. Promedios de la longitud patrón retrocalculada por grupo de edad hasta los 3.5 años a intervalos de 0.5 años.

Grupo de edad	n	Edad						
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5
0	248	131.73						
1	565	128.76	139.60	156.60				
2	534	125.33	134.59	149.18	155.98	167.94		
3	317	125.57	134.49	148.57	155.00	164.81	170.01	178.80
4	142	126.89	135.98	149.39	155.37	164.16	169.04	176.46
5	58	125.99	135.23	150.78	157.19	165.94	170.58	177.62
6	13	132.83	141.56	149.88	155.10	162.50	166.53	173.40
Total	1877							

Tabla IV. Análisis de varianza de los promedios de la longitud patrón retrocalculadas entre los diferentes grupos de edad de la sardina *S. caeruleus* en Bahía Magdalena.

Grupos	n	Valor de F	
			P
L _{0.5}			
0 vs. 1	813	5.6442	0.0177
0 vs. 2	782	28.3410	0.0000
0 vs. 3	565	20.0625	0.0000
0 vs. 4	390	6.9639	0.0087
0 vs. 5	306	4.3767	0.0373
0 vs. 6	261	0.0381	0.8454
L _{1.0}			
1 vs. 2	1099	33.0897	0.0000
1 vs. 3	882	25.6119	0.0000
1 vs. 4	707	7.0901	0.0079
1 vs. 5	623	4.5963	0.0324
1 vs. 6	578	0.2175	0.6411
L _{1.5}			
1 vs. 2	1099	60.5763	0.0000
1 vs. 3	882	54.2867	0.0000
1 vs. 4	707	23.5224	0.0000
1 vs. 5	623	7.0606	0.0081
1 vs. 6	578	2.1911	0.1394
L _{2.0}			
2 vs. 3	851	0.8311	0.3622
2 vs. 4	676	0.1541	0.6948
2 vs. 5	592	0.3083	0.5789
2 vs. 6	547	0.0389	0.8436

En la abundancia de las clases anuales (1981-1993), ocurren cambios que se aprecian tanto para las estimaciones con el APV como para aquellas en las que se utilizó la captura estructurada por edad (Fig. 7), y se puede observar un desfase en la abundancia al comparar estas dos estimaciones.

Con base en los resultados anteriores se procedió a estimar por clase anual (1981 a 1993) la longitud patrón por retrocálculo a las edades previas al reclutamiento (juveniles menores de 2 años) utilizando una ecuación particular a cada clase anual. Estas estimaciones de longitud se contrastaron contra las estimaciones del tamaño de la clase anual a partir del APV y de la matriz estructurada por edad de la captura. La relación con la longitud patrón a la edad de un año (LP_1), fue significativa ($P = 0.03$) para ambas estimaciones de la clase anual (Fig. 8 y 9). Se puede observar que tanto los estimados del APV como los de la captura estructurada por edad, generan una correlación negativa indicativa de que a mayor tamaño de la clase anual, la talla media de los organismos tiende a disminuir.

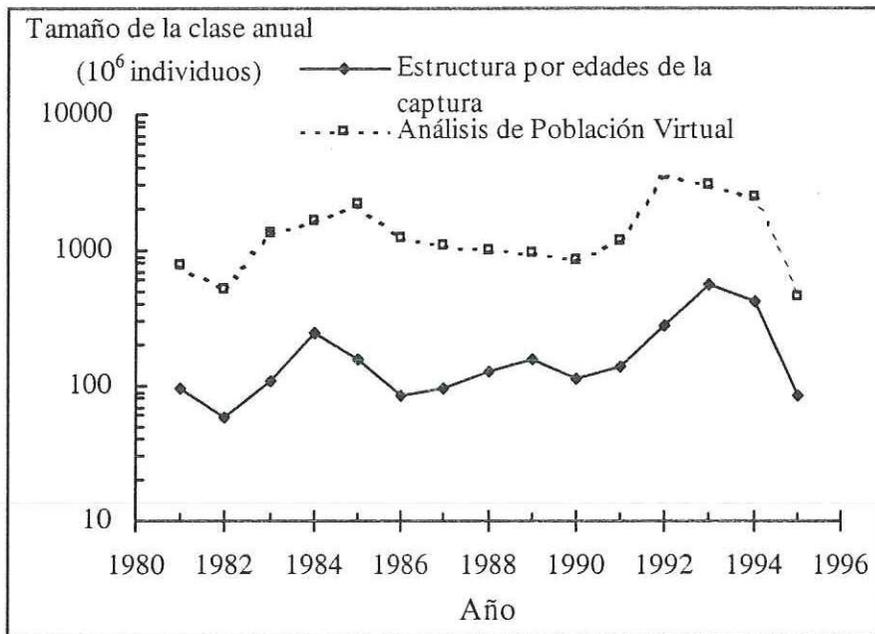


Figura 7 . Variación interanual del tamaño de la clase anual estimada a partir de la matriz estructurada por edades de la captura y por Análisis de Población Virtual. Los valores del eje de las ordenadas se presentan en logarítmica.

Se determinó la relación existente entre el tamaño de la clase anual y la temperatura superficial del océano (Fig. 10 y 11). La relación encontrada es positiva, correspondiendo a un aumento de la temperatura un aumento en el tamaño de la clase anual. De igual modo, estos resultados se presentan tanto para los estimados del APV y para la captura estructurada por edad, y en ambos casos la relación fue significativa ($P < 0.05$).

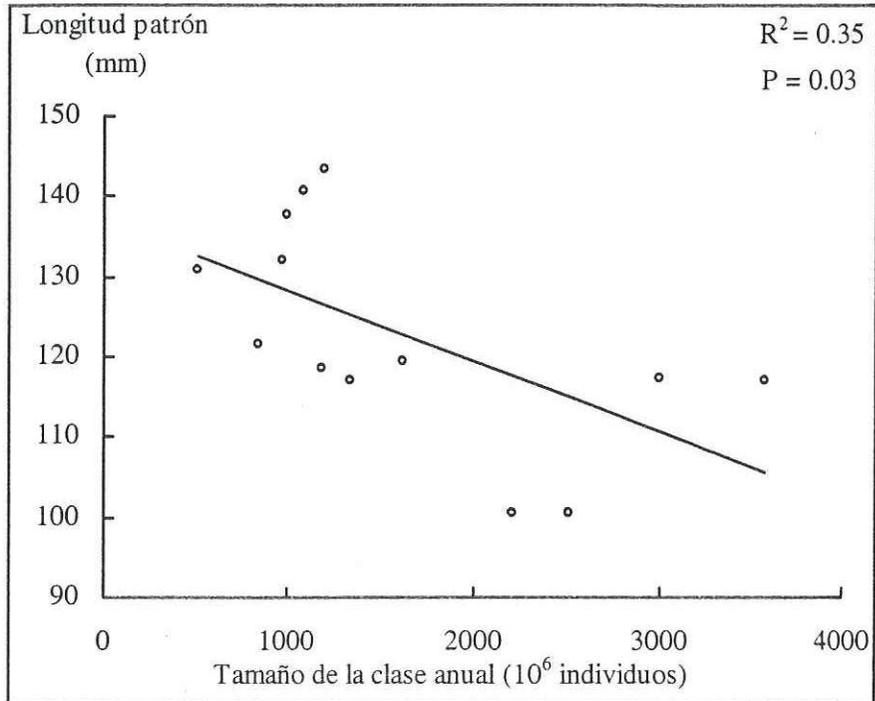


Figura 8. Relación entre el tamaño de la clase anual estimada por Análisis de Población Virtual y la longitud patrón de sardina *S. caeruleus* en Bahía Magdalena.

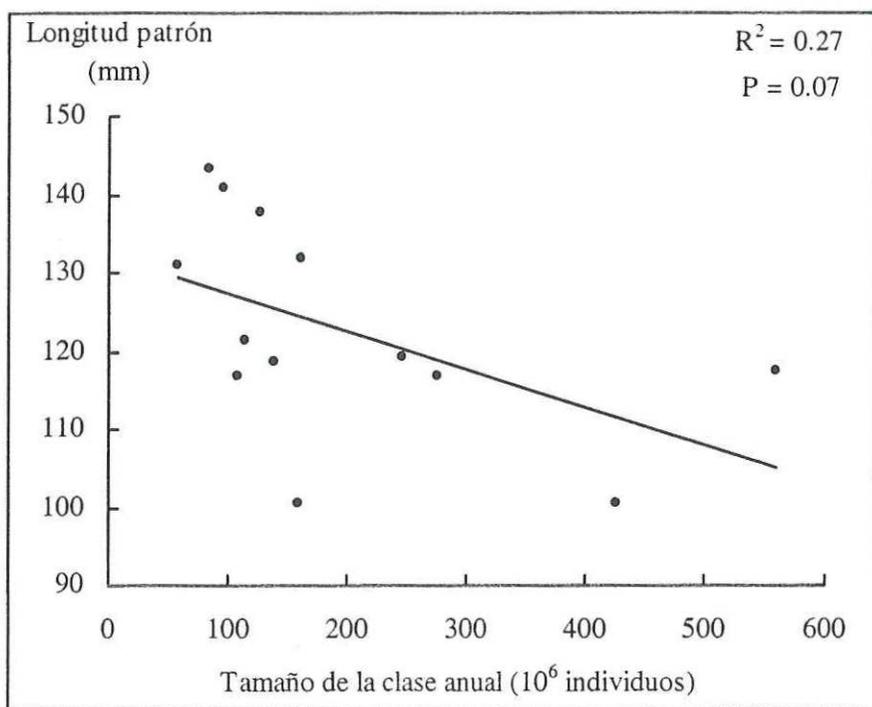


Figura 9. Relación entre el tamaño de la clase anual estimada a partir de la matriz estructurada por edades de la captura y la longitud patrón de sardina *S. caeruleus* en Bahía Magdalena.

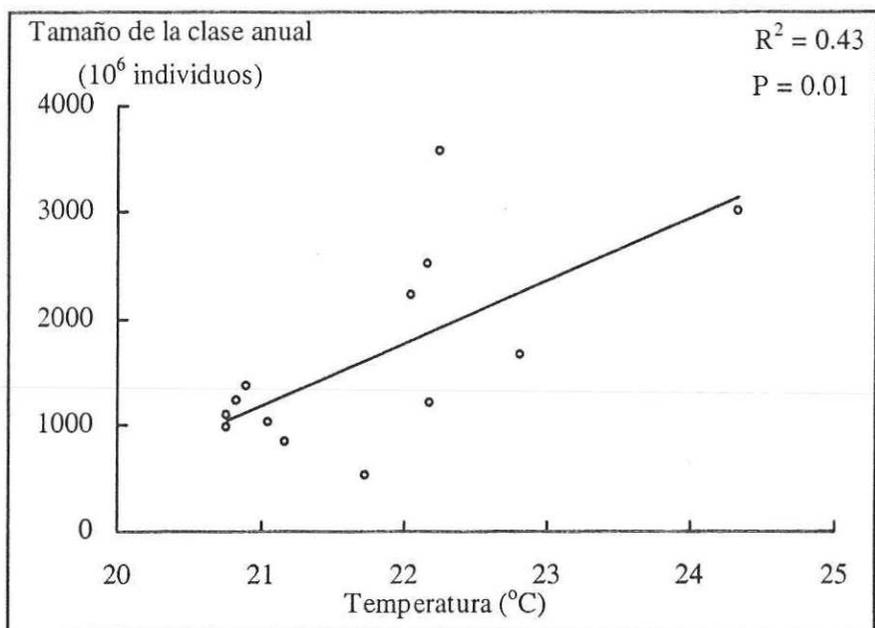


Figura 10. Relación entre la temperatura superficial del océano y el tamaño de la clase anual estimada por Análisis de Población Virtual.

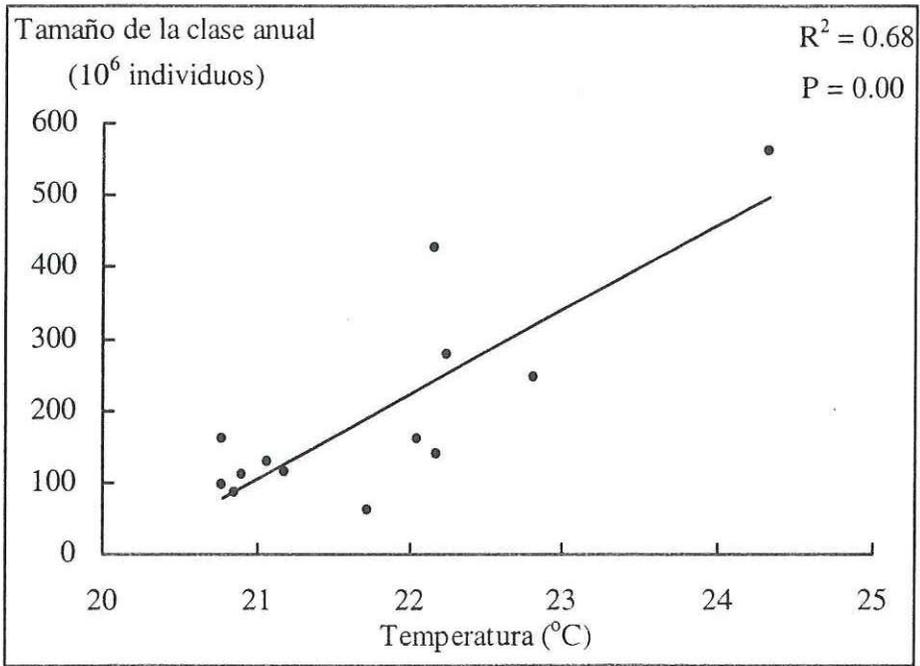


Figura 11. Relación entre la temperatura superficial del océano y el tamaño de la clase anual estimada a partir de la matriz estructurada por edades de la captura.

Con fundamento en los resultados anteriores, los estimados del tamaño de la clase anual (CA) a partir del APV se utilizaron para describir los cambios interanuales en abundancia de la clase anual. Se ajustó un modelo potencial que incluye la LE_1 , la temperatura promedio de primavera-verano ($TEMP_{pv}$) y como índice de supervivencia por clase anual, el número de peces a la edad 1 (CA_1). El modelo esta representado de la siguiente forma:

$$CA = a LP_1^{b (TEMP_{pv} / CA_1)} \tag{4}$$

El modelo se ajustó utilizando el algoritmo Newton-Simplex contenido el modulo NOLINEAR del programa STATISTICA para Windows (StatSoft 1999). Los valores de

los parámetros fueron: $a = 5321.78$, $b = -4.66$. El ajuste fue significativo ($P < 0.001$) y las variables explican el 94% de la variación del tamaño de la clase anual (Fig. 12).

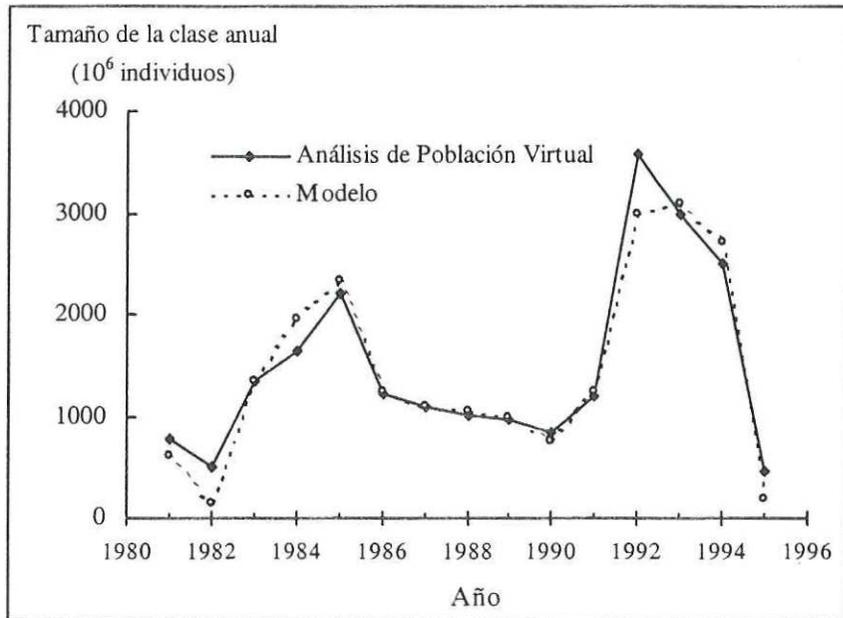


Figura 12. Variación anual del tamaño de la clase anual de la sardina *S caeruleus*.

V. DISCUSIÓN

1. Recolectas

Es común que las flotas pesqueras operen en zonas de mayor abundancia e incidan sobre las tallas de interés comercial. Por esta razón, los individuos provenientes de las capturas comerciales, pudieran no ser representativos de la población. Sin embargo, las muestras obtenidas a partir de dichas capturas son menos costosas y pueden realizarse con mayor frecuencia que si se realizan muestreos de campo *ex profeso* (Sparre *et al.* 1989).

Cuando hay suficiente recurso disponible, la pesca de sardina en Bahía Magdalena, se realiza durante todo el año y comúnmente de marzo a septiembre se extrae cerca del 80% de captura anual (Félix-Uraga 1992). Durante el presente estudio algunos meses no estuvieron representados en todos los años. En el período 1983-84, la pesca quedó confinada a solamente tres y cinco meses respectivamente. Se tiene conocimiento de que la sardina realiza migraciones interanuales, desplazándose hacia aguas más frías, en respuesta a fenómenos oceanográficos como El Niño (Luch-Belda *et al.* 1986). En los ciclos 1981-82, 1984-85 y 1989-90 prevalecieron condiciones térmicas relativamente “normales”. Y mientras en el período 1988 ocurrió un fuerte enfriamiento, durante 1982-83, 1986-87 y 1991-92 ocurrieron fenómenos ENSO considerados como los de mayor intensidad desde 1950 (Anónimo 2001). Estos últimos períodos pudieron haber influido en la escasez de sardina, y por tanto en la baja o nula representatividad en la muestra.

2. Validación de la edad

Los otolitos observados fueron semejantes a los descritos por otros autores para esta especie (Yaremko 1996, Félix-Uraga y Ramírez-Rodríguez 1989, Barnes y Foreman 1994). Con respecto al crecimiento del otolito, existen procesos que determinan su tamaño y forma, donde el primero se acompaña a la longitud del pez en tanto que la forma parece ser más influida por las funciones de órgano auditivo (Gauldie y Nelson 1990).

El poder determinar la temporalidad de la formación de las bandas y/o los incrementos de crecimiento en las estructuras óseas, requiere de un análisis de validación (Beamish y MacFarland 1983). Los resultados de la regresión entre el radio del otolito y la longitud del pez, muestran que el crecimiento del otolito es proporcional al del pez. La relación presenta un ajuste significativo al modelo lineal y la podemos considerar como una forma indirecta de validación (Manooch 1987).

En el presente estudio, el análisis cualitativo del borde del otolito indica que la banda opaca en la sardina, se forma anualmente durante un período de tiempo relativamente extendido. Algunos autores consideran el proceso de validación aceptable únicamente, si se lleva a efecto de manera directa, utilizando marcadores biológicos fluorescentes (Beamish y MacFarland 1983). Sin embargo, otros reconocen también como válido el análisis de la frecuencia mensual de aparición del tipo de borde (análisis cualitativo). La formación anual de los anillos en sardina ha sido verificada por Félix-Uraga (1992) y confirmada por Barnes y Foreman (1994). Estos últimos realizaron el conteo de anillos diarios en individuos juveniles de hasta un año de edad, validando la formación anual de las bandas opaca y translúcida.

En el presente trabajo, se observó que la formación de la banda opaca, corresponde a un período anual en que las hembras presentan poca o ninguna actividad reproductora. La banda translúcida se forma cuando la mayoría de los organismos se encuentran maduros o desovando, resultados similares a los obtenidos por Félix-Uraga y Ramírez-Rodríguez (1989). Se tiene conocimiento que el período de formación de las marcas, puede asociarse a la ocurrencia de procesos fisiológicos y/o fenómenos ambientales (Manooch 1987, Jearld 1983, Gallucci *et al.* 1995, Félix-Uraga 1992).

Barnes y Foreman (1994) señalan que los márgenes opacos coinciden con el verano y principios del otoño, cuando ocurre un crecimiento rápido; en tanto que los translúcidos ocurren en invierno. Beckman y Wilson (1995) indican que en la mayoría de las especies, se ha reportado que la banda opaca se forma durante la temporada primavera-verano. Para el presente estudio, la formación de la banda opaca coincide, en términos generales, con el incremento en las temperaturas superficiales del mar. Los procesos de surgencias, revelados en parte por las temperaturas frías y seguidos de un período de estabilidad de la columna de agua, originan la producción de alimento (Mann y Lazier 1996). De esta manera, la ocurrencia de la formación de la banda opaca, comúnmente asociada a un crecimiento más acelerado, pudiera ser influida sincrónicamente por la disponibilidad de alimento.

De cualquier modo, debe considerarse que la aparición de las bandas de crecimiento, pueden ser influidas por diversos factores ambientales y por ende fisiológicos, que varían en tiempo e intensidad en años consecutivos (Casselman 1989).

A partir de las determinaciones de la edad, se identificaron hasta siete grupos de edad (0 a 6), es decir, se encontraron organismos con edades desde menos de uno hasta seis años. Un resultado similar fue encontrado por Félix-Uraga (1992) y Félix-Uraga *et al.* (1996) para la zona de Bahía Magdalena.

3. Retrocálculo

La relación entre el radio del otolito y la longitud del pez presentó un ajuste significativo al modelo lineal. Lo anterior confirma que el otolito puede ser utilizado en la determinación de la edad y en la descripción del crecimiento, por lo que se empleó esta relación en el retrocálculo de la longitud a una edad pretérita.

La relación antes mencionada involucra la utilización de variables sujetas a errores de medición. El empleo de parámetros de regresión (a y b) recalculados, se debe que la regresión de la media geométrica, es una línea simétrica, invariante con el cambio de escala y robusta. Es más apropiada cuando ambas variables se miden con error y en situaciones donde la regresión lineal común suele fallar: cuando el muestreo no fue aleatorio con respecto a la población en conjunto; cuando la población muestreada se desvía considerablemente de una distribución normal (Ricker 1973, 1984).

Por otro lado, cuando una regresión se utiliza de manera directa para estimar la talla de captura, la cual es conocida, ésta suele resultar mayor que la observada, lo que carece de sentido. La verdadera relación entre el tamaño del pez y el de la estructura utilizada para determinar la edad, pudiera ser curvilínea, pero las desviaciones de una línea recta son usualmente muy pequeñas en el intervalo de tallas más significativas. Incluso, si la muestra se ajusta mejor a una curva, la regresión poblacional puede ser una recta. Una

descripción correcta de una relación curvilínea, requiere además de una muestra poblacional de tallas muy bien representada (Carlander 1981). Por esta razón se decidió utilizar el factor de corrección propuesto por este autor en el procedimiento de retrocálculo.

De las estimaciones de la longitud por medio del retrocálculo a partir de diferentes grupos de edad, se detectaron diferencias en el crecimiento de las sardinas durante su primer año, las cuales se hacen menos obvias a partir del segundo año de vida. Sin embargo, los organismos del grupo de edad seis, no resultaron distintos a la edad retrocalculada de un año. Esto puede deberse a que este grupo está constituido por una muestra de tan solo trece individuos. Bajo un determinado régimen de explotación, los peces de un mismo grupo de edad, que presentan un crecimiento rápido, serán más vulnerables a la pesca que los peces con crecimiento lento si la selectividad del arte no es modificada.

Esta distinción entre las longitudes retrocalculadas, se efectuó debido a que el arte de pesca está diseñada para capturar peces de cierto tamaño. Los peces de las clases anuales más jóvenes, están sólo parcialmente reclutadas a la pesquería. Lo anterior se debe a que los individuos pertenecientes a dichas clases y que aparecen en la captura, presentan un crecimiento rápido y por tanto mayor tamaño. No se debe ignorar *a priori* esta mortalidad selectiva por tallas. De hacerlo, los organismos de edades menores estarán subrepresentados, y probablemente se obtendrán tasas de crecimiento más altas (o sobreestimadas), que se reflejarán en longitudes retrocalculadas mayores, comparadas con aquellas donde la pesca se concentró en peces de mayor edad (Beacham 1981).

4. Análisis de Población Virtual

El Análisis de Población Virtual es una de las herramientas más poderosas para el análisis de datos de pesquerías. Supone que la edad de los individuos en las capturas es determinada sin error y que la mortalidad natural es constante e independiente de la edad en los diversos grupos de edad para un mismo año (Sparre *et al.* 1989). Una de las razones por las que existen pocas críticas a su uso, es que hay pocas estimaciones independientes del mismo (Hilborn y Walters 1992).

Félix-Uraga *et al.* (1996) proponen utilizar la estructura por edades de la captura para estimar la abundancia relativa de la clase anual de sardina. Con ésta herramienta, reportan que para los años 1984, 1989 y 1993 hubo reclutamientos fuertes de sardina en Bahía Magdalena. En el presente estudio, se aprecian los mismos resultados y cuando se corrigen estas estimaciones por medio de Análisis de Población Virtual, los picos de reclutamiento se desfasan ligeramente. La estructura por edades de la captura puede entonces utilizarse como un indicativo expedito de la abundancia y, de manera exploratoria, relacionarla con variables ambientales.

El método de Análisis de Población Virtual ha sido utilizado en sardina (Cisneros-Mata *et al.* 1995, Morales-Bojórquez 1999). En el presente trabajo se evaluaron ambas estimaciones, y la generada por Análisis de Población Virtual resultó con relación más alta a la temperatura superficial del océano y la talla de las sardinias a la edad de un año, lo que se comprende por ser este último una estimación más precisa.

5. Tamaño de la clase anual, temperatura y crecimiento

En las especies de peces marinos existe poca evidencia de la absorción masiva de huevos o la producción adicional de los mismos, o de que la fertilización sea afectada por factores ambientales (Hempel 1965, citado por Iles 1973). La tasas de reclutamiento presentan formas cíclicas mostrando una gran variabilidad interanual y tendencias declinatorias en la supervivencia de los estadios tempranos (Cisneros-Mata *et al.* 1995).

Un síntoma probable de fallas en el reclutamiento de sardina en los mares de Japón, es que los grupos de edad 0 y 1 disminuyen permaneciendo en las capturas grupos de edades 3 y mayores. Se ha encontrado que la abundancia de huevos y larvas vitelinas guardan una relación positiva con la de larvas post-primera alimentación. Sin embargo, la abundancia de estas últimas no tiene relación con el número de individuos a la edad 1 (Watanabe *et al.* 1995). Butler (1991) muestra que el reclutamiento a la edad 2 no está correlacionada con las tasas de mortalidad larval de sardina. La interpretación de esta relación, es que las bajas en el reclutamiento no son por la ausencia de huevos y larvas, sino por una supervivencia extremadamente baja, a pesar de una enorme abundancia de los mismos. La pregunta pendiente es si dichas bajas en el reclutamiento se deben a factores densodependientes, ambientales o por depredación (Watanabe *et al.* 1995).

En el presente trabajo, la temperatura presentó una relación positiva con el tamaño de la clase anual de la sardina generada a partir del Análisis de Población Virtual en Bahía Magdalena. Butler (1991) examina diversas variables y encuentra que no existe correlación entre la mortalidad de larvas de sardina y la temperatura. La única relación positiva y

significativa ocurrió entre la mortalidad de sardina y la biomasa de anchoveta y sugiere que la depredación por anchoveta influye en la mortalidad y posterior reclutamiento.

Sin embargo, la temperatura explica gran parte de la variabilidad de la fuerza de la clase anual en otras especies (Böhling *et al.* 1991, Francis 1993) y es una variable importante en el reclutamiento. Primero, porque la rapidez de los procesos de ontogenia son una función directa de la temperatura, lo que modifica las tasas de crecimiento y por tanto la incidencia de la depredación (Cushing 1975). Y segundo porque es un indicador probable de otros cambios en el ambiente físico. Por ejemplo, puede sugerir variaciones en la velocidad del viento, que también ha sido relacionada a procesos de reclutamiento (Cury y Roy 1989, Cushing 1975).

Las temperaturas superficiales del océano obtenidas de COADS y utilizadas en este trabajo, podrían ser bastante distintas de las que ocurren dentro de Bahía Magdalena. Lluch-Belda *et al.* (2000) registraron la temperatura superficial en la zona interna de Bahía Magdalena de 1981 a 1998. Luego compararon los ciclos anuales con registros reportados por COADS y encontraron diferencias consistentes siendo la parte interior (o protegida) de la bahía tan solo 0.89 °C más cálida. Esta diferencia es muy pequeña y puede deberse a que incluyen aquellas zonas muy someras de la bahía es decir, Santo Domingo y Bahía Almejas.

El tamaño de la clase anual estimada a partir del Análisis de Población Virtual, guarda una relación negativa con la longitud de la sardina en su primer año de vida. La talla de los organismos, y por tanto su velocidad de crecimiento podría estar influida por procesos densodependientes, es decir, por el tamaño de las clases anuales mismas. Si bien

otros autores señalan a la depredación como la responsable de este fenómeno (Overholtz 1989).

Iles (1973) estima diferencias de crecimiento en sardina, por medio de un modelo de regresión, considerando el tamaño de la clase anual y un índice de supervivencia. Encontró que el tamaño de la clase anual tiene una relación o efecto negativo ($R^2 = 0.41$) sobre la talla durante su primer año de vida, y representa factores densodependientes. Por otro lado, la supervivencia es positiva ($R^2 = 0.02$) e indicaría el efecto de factores ambientales. Sugiere que los índices de supervivencia (R/S) pueden ser usados como un indicador cuantitativo de variaciones en el ambiente y el crecimiento densodependiente opera con mayor intensidad bajo condiciones ambientales adversas. Esto no significa que sea posible hacer predicciones fácilmente pero, estos índices no pueden ser despreciados y sus implicaciones deben ser examinadas.

Butler *et al.* (1993) utilizando un modelo matricial, advierten que la abundancia de sardina es muy sensible a cambios en la mortalidad y crecimiento de los estadios tempranos de desarrollo. En las poblaciones de peces pelágicos menores, los mecanismos densodependientes se reflejan en la relación R/S. Sin embargo, los datos de captura y esfuerzo emergen de manera tardía para iniciar acciones reguladoras inmediatas (Cisneros-Mata *et al.* 1995). Este mismo autor muestra evidencia que sugiere que cuando la población de sardina es alta, la tasa neta de reclutamiento decrece; y cuando la población se encuentra a niveles deprimidos la tasa aumenta, lo que puede interpretarse como un mecanismo compensatorio. Jacobson y MacCall (1995) señalan también a la biomasa reproductora como la variable más importante en la predicción del reclutamiento. Sin embargo, Myers y

Barrowman (1996) encontraron que si bien los niveles máximos de reclutamiento ocurren a niveles altos de abundancia de los reproductores para diversas especies, dicha condición no se cumple para la sardina.

El poder establecer una relación de crecimiento densodependiente, implica comprobar que el alimento se encuentra en cantidad suficiente (Cushing 1995).

Litvak y Legget (1992) mediante ensayos de laboratorio sostienen, contrariamente a la idea común, que una menor talla confiere a las larvas mayor probabilidad para sobrevivir. Esto puede deberse a que para un depredador visual son más fácilmente detectables; y para uno no visual, la probabilidad de encuentro aumenta con el mayor tamaño. Sin embargo, plantean (citando a Bailey y Houde 1989) que la vulnerabilidad a ser capturadas pueda presentar una relación en forma de domo, donde a diferentes tallas, las larvas son más susceptibles a un cierto depredador o grupo de depredadores, siendo la mortalidad menor antes o después de atravesar determinada talla.

Las larvas al crecer rápidamente necesitan buscar alimento para satisfacer su demanda energética. Al hacerlo, se exponen a una mayor depredación que aquellas que crecen de manera más lenta. Por otro lado, las tasas bajas de mortalidad para organismos de crecimiento rápido, son sugeridas por la relación entre el tamaño y la mortalidad, esto es, la mortalidad disminuye al aumentar el tamaño. Las larvas que crecen rápido, están sujetas a una alta mortalidad asociada con un tamaño pequeño, pero por un período más corto de tiempo que las larvas de sardina de crecimiento lento (Butler 1991)

En cualquier caso, si la mortalidad decrece con el aumento en tallas (Miller *et al.* 1988), el crecimiento durante los estadios postlarvales y juvenil de peces pelágicos, podría tener un mayor impacto en la supervivencia durante el primer año de vida. Esto debido a que los peces de crecimiento mas rápido quedarían expuestos por menos tiempo a altas tasas de mortalidad (Houde 1987).

El decremento en las tasas de reclutamiento, y por ende en las poblaciones de sardina puede deberse a factores ambientales (fenómenos ENSO); a relaciones ínterespecíficas (competencia, depredación sobre huevos y larvas) con anchoveta, o una combinación de ambos, donde el probable vacío dejado al declinar la sardina sea ocupado por otra especie. A éstos se une también un fenómeno observado de sobrepesca del stock (Iles 1973, Cisneros-Mata *et al.* 1995).

Morales-Bojórquez (1999) utiliza un estimador de máxima verosimilitud y analiza para la sardina la relación stock/reclutamiento del modelo de Ricker (1975). Prueba que el reclutamiento depende no únicamente del tamaño del stock sino de variables que puedan incorporarse al modelo, es decir, la inclusión de factores físicos como temperatura, índices de surgencias, vientos u otro.

Smith *et al.* (1992) analizan la posible influencia de la duración de los estadios de desarrollo y la supervivencia en la población de sardina por medio de un modelo matricial. Advierten que la escala interanual es muy importante para cuestiones de manejo. Por desgracia los modelos matriciales incluso las tablas de vida son poco apropiados para escalas cortas de tiempo. Parece poco probable que la lista de parámetros poblacionales por estación del año y para una larga serie de años sea obtenida o conocida con suficiente

precisión (Lo 1986 en Smith *et al.* 1992). Tampoco la relación de las variables ambientales con estos parámetros ha sido suficientemente bien relacionada: esta es la razón por la que los índices ambientales fallan al probarse en el tiempo (Lasker y MacCall 1983 en Smith *et al.* 1992).

Martínez-Cuapio (1997) utilizando estimaciones del crecimiento de juveniles de sardina y un modelo matricial, encuentra que al acortarse la duración de los estadios juveniles, ocurre un incremento de la población y al aumentar este periodo, la población decrece en número. En el pargo (*Pagrus auratus*), por medio de un modelo lineal, se observó que la temperatura por sí misma, explica más del 90 % de la variabilidad en la abundancia de la clase anual (Francis 1993). Este es un valor alto, sobre todo al tratarse de una especie que relativamente longeva en la que se esperaría que las variaciones en el ambiente influyeran menos en su ciclo vital. El modelo utilizado para la sardina en el presente trabajo, es sencillo y de tipo determinístico. Sin embargo al parecer, muestra un buen ajuste y fue estadísticamente significativo. Las variables consideradas explican el 94 % de la variación interanual en las abundancias de sardina. Los modelos determinísticos simples son útiles para investigar las tasas de cambio en las poblaciones, e incorporar las variables examinada en modelos más complejos (Smith *et al.* 1992).

VI. CONCLUSIONES

La temperatura superficial externa en la zona de Bahía Magdalena, se encuentra relacionada de manera directa con la abundancia de las clases anuales de sardina, explicando parcialmente su variabilidad.

De manera contraria, el crecimiento (o la talla) de los organismos durante la etapa prerrecluta a la pesquería, es inversamente proporcional al tamaño de las cohortes.

El crecimiento durante la etapa juvenil y la temperatura, durante ese periodo de vida, contenidas en un modelo potencial describieron adecuadamente los cambios en el tamaño de la clase anual.

VII. LITERATURA CITADA

- Acosta-Ruíz, M. J. y J. R. Lara-Lara. 1978. Resultados fisicoquímicos en un estudio de variación diurna en el área central de Bahía Magdalena, Baja California Sur. *Ciencias Marinas*, México. 5(1):37-46.
- Álvarez-Borrego, S., A. Galindo-Béct y Achee-Barragán. 1975. Características hidroquímicas de Bahía Magdalena, Baja California Sur. *Ciencias Marinas*, México. 2(2):94-109.
- Anónimo. 1979. *Estudio geográfico de la región de La Paz, B. C. S. México*. Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía. 227 pp.
- Anónimo. 1991. Informes trimestrales de las temperaturas superficiales del océano Pacífico Oriental. Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT), La Jolla, Calif.
- 1992. Informes trimestrales de las temperaturas superficiales del océano Pacífico Oriental. Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT), La Jolla, Calif.
- 1993. Informes trimestrales de las temperaturas superficiales del océano Pacífico Oriental. Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT), La Jolla, Calif.
- 1994. Informes trimestrales de las temperaturas superficiales del océano Pacífico Oriental. Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT), La Jolla, Calif.
- 1995. Informes trimestrales de las temperaturas superficiales del océano Pacífico Oriental. Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT), La Jolla, Calif.

- Anónimo. 1996. Informes trimestrales de las temperaturas superficiales del océano Pacífico Oriental. Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT), La Jolla, Calif.
- Anónimo. 1999. *Estadísticas de pesca. México*. Secretaría de Pesca. SEMARNAP. México, D.F. 271 pp.
- Anónimo. 2001 (pagina activa mayo 2001). Multivariate ENSO Index (MEI). <http://www.cdc.noaa.gov/~kew/MEI/ArcHivEd=MeI/200102/mei.html>.
- Bakun, A. 1985. Comparative studies and the recruitment problem: searching for generalizations. *CalCOFI Rep.* 26:30-40.
- Bakun, A. 1996. *Patterns in the ocean: ocean processes and marine population dynamics*. California Sea Grant College System-NOAA-CIBNOR. 332 pp.
- Barnes, J. T. y T. J. Foreman. 1994. Recent evidence for the formation of annual growth increments in the otoliths of young Pacific sardines (*Sardinops caeruleus*). *Calif. Fish and Game* 80:29-35.
- Barnes, J. T., L. D. Jacobson, A. D. MacCall y P. Wolf. 1992. Recent population trends and abundance estimates for the Pacific sardine (*Sardinops caeruleus*). *CalCOFI Rep.* 33:60-77.
- Baumgartner, T. R., A. Soutar y V. Fereira-Bartrina. 1992. Reconstruction of the history of the Pacific sardine and anchovy populations over the past two milenias from sediments of the Santa Barbara basin. *CalCOFI Rep.* 33:24-40.
- Beacham, T. D. 1981. Variability in growth during the first 3 years of cod (*Gadus morhua*) in the southern Gulf of St. Lawrence. *Can. J. Zool.* 59:614-620

- Beamish R. J. y G. A. MacFarland. 1983. The forgotten requirements for age determination in fisheries biology. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 112:735-743.
- Beckman, D. W. y C. A. Wilson. 1995. Seasonal timing of opaque zone formation in fish otoliths. *In: D. H. Secor, J. M. Dean y S. E. Campana (Eds.) Recent developments in fish otolith research.* Univ. South Carolina Press, Columbia. 27-43 pp.
- Bernal, P. A. 1981. A review of low frequency response of pelagic ecosystem in the California Current. *CalCOFI Rep.* 22:49-62.
- Böhling, P. R., R. Hudd, H. Lehtonene, P. Karas, E. Neuman y G. Thoresson. 1991. Variations in year class strength of different perch (*Perca fluviatilis*) populations in the Baltic Sea with special reference to temperature and pollution. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48:1181-1183.
- Butler, J. L. 1991. Mortality and recruitment of Pacific sardine *Sardinops caeruleus caeruleus* larvae in the California Current. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48(9):1713-1723
- Butler, J. L., P. E. Smith y N .C. H. Lo. 1993. The effect of natural variability of the history parameters on anchovy and sardine populations. *CalCOFI Rep.* 34:55-62.
- Campana, S. E. 1996. Year class strength and growth rate in young Atlantic cod *Gadus morhua*. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 135:21-26.
- Cargnelli, L. M. y M. R. Gross. 1996. The temporal dimension in fish recruitment: birth date, body size, and size-dependent survival in sun fish (bluegill: *Lepomis macrochirus*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53(2):360-367.

- Carlander, K. D. 1981. Caution on the use of regression method of backcalculating lengths from scale measurements. *Fisheries* 6:2-4.
- Casselman, J. M. 1989. Determination of age and growth. In: A. H Weatherley y H. S Gill (Ed.) *The biology of fish growth*. Academic Press Limited. 209-242 p.
- Cisneros-Mata, M. A., M. O. Nevárez-Martínez y M. G. Hammann. 1995. The rise and fall of the Pacific sardine *Sardinops caeruleus caeruleus* Girard in the Gulf of California. *CalCOFI Rep.* 36(0):136-142.
- Cury, P. y C. Roy. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Can J. Fish. Aquat. Sci.* 46: 670-680.
- Cushing, D. H. 1975. *Marine ecology and fisheries*. Cambridge University Press. 278 pp.
- Cushing, D. H. 1995. *Population production and regulation in the sea. A fisheries perspective*. Press syndicate of the university of Cambridge. New York. 354 p.
- Cushing, D. H., J. G. K. Harris. 1973. Stock and the recruitment problem of density dependence. *Rapp. P. V. Réun Cons. Perm. Int. Explor. Mer* 164:142-155
- Erhardt, N. M. 1981. *Curso sobre métodos para la evaluación de recursos y dinámica de poblaciones. Parte III. Parámetros poblacionales*. FAO-CICIMAR. 134 pp.
- FAO. 1998. *Estadísticas de pesca. Capturas*, Vol. 86/1. Colecc. FAO: Pesca No. 54. Colecc. FAO: Estadística No. 152. FAO, Rome. 713 pp.
- Félix-Pico, E. F. 1993. Estudio biológico de la almeja catarina *Argopecten circularis* (Sowerby 11835) en Bahía Magdalena, B. C. S. México. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B. C. S.

- Félix-Pico, E. F., H. A. Salaices-Polanco, F. M. Alvarez y A. Alvarez. 1986. *Informe final: ecología de la fauna macrobéntica litoral de las costas de Baja California Sur*. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 43 pp.
- Félix-Uraga, R. y E. M. Ramírez-Rodríguez 1989. Verificación de las determinaciones de edad de *Sardinops caeruleus caeruleus* basadas en la lectura de otolitos. *Inv. Mar. CICIMAR* 4(1):59-64
- Félix-Uraga, R. 1990. Crecimiento de *Sardinops sagax* en Bahía Magdalena, México. *Inv. Mar. CICIMAR* 5(1):27-31.
- Félix-Uraga, R. 1992. Composición por edades de la sardina (*Sardinops caeruleus*) capturada en Bahía Magdalena, B.C.S., México, de 1981 a 1991. *Investigaciones Marinas, CICIMAR* 7(1):9-13.
- Félix-Uraga, R., R. M. Alvarado-Castillo y R. Carmona-Piña. 1996. The sardine fishery along the west coast of Baja California, 1981 to 1994. *CalCOFI Rep.* 37:188-199.
- Fischer, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K. E. Carpenter y V. H. Niem. 1995. *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental*. Vol. III Vertebrados, Parte 2 Roma, FAO. 1201-1813 pp.
- Fortier, L. y C. Quiñonez-Velázquez. 1998. Dependence of survival on growth in marine larval pollock *Pollockius virens* and haddock *Melanogrammus aeglefinis*: a field study based on individual hatch dates. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 179:1-2.
- Francis, M. P. 1993. Does water temperature determine year class strength in New Zealand snapper (*Pagrus auratus*, Sparidae)? *Fish. Oceanogr.* 2(2):65-72.

- Gallucci, V. F., S. B. Saila, D. J. Gustafson y B. J. Rostchild. 1995. *Stock assessment. Quantitative methods and applications for small scale fisheries*. CRC Lewis publishers. Boca Raton, Florida, USA. 527 pp.
- Gauldie, R. W. y D. G. A. Nelson. 1990. Otolith growth in fishes. *Comp. Biochem. Physiol.* 97A:119-135.
- Gayanilo, F. C., M. Soriano y D. Pauly. 1989. *A draft guide to complete ELEFAN*. ICLARM Software 2.70 International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Phillipines, 70pp.
- Gluyas-Millán, M. G. y C. Quiñonez-Velázquez. 1996. Evidencias de distintos grupos poblacionales de macarela *Scomber japonicus*. *Ciencias Marinas* 22(3):377-395.
- Grant, W. S. y R. W. Leslie. 1996. Late Pleistocene dispersal of Indian-Pacific sardine population in an ancient lineage of the genus *Sardinops*. *Mar. Biol.* 126(1):133-142.
- Gulland, J. A. 1965. Survival of the youngest stages of fish, and its relation to year-class strength. *INCSF Spec. Bull.* 6:636-371.
- Hammann, M. G., T. R. Baumgartner y Badén-Dagón. 1988. Coupling the Pacific sardine *Sardinops caeruleus caeruleus* life cycle with the Gulf of California pelagic environment. *CalCOFI Rep.* 29:102-109.
- Hampton, J. y J. Majkowski. 1986. Scientists fear STB problems worsening. *Austr. Fish.* 45(12): 6-9.
- Hasting, J. R. y R.M. Turner. 1965. Seasonal precipitation regimes in Baja California, Mexico. *Goegrafiska Annaler* 41a(4):204-223.

- Hernández-Vázquez, S. 1994. Distribution of eggs and larvae from sardine and anchovy off California and Baja California, 1951-1989. *CalCOFI Rep.* 35:94-107.
- Hjort, J. 1914. Fluctuations in the fisheries of northern Europe. Review in light of biological research. *Rapp. P. -v. Réun. Couns. Int. Explor. Mer.* 20:1-228.
- Holmgreen, D. y T. R. Baumgartner. 1993. A 250 year history of pelagic fish abundance from anaerobic sediments of the central Gulf of California. *CalCOFI Rep.* 34:60-68.
- Hilborn, R. y C. L. Walters. 1992. *Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty*. Chapman and Hall, New York. 570 pp.
- Horn, L. P. 1986. Distribution and growth of snapper *Crysophrys auratus* in the North Taranaki Bight, and management implications of these data. *New Zealand J. Mar. Freshwat. Res.* 20:419-430.
- Houde, E. D. 1987. Fish early life dynamics and recruitment variability. *Am. Fish. Soc. Symp.* 2:17-29.
- Hovenkamp, F. 1990. Growth dependent mortality of larval plaice *Pleuronectes paltessa* in the North Sea. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 82:95-101.
- Iles, T. D. 1973. Interaction of environmental and parent stock size in determining recruitment in the Pacific sardine as revealed by analysis of density dependent O-group growth. *Rapp. P. -v. Réun. Cons. Int. Explor. Mer* 164:228-240.
- Jacobson, L. D. y A.D. MacCall. 1995. Stock recruitment models for Pacific sardine *Sardinops caeruleus*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 52(3):566-577.

- Jearld, A., Jr. 1983. Age determination. In: L. A. Nielsen y D. Johnson (Ed.), *Fisheries Techniques*. Southern Printing Co. Blackburg, Virginia. 301-324 p.
- Jobling, M. 1995. *Environmental biology of fishes*. Chapman and Hall, London. 455 p.
- Lasker, R. 1964. An experimental study of the effect of the temperature on the incubation time, development and growth of Pacific sardine embryos and larvae. *Copeia* 399-405.
- Lasker, R. 1975. Field criteria for survival of anchovy larvae: the relation between inshore chlorophyll maxim layers and successful first feeding. *Fish. Bull.* 77:453-462.
- Lasker, R. 1981. Factors contributing to variable recruitment population of northern anchovy (*Engraulis mordax*) in the California Current: contrasting years 1975 through 1978. *Rapp. P. V. Réun. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.* 178:375-388.
- Litvak, M. K. y W. C. Legget. 1992. Age and size selective predation on larval fishes: the bigger is better hypothesis revisited. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 81(1):13-24.
- Lo, C. H. N., P. E. Smith y J. L. Butler. 1995. Population growth of northern anchovy and Pacific sardine using stage-specific matrix models. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 127:15-26.
- Luch-Belda, D. S., S. Hernández-Vázquez, D. B. Luch-Cota, C. A. Salinas-Zavala y R. A. Schwartzlose. 1991. The recovery of the California sardine as related to global change. *CalCOFI Rep.* 33:50-59.
- Lluch-Belda, D., F. Magallón y R. Schwartzlose. 1986. Large fluctuations in the sardine fishery in the Gulf of California: possible causes. *CalCOFI Rep.* XXVII:136-140.

- Lluch-Belda, D., M. E. Hernández-Rivas, R. Saldierma-Martínez y R. Guerrero-Caballero. 2000. Variabilidad superficial del mar en Bahía Magdalena, B. C. S. *Oceánides* 15(1):1-23.
- Lluch-Belda, D., R. A. Schwartzlose, R. Serra, R. Parrish, T. Kawasaki, D. H. Hedgecock y R. J. M. Crawford. 1992. Sardine and anchovy regime fluctuations of abundance in four regions of the world oceans: a workshop report. *Fish. Oceanogr.* 1(4):339-397.
- Macewicz, B. J., J. J. Castro-González, C. E. Cotero-Altamirano y J. R. Hunter. 1996. Adult reproductive parameters of Pacific sardine *Sardinops caeruleus* during 1994. *CalCOFI Rep* 37:140-151.
- Mann K. H. y J. R. N. Lazier 1996. *Dynamics of marine ecosystems. Biological-Physical interactions in the oceans*. Blackwel science, Malden, MASS, E.U.A. 394 pp.
- Manooch, , C. S. III. 1987. Age and growth of snappers and groupers. In: J. J. Polvina y S. Ralston. (Ed.), *Tropical snappers and groupers. Their biology and fisheries management*. West view press. London. 329-373 pp.
- Martínez-Cuapio, M. A. 1997. Edad y crecimiento de juveniles de sardina Monterrey *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) y su influencia en el crecimiento poblacional en la zona noroccidental de B. C., México durante el verano de 1994. Tesis de Maestría, CICESE. Ensenada, B. C. , México. 121 pp.
- Miller, T. J., L. B. Crowder, J. A. Rice y E. A. Marshall. 1988. Larval size and recruitment mechanisms in fishes; toward a conceptual frame work. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45(9):1657-1670.

- Morales-Bojórquez, E. 1999. Error de proceso y de observación en la estimación del reclutamiento de la sardina del Pacífico, *Sardinops caeruleus caeruleus* (Girard) en la costa suroeste de la península de Baja California, México. *Ciencias Marinas* 25(4):597-608.
- Morales-Nin, B. 1992. Determination of age and growth in bony fishes from otolith microstructure. FAO. *Fish. Tech. Pap.* 322. Rome, FAO. 51 pp.
- Mullin, M. M. 1993. *Webs and scales. Physical and biological processes in marine fish recruitment.* Washington sea Grant, Seattle, Wa. University of Washington Press. 135 pp.
- Murphy, G. Y. 1966. Population biology of the Pacific sardine (*Sardinops caeruleus*). *Proc. Calif. Acad. Sci., Ser. 4*, 34(1):84 pp.
- Myers, R.A. y M. J. Barrowman. 1996. Is fish recruitment related to spawner abundance? *Fish. Bull.* 94:707-724.
- Myers, R.A., G. Mertz y J. Bridson. 1997. Spatial scales of interannual recruitment variations of marine, anadromous, and freshwater fish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54(6):1400-1407.
- Overholtz, W. J. 1989. Density dependent growth in the northwest Atlantic stock of Atlantic mackerel. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.* 9:127-135.
- Overholtz, W. J., S. A. Murawski y W. L. Michaels. 1991. Impact of compensatory responses on stock assessment advice for Northwest Atlantic mackerel stock. *Fish. Bull. U.S.* 89:117-128.

- Parrish, R. H. N. S. Craig y A. Bakun. 1981. Transport mechanisms and reproductive success of fishes in California Current. *Biol. Oceanogr.* 1(2):175-203
- Parrish, R. H., R. Serra y W. S. Grant. 1989. The monotypic sardines, *Sardina* and *Sardinops*: their taxonomy, distribution, stock structure, and zoogeography. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46:2019-2036.
- Paul, L. J. 1976. A study on age, growth, and population structure of snapper, *Chrysophrys auratus* (Foster), in the Hauraki Gulf, New Zealand. *New Zealand Min. Agric. Fish., Fish. Res. Bull.* 13:62 pp.
- Pauly, D. 1987. Application of information on age and growth of fishes to fishery management. In: R. C. Sumerfelt y G. A. Hall (Ed.) *The biology of fish growth*. The Iowa State University Press. Ames. 495-516 pp.
- Quiñonez-Velázquez, C., M. O. Nevárez-Martínez y M. G. Gluyas-Millán. 2000. Growth and hatching dates of juvenile pacific sardine *Sardinops caeruleus* in the Gulf of California. *Fish. Res.* (Amsterdam) 48(2):99-106.
- Radovich, 1982. The collapse of the Pacific sardine fishery. What have we learned? *CalCOFI Rep.* 23:56-78.
- Ricker, W. E. 1973. Linear regressions in fishery research. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 30(3):409-434.
- Ricker, W. E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.* 191:382 pp.
- Ricker, W. E. 1984. Computation and uses of central trend lines. *Can. J. Zool.* 62:1987-1905

- Roy, C. y R. Mendelssohn. 1994. COADS (Comprehensive Ocean Atmosphere Data Set) on CD-ROM Vol. 5: Eastern Pacific Ocean. ORSTOM and NOAA. Climate and Eastern Ocean Systems (CEOS) Program.
- Roy, C., P. Cury y S. Kifani. 1992. Pelagic fish recruitment success and reproductive strategy in upwelling areas: environmental compromises. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 12:135-146.
- Rueda-Fernández, S. 1983. La precipitación como indicador de la variación climática de la península de Baja California Sur y su relación dendrocronológica. Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN, La Paz, B.C.S. México. 125 pp.
- Salinas-González, F. 1987. Cálculo de corrientes geostroficas e inducidas por el viento frente a Bahía Magdalena a partir de datos del crucero CICIMAR-8502. Tesis de maestría CICIMAR-IPN., La Paz, B.C.S. México. 116 p.
- Samuel, M., C. P. Mathews y A. S. Bawazeer. 1987. Age and validation of age from otoliths for warm water fishes from the Arabian Gulf. *In*: R. C. Summerfelt y G. E. Hall (Ed.), *Age and growth of fish*. The Iowa State University Press. Ames. 253-265 pp.
- Schwartzlose, R. A., J. Alheit, A. Bakun, T. R. Baumgartner, R. Cloete, R. J. M. Crawford, W. J. Fletcher, Y. Green-Ruíz, E. Hagen, T. Kawasaki, D. Luch-Belda, S. E. Lluch-Cota, A. D. MacCall, Y. Matsuura, M. O. Nevárez-Martínez, R. H. Parrish, C. Roy, R. Serra, K. V. Shut, M. N. Ward y J. Z. Zuzunaga. 1999. Worldwide large scale fluctuations of the sardine and anchovy populations. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 21:289-347.

- StatSoft, Inc. 1999. STATISTICA for windows (Computer program manual) Ver. 4.1
1998. Tulsa, OK. 23000 East, 14th Street
- Serra, R. y I. Tsukayama. 1988. Sinópsis de datos biológicos y pesqueros de la sardina *Sardinops caeruleus* en el Pacífico suroriental. *FAO Sinop. Pesca* 13 Rev 1:60 p.
- Shepherd, J. G. y D. H. Cushing. 1980. A mechanism for density-dependent survival of larval fish as the basis of stock recruitment relationship. *J. Cons. Int. Explor. Mer* 391:160-167.
- Sinclair, M. 1988. Marine populations. An essay on population regulation and speciation. University of Washington Press. Seattle. 252 pp.
- Smith, P. E. 1995. A warm decade in the Southern California Bight. *CalCOFI Rep.* 36:120-125.
- Smith, P. E., N. C. H. Lo y J. L. Butler. 1992. Life-stage duration and survival parameters as related to interdecadal population variability in the Pacific sardine. *CalCOFI Rep.* 33:41-49.
- Sparre, P., E. Ursin y S.C. Venema. 1989. *Introduction to tropical fish stock assessment. Part I manual.* FAO, *Fish. Tech. Pap.* No. 306. 1, 337 pp.
- Torres, J., M. Reinecke y R. Rodríguez. 1986. Ciclo reproductor de *Sardinops caeruleus* (sardina) en el Golfo de California. *Inv. Marinas. CICIMAR.* 3(1):52-65.
- Torres-Orozco, R. 1991. Sardina (*Sardinops caeruleus*) In: *Los peces de México.* AGT Editor. 182 pp.

- Watanabe, Y. E., H. Zenitani y R. Kimura. 1995. Population decline of the Japanese sardine *Sardinops melanostictus* owing to recruitment failures. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 52: 1609-1616.
- Weatherley, A. H. y H. S. Gill. 1989. *The biology of fish growth*. Academic Press Limited. 443 pp.
- Whitehead, P. J. P. y R. Rodríguez-Sánchez. 1995. Clupeidae. In: *Guía FAO para la indentificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico Centro-Oriental. Vertebrados. Parte II*:647-1200.
- Woodbury, D. y S. Ralston. 1991. Interannual variation in growth rates and backcalculated birth date distributions of pelagic juvenile rockfishes (*Sebastes* spp.) off the central California coast. *Fish. Bull.* 89:523-533.
- Yaremko, M. L. 1996. Age determination in pacific sardine, *Sardinops caeruleus*. *NOAA Tech. Mem. NMFS* 223:22 pp.

