



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE**  
**CIENCIAS MARINAS**



DINÁMICA POBLACIONAL DE LA SARDINA DEL PACÍFICO  
*Sardinops sagax* (Jenyns 1842) (Clupeiformes: Clupeidae), EN LA  
COSTA OESTE DE LA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA Y EL  
SUR DE CALIFORNIA

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS MARINAS

PRESENTA:

Roberto Félix Uruga

La Paz, Baja California Sur, México

Mayo de 2006

LISTA DE FIGURAS .....	III
LISTA DE TABLAS.....	VI
RESUMEN .....	VII
ABSTRACT .....	IX
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	4
3. HIPÓTESIS .....	9
4. OBJETIVOS .....	10
5. MATERIAL Y MÉTODOS .....	11
5.1. MUESTREO.....	11
5.2. LA ESTRUCTURA POR STOCKS DE LA POBLACIÓN DE SARDINA DEL PACÍFICO .....	12
5.2.1. Estacionalidad en las Capturas de Sardina.....	12
5.2.2. Temperatura Superficial del Mar .....	12
5.2.3. Identificación de Stocks de Sardina .....	13
5.2.4. Modelo de Distribución de la Sardina del Pacífico .....	14
5.3. COMPROBACIÓN DE LA EXISTENCIA DE STOCKS DE SARDINA DEL PACÍFICO .....	14
5.3.1. Morfometría de los Otolitos .....	14
5.3.2. Análisis Discriminante Multivariado .....	15
5.4. OTROS ASPECTOS DE LA DINÁMICA POBLACIONAL DE LA SARDINA DEL PACÍFICO .....	16
5.4.1. Determinación de Edad.....	16
5.4.2. Estructura de Tallas y Edades.....	17
5.4.3. Crecimiento Individual .....	17
5.4.4. Reclutamiento .....	18
5.4.5. Estimaciones de Abundancia .....	18
5.4.6. Importancia Relativa de los Stocks de Sardina en las Zonas de Pesca.....	18
6. RESULTADOS .....	19
6.1. MUESTREO .....	19
6.2. ESTRUCTURA POR STOCKS DE LA POBLACIÓN DE SARDINA DEL PACÍFICO .....	21
6.2.1. Estacionalidad en las Capturas de Sardina.....	21
6.2.2. Temperatura Superficial del Mar .....	22

6.2.3. Identificación de Stocks de Sardina .....	23
6.2.4. Modelo de Distribución de la Sardina del Pacífico .....	28
6.3.1. Morfometría de los Otolitos .....	31
6.3.2. Análisis Discriminante .....	33
6.4. OTROS ASPECTOS DE LA DINÁMICA POBLACIONAL DE LA SARDINA DEL PACÍFICO .....	37
6.4.1. Estructura de Tallas y Edades.....	37
6.4.2. Crecimiento Individual .....	42
6.4.3. Reclutamiento .....	48
6.4.4. Estimaciones de Abundancia .....	50
6.4.5. Importancia Relativa de los Stocks de Sardina en las Zonas de Pesca.....	52
7. DISCUSIÓN .....	54
7.1. ESTRUCTURA POR STOCKS DE LA POBLACIÓN DE SARDINA DEL PACÍFICO .....	54
7.2. COMPROBACIÓN DE LA EXISTENCIA DE STOCKS DE SARDINA DEL PACÍFICO .....	58
7.3. OTROS ASPECTOS DE LA DINÁMICA POBLACIONAL DE LA SARDINA DEL PACÍFICO .....	61
8. CONCLUSIONES.....	65
9. BIBLIOGRAFÍA .....	67
10. ANEXOS .....	74

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Localización de los cuadrados de 2° de Latitud x 2° de Longitud de donde se tomaron los promedios mensuales de TSM para Bahía Magdalena (BM), Isla Cedros (IC), Ensenada (EN) y San Pedro (SP)..... 13
- Figura 2. Variables morfométricas del otolito de la sardina del Pacífico. (AR, distancia desde el antirostum al borde posterior; R, distancia del borde posterior al antirostrum; RAR, distancia del rostrum al antirostum y AN, ancho del otolito medido transversalmente por el foco). ..... 15
- Figura 3. Descargas de sardina del Pacífico en las pesquerías de la costa oeste de la PBC y el SC..... 20
- Figura 4. Variación estacional de la captura mensual promedio en las pesquerías de la costa oeste de la PBC y el SC..... 21
- Figura 5. Promedios anuales de la TSM en Bahía Magdalena (BM), Isla Cedros (IC), Ensenada (EN) y San Pedro (SP). Las líneas punteadas son el promedio de TSM para el periodo de estudio en cada zona. .... 22
- Figura 6. Promedio mensual de la TSM en Bahía Magdalena (BM), Isla Cedros (IC), Ensenada (EN) y San Pedro (SP). .... 23
- Figura 7. Captura total de sardina del Pacífico por grado de TSM en la PBC y el SC. (A) Total acumulado para el periodo de 1981 a 2002 y (B) Distribución anual. .... 25
- Figura 8. Captura mensual de sardina del Pacífico en Bahía Magdalena por grado de TSM en el periodo de 1981 a 2002. .... 26
- Figura 9. Captura mensual de sardina del Pacífico en Isla Cedros por grado de TSM en el periodo de 1981 a 1994. .... 27
- Figura 10. Captura mensual de sardina del Pacífico en Ensenada por grado de TSM en el periodo de 1983 a 2002. .... 27
- Figura 11. Captura mensual de sardina del Pacífico en San Pedro por grado de TSM en el periodo de 1982 a 2002. .... 28
- Figura 12. Modelo conceptual de distribución espacio-temporal de la sardina del Pacífico donde se considera la existencia de tres stocks: Stock de afinidad cálida en rojo, de afinidad templada en verde y de afinidad fría en azul. .... 29
- Figura 13. Captura mensual de sardina del Pacífico en Bahía Magdalena (a la derecha de la línea curva) y Ensenada (a la izquierda de la línea curva) por grado de TSM en el periodo de 1981 a 2002. Las elipses señalan las épocas y localidad

de donde se tomaron las muestras sinópticas de otolitos usadas en el ADM para representar los stocks cálido (en rojo), templado (en verde) y frío (en azul).....	31
Figura 14. Distribución de frecuencias de los valores de lambda de Wilks resultantes de las cincuenta comparaciones pareadas usando el ADM, lambda promedio y el porcentaje de pruebas no significativas (p.p.n.s.).....	35
Figura 15. Estructura anual de tallas y edades de la sardina del Pacífico descargada en Bahía Magdalena en el periodo de 1981 a 2002. ....	38
Figura 16. Estructura anual de tallas y edades de la sardina del Pacífico descargada en Ensenada en el periodo de 1989 a 2002. ....	39
Figura 17. Estructura anual de tallas y edades de la sardina del Pacífico descargada en San Pedro en el periodo de 1983 a 2002. ....	40
Figura 18. Estructura de edades por zona de pesca de la sardina del Pacífico en el periodo de 1981 a 2002. ....	41
Figura 19. Estructura de edades por stock de la sardina del Pacífico en el periodo de 1981 a 2002. ....	41
Figura 20. Distribución de frecuencias de tallas por grupo de edad de la sardina del Pacífico descargada en Bahía Magdalena. ....	42
Figura 21. Distribución de frecuencias de tallas por grupo de edad de la sardina del Pacífico descargada en Ensenada. ....	43
Figura 22. Distribución de frecuencias de tallas por grupo de edad de la sardina del Pacífico descargada en San Pedro. ....	43
Figura 23. Distribución de frecuencias de tallas por grupo de edad de la sardina del Pacífico del stock cálido. ....	44
Figura 24. Distribución de frecuencias de tallas por grupo de edad de la sardina del Pacífico del stock templado. ....	45
Figura 25. Distribución de frecuencias de tallas por grupo de edad de la sardina del Pacífico del stock Frío. ....	45
Figura 26. Curvas de crecimiento individual de la sardina del Pacífico por zona de pesca.....	47
Figura 27. Curvas de crecimiento individual de la sardina del Pacífico por stock. ....	47
Figura 28. Indicador del reclutamiento de la sardina del Pacífico por zona de pesca.....	48
Figura 29. Indicador del reclutamiento por stock de sardina del Pacífico.....	49

Figura 30. Comparación del Indicador del reclutamiento y la captura de sardina en la costa oeste de la PBC y el SC.....	49
Figura 31. Biomasa anual del stock templado. Biomasa total (0+); biomasa de los individuos de un año y mayores (1+); biomasa de los individuos de dos años y mayores (2+); biomasa de los individuos de tres años y mayores (3+) y captura obtenida del stock templado.....	50
Figura 32. Biomasa anual del stock frío. Biomasa total (0+); biomasa de los individuos de un año y mayores (1+); biomasa de los individuos de dos años y mayores (2+); biomasa de los individuos de tres años y mayores (3+) y captura obtenida del stock frío. ....	51
Figura 33. Biomasa potencialmente explotable de los stocks templado y frío de la sardina del Pacífico. ....	52
Figura 34. Importancia relativa de los tres stocks de sardina en las pesquerías de Bahía Magdalena, Isla Cedros, Ensenada y San Pedro, durante 1981 a 2002. ...	53
Figura 35. Importancia relativa de los tres stocks de sardina en la costa oeste de la PBC y el SC, durante 1981 a 2002. ....	54

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2. Número de otolitos de sardinas del grupo de edad uno de Bahía Magdalena y Ensenada, a los que se les tomaron las variables morfométricas para el análisis discriminante multivariado. ....	33
Tabla 3. Resultado de las comparaciones de las variables morfométricas de los otolitos mediante el análisis discriminante multivariado. ....	34
Tabla 4. Resultados estadísticos del análisis discriminante intra-stock realizado con dos muestras balanceadas tomadas al azar de cada uno. ....	36
Tabla 5. Exactitud de la clasificación discriminante para los otolitos de los tres stocks de sardina del Pacífico. Los números de otolitos bien clasificados están en la diagonal (en negritas). ....	37
Tabla 6. Estimación de los parámetros de crecimiento de la sardina del Pacífico por zona de pesca y por stock, en el periodo de 1981 a 2002. ....	46

## RESUMEN

Tres stocks de sardina del Pacífico fueron identificados utilizando datos mensuales de captura y temperatura superficial del mar de Bahía Magdalena, Isla Cedros y Ensenada en México, y San Pedro en EUA. Un stock parece estar adaptado a temperaturas mayores de 22 °C (stock cálido), otro a temperaturas entre 17-22 °C (stock templado) y el tercero a temperaturas menores de 17 °C (stock frío). Se elaboró un modelo conceptual para describir la distribución espacio temporal de estos tres stocks y explicar la variabilidad estacional de las capturas en las zonas de pesca a lo largo de la costa oeste de la Península de Baja California y el sur de California. Se plantea que durante el invierno los tres stocks inician una migración hacia el sur, justo con la intensificación del flujo de la corriente de California. En primavera, con la influencia total de la corriente de California, todos los stocks alcanzan su distribución más sureña. En verano inicia la migración hacia el norte de los tres stocks, coincidiendo con el debilitamiento de la corriente de California y con la intensificación de la contra corriente norecuatorial. En otoño, los tres stocks alcanzan su distribución más norteña. La existencia de estos stocks fue evaluada aplicando un análisis discriminante multivariado a las variables morfométricas de los otolitos de sardina. El análisis fortaleció la hipótesis de la existencia de tres stocks de sardina del Pacífico en la zona de estudio y al modelo de distribución propuesto.

La edad de la sardina determinada mediante la lectura de otolitos nos indicó que la captura realizada durante 1981 a 2002, estuvo compuesta de pocos grupos de edad, aunque en algunos años fue posible encontrar hasta siete grupos de edad. En la década de 1980 predominaron los individuos del grupo de edad 2 y en la de

1990 los del grupo de edad 1. La estimación de los parámetros del modelo de crecimiento de Bertalanffy nos indicó una alta tasa de crecimiento individual, alcanzando alrededor del 70% de su longitud máxima durante el primer año de vida. Los parámetros del modelo también mostraron un gradiente latitudinal donde las sardinas del sur presentaron un valor de  $L_{\infty}$  menor y una tasa de crecimiento mayor que las del norte. Los grandes reclutamientos registrados principalmente en los años de 1984, 1991, 1994 y 1999 tuvieron un gran impacto al aumentar las capturas de sardina en la costa oeste de la Península de Baja California y el sur de California. La estimación de biomasa de la sardina del Pacífico realizada mediante el análisis de la población virtual considerando los valores de  $M=0.4$  y de  $F=0.5$ , indicó que en el stock templado alcanzó un máximo de biomasa más de 333,000 t en el año de 1996, mientras que el stock frío tuvo una biomasa de más de 277,000 t en 1999. El stock templado tuvo un mayor impacto en las pesquerías de la costa oeste de la Península de Baja California y el sur de California, alcanzando más del 55% de las capturas de sardina del Pacífico, seguido del stock frío con 33% y por último el stock cálido con solo el 11%.

## ABSTRACT

Three Pacific sardine stocks were identified using monthly data of catch and sea surface temperature from Magdalena Bay, Cedros Island and Ensenada in Mexico, and San Pedro in USA. A stock seems to be adapted to temperatures bigger than 22 °C (warm stock), another to temperatures among 17-22 °C (temperate stock) and the third to temperatures smaller than 17 °C (cold stock). A conceptual model was elaborated to describe the space-time distribution of these three stocks and to explain the seasonal variability of the catches in the fishing areas along the west coast of the Baja California Peninsula and southern California. The model shows that the southward movement of the three stocks begins in winter with the strengthening of flow of the California Current. In spring, with the full influence of the current of California, all the stocks reach their southernmost distribution. In summer, the northward movement of the three stocks begins with the onset of the equatorial counter-current flow. In fall, all stocks reach their northernmost latitudinal distribution. The existence of these stocks was evaluated applying a multivariate discriminant analysis to the morphometric variables of the sardine otoliths. The results strengthened the hypothesis of the presence of three stocks of the Pacific sardine in the study area and the proposed distribution model.

The age of sardines determined with otoliths readings, indicated us that the landings during 1981 to 2002, was made up of few age groups, although in some years it was possible to find up to seven age groups. In the 80s prevailed the individuals of the age group 2, and in the 90s, those of the age group 1. The estimate of the parameters of Bertalanffy's growth model indicated us a high rate of individual growth, reaching around 70% of its maximum size during the first year

of life. The parameters of model also showed a latitudinal gradient, where the sardines of the south presented a smaller value of  $L_{\infty}$  and a high growth rate that those of the north. The huge recruitments registered mainly in the years of 1984, 1991, 1994 and 1999, had a great impact increasing the sardine catches in the west coast of the Baja California Peninsula and southern California. The biomass of the Pacific sardine estimated with virtual population analysis considering the values of  $M=0.4$  and  $F=0.5$ , indicated that in the study area a maximum was reached for the temperate stock of more than 333,000 t in 1996, while the cold stock had a biomass of more than 277,000 t in 1999. The temperate stock had a bigger impact on fisheries off the west coast of the Baja California Peninsula and Southern California, reaching more of 55% of Pacific sardine landings, followed by cold stock with 33% and for last the warm stock was only 11%.

## 1. INTRODUCCIÓN

El interés por el estudio de las pesquerías de pelágicos menores donde se incluye a sardinas, anchovetas y arenques, se debe en parte a las grandes capturas que se obtienen de este grupo de peces, que representan alrededor del 25% de la captura total mundial de recursos pesqueros (FAO 1998). También se debe a que estas poblaciones presentan grandes fluctuaciones en su abundancia, las cuales son consecuencia de cambios en su hábitat (Kawasaki & Omori 1988, citado en McFarlane & Beamish 1999). Los cambios de régimen en el ambiente oceánico, se reconocen ahora como factores importantes que afectan la abundancia de una gran diversidad de peces (Lluch-Belda et al. 1989, McFarlane & Beamish 1999, Rodríguez-Sánchez et al. 2001). En las regiones más productivas del océano existen ejemplos claros donde se han presentado amplias fluctuaciones en la abundancia de peces pelágicos menores. (Schwartzlose et al. 1999).

Las sardinas son peces pelágicos que habitan aguas costeras templadas y subtropicales, que pertenecen a dos géneros monotípicos relacionados, *Sardina* y *Sardinops*. *Sardina* existe como un grupo de poblaciones en el Atlántico oriental y el Mediterráneo, y *Sardinops* abarca cinco poblaciones regionales aisladas geográficamente: (1) Sudáfrica-Namibia, (2) Australia-Nueva Zelanda, (3) Chile-Perú, (4) Japón-Rusia y (5) México-EUA- Canadá (Grant & Leslie 1996).

Dos de las características más significativas de las sardinas son su extensa distribución anti-tropical y su asociación a los sistemas de corrientes de mayor productividad de los océanos. Cuando su tamaño poblacional es alto, ellas dominan por completo la zona nerítica de dichos sistemas de corriente (Parrish et al. 1989).

En el sistema de la Corriente de California, la sardina del Pacífico *Sardinops sagax*, sostuvo la pesquería mas grande de Norteamérica durante 1930 a 1945. Esta pesquería se inició en la parte central de California a finales de 1800 y se desarrolló en respuesta a la demanda de alimento durante la 1ª guerra mundial, alcanzando una captura máxima de 790,000 t en la temporada de 1936-37 y un promedio de 600,000 t por temporada. La pesquería empezó a colapsarse a finales de los años 40s y posteriormente las capturas disminuyeron hasta menos de 100 t por año en la década de 1970 (Wolf 1992).

La pesca de la sardina del Pacífico en aguas mexicanas se inició en 1929 frente a las costas de Ensenada, con capturas de 2,600 t anuales. El colapso de la pesquería en California a partir de la década de 1950, que incluyó también la región de Ensenada, determinó el desplazamiento hacia el sur de la pesquería mexicana hacia nuevas áreas como Isla Cedros y posteriormente hasta Bahía Magdalena (Félix-Uraga 1986).

En Columbia Británica, Canadá, la sardina del Pacífico constituyó la pesquería más grande desde la mitad de la década de 1920 hasta mediados de los años 40s. Durante este periodo las capturas promediaron 40,000 t anuales. Esta pesquería colapsó en 1947 y desde entonces la sardina desapareció totalmente de sus aguas (McFarlane & Beamish 1999).

En cada uno de los mayores sistemas de corrientes donde habitan las poblaciones de sardina, actualmente se cree que estas están integradas de varios stocks. Este planteamiento se sustenta en parte, por la presencia de varias áreas de desove separadas geográficamente (Parrish et al. 1989). La existencia de una estructura de stocks en la sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*) a lo largo de su rango

geográfico, ha sido discutida por los biólogos pesqueros en los últimos sesenta años (De La Cruz-Agüero & García-Rodríguez 2004).

En los últimos 20 años, las capturas de sardina del Pacífico han presentado un incremento sostenido en el sistema de la corriente de California. Este incremento se detectó primero en la costa oeste de la Península de Baja California, luego en las costas de California, Oregon, Washington y finalmente en Columbia Británica. Actualmente, en todos estos lugares existen importantes pesquerías de este recurso (Wolf 1992, Félix-Uraga et al. 1996, McFarlane & Beamish 1999, 2001).

Dada la gran variabilidad en abundancia, disponibilidad y captura de la sardina del Pacífico, es necesario hacer un análisis de su dinámica poblacional con un enfoque nacional y transnacional, para fortalecer las políticas de manejo de este recurso, que actualmente es el más abundante en el sistema de la corriente de California y es explotado tanto en Canadá, EUA y México. El estudio de la dinámica poblacional debe considerar en cada zona de pesca, la variación en tallas y edades, la magnitud del reclutamiento, estimaciones de mortalidad, crecimiento individual, discriminación de los posibles stocks, la abundancia de cada uno de ellos, su distribución espacio-temporal y su importancia en la captura. En el presente trabajo, se abordan estos aspectos de la dinámica poblacional de la sardina del Pacífico a lo largo de la costa oeste de la Península de Baja California y el sur de California, con énfasis en su estructura poblacional durante el período de 1981 a 2002, cuando se detectó la actual recuperación de la población de sardina del Pacífico.

## 2. ANTECEDENTES

La sardina del Pacífico *Sardinops sagax*, es actualmente el recurso pesquero más abundante en el sistema de la corriente de California (SCC). Cuando la abundancia de esta población es muy alta, su distribución es desde el sureste de Alaska hasta el sur de la Península de Baja California y Golfo de California (Kramer & Smith 1971, Parrish et al. 1989). Cuando su abundancia es baja, como ocurrió desde los años 50s hasta los 70s, la sardina no se presentó en cantidades comerciales al norte de Bahía Concepción.

Debido a la importancia que tuvo la pesquería de sardina del Pacífico en los años 30s y 40s, se publicaron diversos trabajos que abordaron varios aspectos de su dinámica poblacional. Al inicio de la pesquería de sardina en California, se capturaban individuos de hasta once años de edad y 270 mm de longitud patrón, aunque predominaban los de dos a cuatro años, con tallas entre 196 mm y 235 mm (Felin & Phillips 1948, Clark & Marr 1955, Felin et al. 1958, Wolf 1961). En la parte norte de su rango de distribución se encontraba un mayor número de sardinas de 8 años, mientras que en la parte sur estos ejemplares eran escasos. Cuando se presentó la crisis en la pesquería, al final de los años 40s, la edad promedio de los peces era de 1 y 2 años (Felin & Phillips 1948). En estos trabajos para la determinación de edad de la sardina se utilizaron escamas y otolitos aplicando los criterios de Walford & Mosher (1943a, 1943b).

El crecimiento individual de la sardina del Pacífico es muy rápido, alcanzando más del 70% de la talla máxima ( $L_{\infty}$ ) en el primer año de vida (Félix-Uraga 1990, Quiñónez-Velázquez et al. 2002). Holt (1959) reportó que las tasas de crecimiento individual se incrementan de norte a sur, pero que las tallas máximas disminuyen.

La sardina del Pacífico es una especie capaz de realizar grandes migraciones, las cuales son a veces muy rápidas, ya que peces que fueron marcados al sur de California en febrero y marzo se recapturaron frente a Columbia Británica en julio. Ejemplares marcados y liberados en Columbia Británica en julio y agosto, fueron recapturados frente a California en diciembre y enero siguientes. La rapidez de estos movimientos está asociada a la talla de los peces, ya que las sardinias más grandes se mueven más rápido y recorren mayores distancias. Las sardinias más pequeñas tienden a permanecer más tiempo en las localidades donde fueron marcadas o hacen migraciones más cortas (Clark & Janssen 1945).

A bajos niveles de biomasa, la sardina madura al primer año de edad mientras que a altos niveles de biomasa la edad de primera madurez se incrementa (MacCall 1979). Aunque es posible que la sardina desove durante todo el año, la mayor actividad reproductiva se presenta de marzo a agosto entre San Francisco y Bahía Magdalena y de enero a abril en el Golfo de California (Allen et al. 1990). La mayor área de desove es alrededor de las islas en el sur de California y frente a la parte central de Baja California. Sin embargo, en algunas temporadas el desove se extiende hacia el norte en respuesta a cambios favorables en el hábitat. Las áreas de crianza frente a California y en el norte de Baja California, hacen grandes contribuciones a la población (Ahlstrom 1966). Hay evidencias de que la mayor parte de las sardinias adultas capturadas en California provienen de estas áreas de crianza (Clark 1947). Los requerimientos de temperatura para el desove aparentemente son flexibles, ya que los huevos de sardina son más comunes de 22° C a 25° C en el Golfo de California, de 17° C a 21° C frente al centro y sur de

la Península de Baja California y de 13° C a 15° C frente a las costas de California (Lluch-Balda et al. 1991b).

El reclutamiento de la sardina es altamente variable y está relacionado a los procesos ambientales que ocurren en una escala de tiempo decadal. Algunos estudios de la relación stock reclutamiento muestran que la abundancia de sardinas jóvenes disminuye con altos niveles de biomasa desovante, mientras que en otros no se encontró ninguna relación (Clark & Marr 1955, Murphy 1966, MacCall 1979). En estudios más recientes se encontró que tanto los factores dependientes de la densidad así como los factores ambientales son muy importantes para el éxito del reclutamiento (Jacobson & MacCall 1995).

Varios estudios han sugerido que antes del colapso de la pesquería en California, existían varios stocks de sardina del Pacífico (Hedgecock et al. 1989). Radovich (1982) señala la presencia de hasta cuatro stocks de sardina. Los tres stocks más sureños fueron definidos usando antígenos sanguíneos (Sprague & Vrooman 1962, Vrooman 1964). El stock norteño fue definido de acuerdo a estudios de edad, crecimiento y dinámica poblacional. No obstante que las áreas de distribución de los stocks presentaron superposición, las evidencias sugieren que los stocks adyacentes generalmente no ocuparon las mismas áreas al mismo tiempo. Todos los stocks tendieron a ocupar una distribución más sureña durante el invierno de los años fríos, y más norteña en el verano de los años cálidos.

Con base en información de temperatura y productividad, Lluch-Belda et al. (1991a) propusieron un modelo hipotético para explicar las fluctuaciones de abundancia de la población de sardina del Pacífico. Señalan que durante los períodos fríos la población se retrae hacia el sur, reduciendo de esta manera su

área para un desove exitoso. Los períodos cálidos permiten a la sardina expandir sus áreas de desove y de residencia. También comentan que la principal región para la supervivencia de la sardina se localiza en Punta Eugenia, y en años cálidos, en Punta Concepción. Durante los períodos cálidos la sardina puede desovar tan al norte como Monterey y San Francisco, California, y los adultos de mayor talla pueden migrar tan al norte como Columbia Británica. Félix-Uraga et al. (1996) describen movimientos migratorios de la sardina del Pacífico a lo largo de la costa occidental de la Península de Baja California, basados en datos de captura estacional y propusieron la existencia de tres stocks en esta región.

Se han mostrado evidencias fenotípicas de la existencia de varios stocks de sardina en el SCC, a pesar de la poca variabilidad genética entre sardinas de estos stocks (Hedgecock et al. 1989). Para el manejo de pesquerías se requiere, entre otros aspectos, conocer el número de stocks que conforman la población explotada y comprender como interactúan entre ellos mismos y su medio ambiente (Ferris & Berg 1987), además de definir los límites geográficos de su distribución (Rowe & Hutchings 2003). La descripción de los componentes (stocks) de la población, no está limitada al uso de diferencias genéticas entre ellos ya que no se trata de describir las relaciones reproductivas, sino simplemente identificar los diferentes grupos de peces. Por ejemplo, una diferencia morfológicamente estable entre dos stocks es igualmente útil para identificar individuos, ya sea que la diferencia esté basada genéticamente o ambientalmente (Allendorf et al. 1987).

Los principales aspectos del concepto de stock parecen incluir la segregación temporal y espacial así como el aislamiento reproductivo. Generalmente se reconoce que para propósitos de manejo, una unidad de stock no necesariamente

corresponde a un grupo genéticamente distinto, ya que las características fenotípicas a menudo son usadas para la identificación de los stocks (Saila & Martin 1985).

Un método adecuado para la identificación de stocks de peces se basa en el uso de datos morfológicos, donde la forma del pez se cubre con una red uniforme de medidas de distancia de manera cruzada. Este procedimiento también es aplicable a los otolitos de los peces (Campana & Casselman 1993). Estos datos son fáciles de coleccionar ya que las imágenes de los individuos o de sus otolitos pueden digitalizarse y mediante modernos programas de medición se obtienen los datos de manera precisa y confiable. Posteriormente, los datos morfométricos pueden analizarse mediante procedimientos estadísticos multivariados para evaluar las diferencias entre los individuos y grupos (Winans 1985). Esta metodología se ha aplicado con éxito para la identificación de stocks en muchas especies de peces (Podestá 1989, Campana & Casselman 1993, Cadrin & Friedland 1999, Bolles & Begg 2000).

Para el manejo adecuado de las pesquerías que explotan varios stocks, es esencial que cada uno sea identificado y se evalúe la magnitud de su contribución a la captura total que permita elaborar planes de explotación por stock (Pella & Milner 1987, Utter 1991).

### 3. HIPÓTESIS

Cuando una población de peces es explotada en una gran área de distribución, es importante conocer si esa población consiste de uno o varios stocks, y si cada uno se mantiene en una zona determinada, o si hay mezcla entre ellos (Clark 1947). La sardina del Pacífico *Sardinops sagax*, la cual es explotada con intensidad variable a lo largo de una línea de costa de más de 3,000 km, desde Columbia Británica hasta el interior del Golfo de California, podría estar integrada por varios stocks. Estos tendrían características propias y responderían de manera diferente a la presión del ambiente y a la pesca. Varios stocks se presentarían en las zonas de pesca de Bahía Magdalena, Isla Cedros, Ensenada y San Pedro en distintas épocas del año, impactando diferencialmente a la captura obtenida en estos lugares.

El concepto de stock que se considera en el presente planteamiento de investigación resulta de una combinación de las ideas de Cushing (1981) y Ricker (1975) y es: La parte de una población de peces que se considera desde el punto de vista de su utilización actual, que posee los mismos parámetros de crecimiento, mortalidad y un área única de desove, a la cual los adultos regresan año tras año. En términos generales, un stock puede pensarse como una parte de la población que puede ser tratada independientemente, ya que cada una puede responder de modo único a la explotación o a los cambios ambientales (Saila & Martin 1985).

#### 4. OBJETIVOS

##### OBJETIVO GENERAL

Identificar los stocks de sardina del Pacífico *Sardinops sagax* en la costa oeste de la Península de Baja California y el sur de California, durante el período de 1981 a 2002. Analizar su dinámica poblacional, sus variaciones en abundancia y su grado de participación en las pesquerías de Bahía Magdalena, Isla Cedros, Ensenada y San Pedro.

##### OBJETIVOS PARTICULARES

- Identificación de stocks de sardina del Pacífico en la costa oeste de la Península de Baja California y el sur de California.
- Integrar un modelo de distribución espacio-temporal de la sardina del Pacífico en la costa oeste de la Península de Baja California y el sur de California.
- Comprobación de la existencia de stocks de sardina del Pacífico mediante análisis discriminante multivariado usando datos de la morfometría de los otolitos.
- Determinación de los grupos de edad mediante la lectura de otolitos.
- Estimación de la estructura por tallas y edades en la captura.
- Estimación de los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy
- Estimación del reclutamiento.
- Abundancia de los stocks y de la población.
- Importancia relativa de los stocks de sardina en cada zona de pesca.

## 5. MATERIAL Y MÉTODOS

### 5.1. MUESTREO

Los datos para esta investigación, provienen de los muestreos mensuales realizados por personal del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) en la pesquería de sardina en Bahía Magdalena durante 1981 a 2002, y en Isla de Cedros desde 1985 a 1987 y en 1994. Los datos de la zona de Ensenada, provienen de los muestreos realizados por personal del Centro Regional de Investigación Pesquera (CRIP) de 1989 a 2002. Los de San Pedro, California, fueron proporcionados por personal del Southwest Fisheries Science Center (SWFSC) de La Jolla, California.

El muestreo consistió en recolectar de la banda de desembarque o directamente de la bodega de los barcos, aproximadamente 100 individuos elegidos al azar a los cuales se les midió la longitud patrón, registrándose su frecuencia de aparición en intervalos de 5 mm (muestreo masivo). De cada intervalo de longitud se eligieron al azar hasta cinco peces (muestra biológica). La muestra biológica se trasladó al laboratorio donde se registraron las longitudes patrón y total ( $\pm 1$  mm), peso total ( $\pm 1$  g) y se recolectaron el par de otolitos sagittae para determinar la edad.

Los datos de las descargas mensuales de sardina en Bahía Magdalena, Isla Cedros y Ensenada durante el periodo de 1981 a 2002, fueron obtenidos directamente de los registros en las plantas enlatadoras que operan en estas zonas de pesca. Los datos de captura del sur de California, fueron proporcionados también por personal del SWFSC de La Jolla, California. La información anual de la captura de sardina se graficó para cada zona de pesca y para el total de ellas.

## 5.2. LA ESTRUCTURA POR STOCKS DE LA POBLACIÓN DE SARDINA DEL PACÍFICO

### 5.2.1. Estacionalidad en las Capturas de Sardina

Para representar la estacionalidad de las capturas en cada zona de pesca, se obtuvo el promedio mensual de las descargas de sardina en Bahía Magdalena, Isla Cedros, Ensenada y San Pedro, para el periodo de 1981 a 2002.

### 5.2.2. Temperatura Superficial del Mar

Los datos de la temperatura superficial del mar (TSM) son promedios mensuales referidos a cuadrados de 2° de latitud x 2° de longitud, localizados frente a cada zona de pesca de sardina en la costa oeste de la Península de Baja California (PBC) y el sur de California (SC), durante 1981 a 2002. Estos datos fueron proporcionados por el Hadley Center Global Sea Ice and Sea Surface Temperature (HadISST) de Inglaterra. Las coordenadas de los cuadrados seleccionados fueron: para Bahía Magdalena 23-25° N y 112-114° W; para Isla Cedros 30-32° N y 115-117° W; para Ensenada 30-32° N y 117-119° W; y para San Pedro 32-34° N y 118-120° W (Fig. 1).

Para cada localidad se describieron las diferencias anuales de la TSM respecto al promedio para el periodo de 1981 a 2002. Además, el promedio mensual de la TSM de todo el periodo fue graficado para establecer la variación estacional en cada zona de pesca.

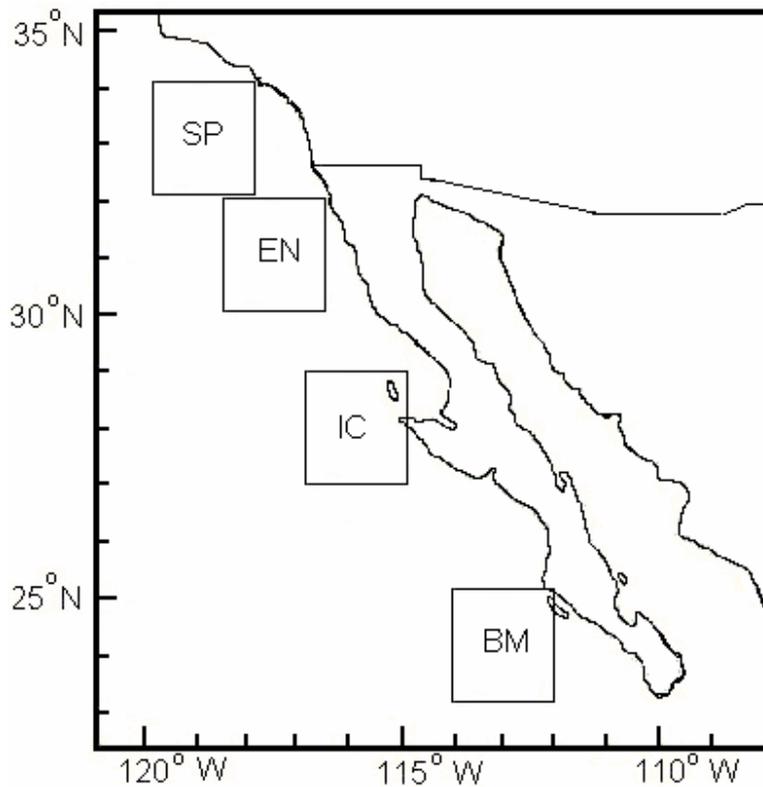


Figura 1. Localización de los cuadrados de 2° de Latitud x 2° de Longitud de donde se tomaron los promedios mensuales de TSM para Bahía Magdalena (BM), Isla Cedros (IC), Ensenada (EN) y San Pedro (SP).

### 5.2.3. Identificación de Stocks de Sardina

La identificación de los stocks de sardina del Pacífico en la costa oeste de la PBC y el SC, se realizó con base en un análisis gráfico de los datos de captura combinados con los de TSM para las zonas de pesca de Bahía Magdalena, Isla Cedros, Ensenada y San Pedro, en el periodo de 1981 a 2002.

Se hicieron dos series de gráficas: una para ver el comportamiento anual de las capturas por TSM y otra para analizar el comportamiento mensual. Para la primera serie, la información de la captura mensual fue agrupada (sumada) por intervalo de 1° C (i.e. 17° C = 16.5-17.4° C) de TSM por año, y se hicieron gráficas

tridimensionales para cada zona de pesca. También se hizo una gráfica del mismo tipo para todas las zonas de pesca juntas. Además, la captura total acumulada por intervalo de 1° C de TSM, fue graficada para cada zona de pesca y para todas las zonas juntas. La segunda serie de gráficas tridimensionales fueron hechas sumando la captura agrupada por intervalos de 1° C para cada mes, en las zonas de Bahía Magdalena, Ensenada y San Pedro. Ambas series de gráficas se hicieron con el software Surfer® (ver. 8).

#### 5.2.4. Modelo de Distribución de la Sardina del Pacífico

Con base en la información del número de stocks definidos en el punto anterior y en la estacionalidad de las capturas de sardina y de la TSM en cada zona de pesca, se elaboró de manera deductiva, un modelo conceptual de distribución espacial y temporal de los stocks de sardina del Pacífico en la costa oeste de la PBC y el SC.

### 5.3. COMPROBACIÓN DE LA EXISTENCIA DE STOCKS DE SARDINA DEL PACÍFICO

#### 5.3.1. Morfometría de los Otolitos

Las imágenes de los otolitos sagittae de las sardinas muestreadas en Bahía Magdalena y Ensenada durante 1994 a 2002, fueron digitalizadas usando una cámara de video adaptada a un microscopio estereoscópico con un aumento de 12x, conectada a una tarjeta digitalizadora (Targa 1000, Truevision ®) instalada en una computadora. Únicamente para estas dos localidades fue posible obtener imágenes de los otolitos. Sobre la cara distal del otolito izquierdo se midieron cuatro distancias mediante el software Sigma Scan Pro® (Fig. 2). El otolito derecho fue medido solamente cuando el izquierdo estuvo quebrado. Para reducir

el efecto de la talla dependiente de la edad, el análisis morfométrico se restringió solo a las sardinas del grupo de edad predominante en las capturas del período mencionado.

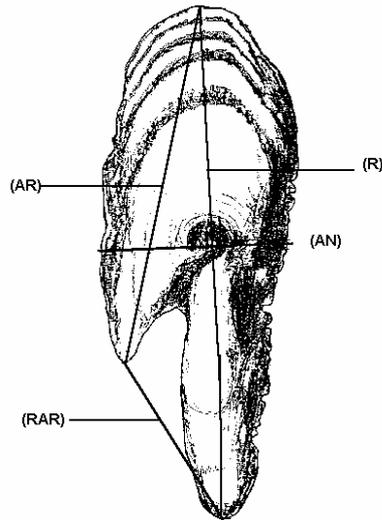


Figura 2. Variables morfométricas del otolito de la sardina del Pacífico. (AR, distancia desde el antirostum al borde posterior; R, distancia del borde posterior al antirostrum; RAR, distancia del rostrum al antirostum y AN, ancho del otolito medido transversalmente por el foco).

### 5.3.2. Análisis Discriminante Multivariado

El análisis discriminante multivariado (ADM) fue usado para comparar las variables morfométricas de los otolitos de la sardina del Pacífico y evaluar su grado de similitud (o diferencia) entre los stocks definidos *a priori* mediante el análisis de los datos de captura y TSM en la costa oeste de la PBC y el SC.

Para tener mayor seguridad en la representatividad de los stocks de sardina, las variables morfométricas se tomaron de los otolitos provenientes de los períodos de capturas máximas de sardina en las zonas de pesca de Bahía Magdalena y

Ensenada. De esta manera, se obtuvieron cuatro muestras sinópticas que fueron la base para una primera examinación con el ADM de las seis posibles comparaciones pareadas entre estas muestras. Previo a la aplicación del ADM se evaluó la normalidad de las variables utilizando la prueba de Kolmogorov-Smirnov contenida en el software Statistica® (Zar 1996).

Para reducir el sesgo debido al tamaño desigual de las muestras y contar con un segundo análisis más robusto del ADM, de cada muestra sinóptica se seleccionó al azar una muestra de tamaño 50 y se efectuaron las seis posibles comparaciones pareadas. Este procedimiento se repitió cincuenta veces. Con esto se obtuvo una distribución de frecuencias de los valores de Lambda de Wilks para cada comparación, la cual se usó como un indicador del grado de similitud (o diferencia) entre los grupos.

Para evaluar las diferencias dentro de las cuatro muestras sinópticas, cada una de ellas fue separada al azar en dos mitades (sub-muestras) y se compararon entre sí mediante el ADM.

La exactitud de la clasificación de la función discriminante se evaluó utilizando una muestra tomada al azar de 100 otolitos de cada muestra sinóptica.

#### 5.4. OTROS ASPECTOS DE LA DINÁMICA POBLACIONAL DE LA SARDINA DEL PACÍFICO

##### 5.4.1. Determinación de Edad

Los otolitos se lavaron con agua y jabón y se montaron sobre portaobjetos de vidrio con resina sintética (Cytoseal XYL ®). La lectura se hizo con un microscopio estereoscópico (16x), con luz reflejada sobre un fondo oscuro. Bajo estas condiciones las bandas de crecimiento opacas se observaron de color blanco y las

hialinas de color oscuro (Fig. 2). La edad se determinó contando el número de bandas hialinas de crecimiento en los otolitos (Fitch 1951, Félix-Uraga & Ramírez-Rodríguez 1989). Para los otolitos de sardina del Pacífico, se consideró que un ciclo anual de crecimiento está representado por el conjunto de una banda opaca y una hialina (Barnes & Foreman 1994, Quiñónez-Velázquez et al. 2002). Las lecturas se realizaron por dos personas de manera independiente y se compararon los resultados. En los casos en que se encontró diferencia, los otolitos se volvieron a leer por las dos personas al mismo tiempo y se llegó a un acuerdo.

#### 5.4.2. Estructura de Tallas y Edades

La estructura anual de tallas y edades de la sardina del Pacífico para cada zona de pesca en la costa oeste de la PBC y el SC, fue estimada con base en los muestreos masivos y biológicos. Con la información de los muestreos biológicos se elaboraron claves edad-longitud, que permitieron asignar edad a las sardinas de los muestreos masivos correspondientes, permitiendo extrapolar los resultados a la captura del barco, luego a la captura del mes y finalmente a la captura total anual (Gulland 1966, Holden & Raitt 1975). También se estimó la estructura de edades en cada zona de pesca y para cada stock de sardina para todo el periodo de estudio.

#### 5.4.3. Crecimiento Individual

Con el procedimiento descrito en el inciso anterior, se determinó la distribución de tallas de la sardina del Pacífico por grupo de edad. Con base en la información de la edad y talla de los individuos, se obtuvo la estimación de los parámetros del modelo de von Bertalanffy para describir el crecimiento individual de la sardina del Pacífico en cada zona de pesca y para cada stock de sardina. Los parámetros del

modelo de crecimiento se estimaron mediante la opción de ajuste no lineal contenida en el software Statistica®.

#### 5.4.4. Reclutamiento

Del número de individuos capturados anualmente por grupo de edad (estructura anual de edades), se separaron y se sumaron los individuos correspondientes a cada cohorte. Con esto se tuvo un indicador del reclutamiento de cada generación o cohorte en la captura de sardina de cada zona de pesca y por stock. También se estimó el reclutamiento total de sardina del Pacífico para la costa oeste de la PBC y el SC, y se evaluó su impacto en la captura total de sardina en la zona.

#### 5.4.5. Estimaciones de Abundancia

Las estimaciones de abundancia de los stocks de sardina del Pacífico en la costa oeste de la PBC y el SC se realizaron mediante el análisis de población virtual (APV) de acuerdo al método de Pope (1972), utilizando como base el número de individuos capturados por grupo de edad en cada zona de pesca. Esta información fue separada por stock considerando el rango de temperatura a la cual se obtuvieron las capturas. Luego los datos fueron usados mediante el APV para estimar la abundancia de las cohortes. El valor de la tasa instantánea de mortalidad natural ( $M$ ), fue estimado de acuerdo a la fórmula empírica de Pauly (Sparre & Venema 1995). Los datos de abundancia se multiplicaron por el peso promedio de los individuos a cada edad para convertirlos a biomasa.

#### 5.4.6. Importancia Relativa de los Stocks de Sardina en las Zonas de Pesca

La importancia relativa de los stocks en la captura de sardina en cada zona de pesca, fue estimada con base en la información de la captura mensual de sardina

y al promedio mensual de la TSM registrada en cada zona, considerando el rango de temperatura al que parecen estar adaptados cada uno de los stocks de sardina.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. MUESTREO

En la costa oeste de la Península de Baja California y el sur de California las capturas de sardina del Pacífico se descargan en los siguientes lugares: Bahía Magdalena, B. C. S., Isla Cedros, B. C., Ensenada, B. C. y San Pedro, Cal. Durante el periodo de 1981 a 2002 se registraron los datos biológicos de 67,926 individuos provenientes de 1,485 muestreos biológicos (Tabla 1). Los detalles de los muestreos en estas zonas de pesca se presentan en los anexos 1, 2, 3 y 4.

Tabla 1. Número de muestreos masivos y biológicos realizados en las pesquerías de sardina del Pacífico en la costa oeste de la Península de Baja California y el sur de California, y número de individuos involucrados en estos muestreos.

Lugar	Muestreos Masivos	# de Individuos	Muestreos Biológicos	# de Individuos
Bahía Magdalena	1,356	62,743	467	16,271
Isla Cedros	50	3,837	41	1,318
Ensenada	692	12,288	773	8,771
San Pedro			204	41,566
<b>Total</b>	<b>2,098</b>	<b>78,868</b>	<b>1,485</b>	<b>67,926</b>

La descarga total de sardina del Pacífico *Sardinops sagax*, presentó un incremento sostenido en las pesquerías de la costa oeste de la PBC y el SC, desde 1984 cuando se registró un mínimo de 3,650 t hasta el año 2002 cuando se capturaron mas de 140,000 t (Fig. 3). En la década de 1980, la sardina solo se

presentó en la parte sur de la Península, principalmente en Bahía Magdalena donde se descargaron en promedio 10,000 t anuales y en Isla Cedros donde la captura anual fue menor a 3,000 t. Las actividades de pesca de sardina en Isla Cedros finalizaron en 1995, cuando la única planta enlatadora cerró debido a problemas económicos. A principios de la década de 1990, la sardina tuvo un gran incremento en la parte norte de la Península y en el sur de California. En 1991, la captura en Ensenada fue mayor a 31,000 t y en San Pedro se obtuvieron más de 16,000 t en 1992. En la figura 3 se muestra una relación inversa entre las capturas de Bahía Magdalena y Ensenada. Los datos de la captura mensual y anual de sardina del Pacífico en cada zona de pesca se presentan en los anexos 5, 6, 7 y 8.

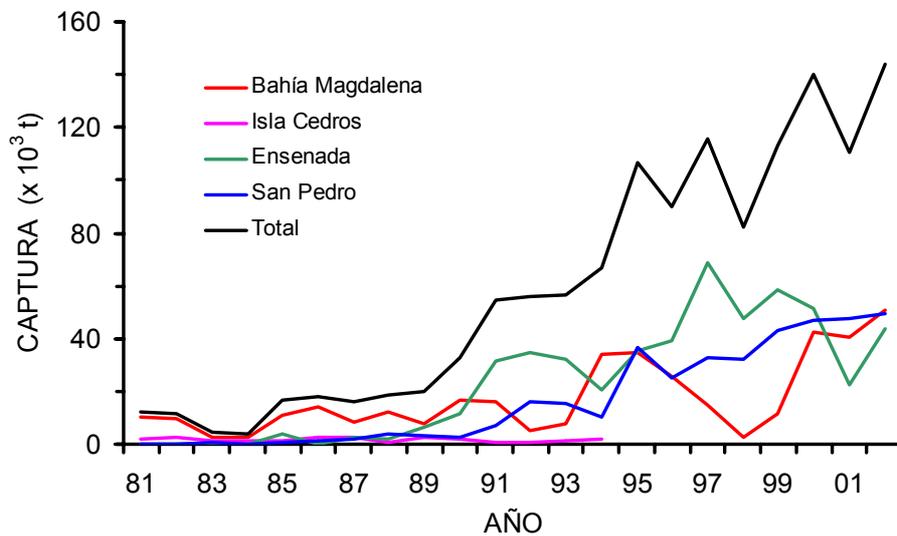


Figura 3. Descargas de sardina del Pacífico en las pesquerías de la costa oeste de la PBC y el SC.

## 6.2. ESTRUCTURA POR STOCKS DE LA POBLACIÓN DE SARDINA DEL PACÍFICO

### 6.2.1. Estacionalidad en las Capturas de Sardina

La captura mensual promedio en cada zona de pesca de sardina en la costa oeste de la PBC y el SC, mostró dos máximos en un ciclo anual (Fig. 4). El máximo de descargas de sardina del Pacífico en Bahía Magdalena (BM) ocurre a mediados del año (junio), pero un segundo pico menor se presenta al final del año (noviembre). La captura en Isla Cedros (IC) tiene un pico en marzo y otro en octubre. En Ensenada (EN) los máximos ocurren al inicio y al final del año, mientras que en San Pedro (SP) los máximos ocurren en marzo y octubre. En términos generales la captura mensual en Bahía Magdalena varió inversamente a la de Isla Cedros, Ensenada y San Pedro.

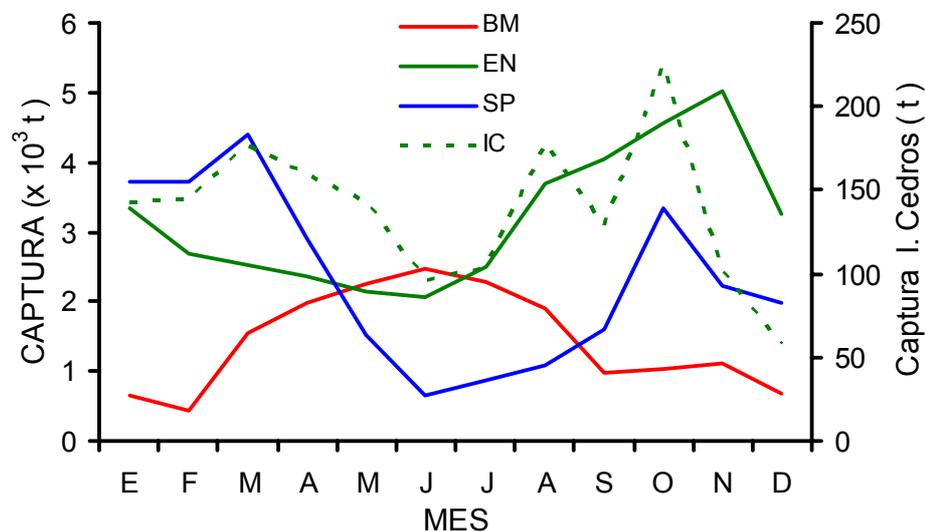


Figura 4. Variación estacional de la captura mensual promedio en las pesquerías de la costa oeste de la PBC y el SC.

### 6.2.2. Temperatura Superficial del Mar

Los promedios anuales de la TSM en Bahía Magdalena, Isla Cedros, Ensenada y San Pedro (Fig. 5), nos muestran que durante los años de 1983, 1992 y 1997 ocurrió un calentamiento relacionado con la presencia del fenómeno de EL Niño, mientras que en los años de 1985, 1991 y 1999 se presentaron condiciones frías. En Bahía Magdalena se presentaron las temperaturas más elevadas de las cuatro zonas de pesca, con más de 3° C y 4.5° C de diferencia respecto a Isla Cedros y Ensenada respectivamente. Aunque las temperaturas mas bajas se presentaron en San Pedro, las diferencias respecto Ensenada fueron en promedio menores a 1° C.

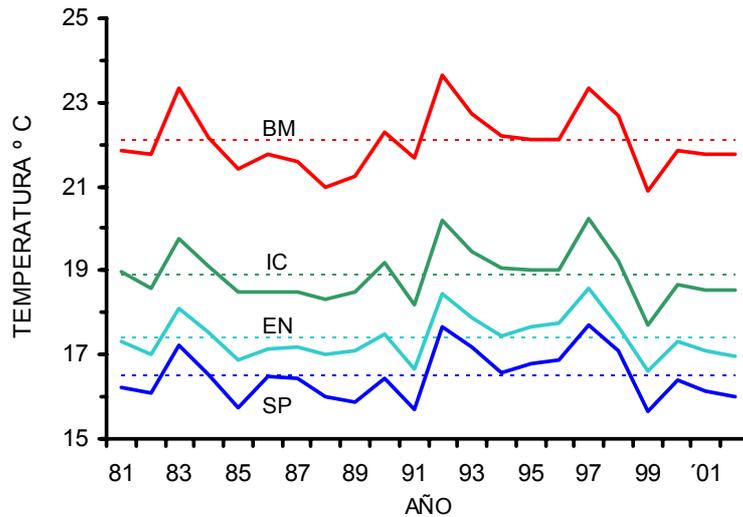


Figura 5. Promedios anuales de la TSM en Bahía Magdalena (BM), Isla Cedros (IC), Ensenada (EN) y San Pedro (SP). Las líneas punteadas son el promedio de TSM para el periodo de estudio en cada zona.

La temperatura más alta se presentó en el mes de septiembre en todas las zonas de pesca, mientras que la más baja se presentó en diferentes meses dependiendo

de la zona. En Bahía Magdalena la temperatura más baja fue en abril y mayo, mientras que en las otras zonas ocurrió entre febrero y marzo (Fig. 6).

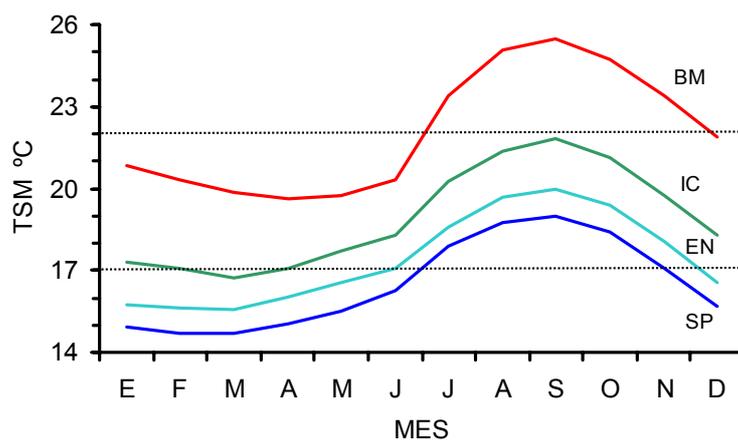


Figura 6. Promedio mensual de la TSM en Bahía Magdalena (BM), Isla Cedros (IC), Ensenada (EN) y San Pedro (SP).

La gráfica del promedio mensual de TSM mostró que en Bahía Magdalena las temperaturas mayores de 22° C se presentaron de julio a diciembre y las menores a 22° C se presentaron de enero a junio. En Isla Cedros, las temperaturas entre 17° C y 22° C se presentaron prácticamente todo el año. En Ensenada, las TSM entre 17° C y 22° C se presentaron de junio a noviembre y las menores de 17° C, de diciembre a mayo. En San Pedro, las TSM entre 17° C y 22° C ocurrieron de julio a noviembre y las menores de 17° C de diciembre a junio.

### 6.2.3. Identificación de Stocks de Sardina

La gráfica de captura total de sardina del Pacífico por grado de TSM para la costa oeste de la PBC y el SC obtenida durante el periodo de 1981 a 2002, mostró tres

picos: uno a TSM mayor de 22° C, otro a temperaturas entre 17° C y 22° C, y el tercero a temperaturas menores de 17° C (Fig. 7A). Este comportamiento en las capturas de sardina, fue muy consistente en los años del periodo mencionado (Fig. 7B).

La tendencia de la captura por grado de TSM a lo largo de la costa oeste de la PBC y el SC, nos hace suponer que los tres picos representan a tres stocks de sardina del Pacífico. El stock capturado a TSM mayor de 22° C (afinidad cálida), solamente se pescó en Bahía Magdalena. El de afinidad templada, se capturó en las cuatro zonas de pesca (Bahía Magdalena, Isla Cedros, Ensenada y San Pedro) a temperaturas entre 17° C y 22° C, y el de afinidad fría únicamente se pescó en Ensenada y San Pedro a temperaturas menores de 17° C.

La captura de sardina por grado de TSM en cada zona de pesca, mostró dos picos que corresponderían a dos diferentes stocks de sardina del Pacífico que se presentan en la misma zona pero en diferente época del año, excepto en Isla Cedros donde se considera que ambos picos pertenecen a un mismo stock (Figs. 8-11). En Bahía Magdalena la captura correspondería a los stocks cálido y templado (Fig. 8). En Isla Cedros correspondería únicamente al stock templado (Fig. 9). En Ensenada y San Pedro se estarían pescando los stocks templado y frío (Figs. 10 y 11). Las gráficas de la captura total por grado de TSM por zona de pesca durante el periodo de estudio, así como de sus distribuciones anuales se presentan en los anexos 9, 10, 11, 12 y 13.

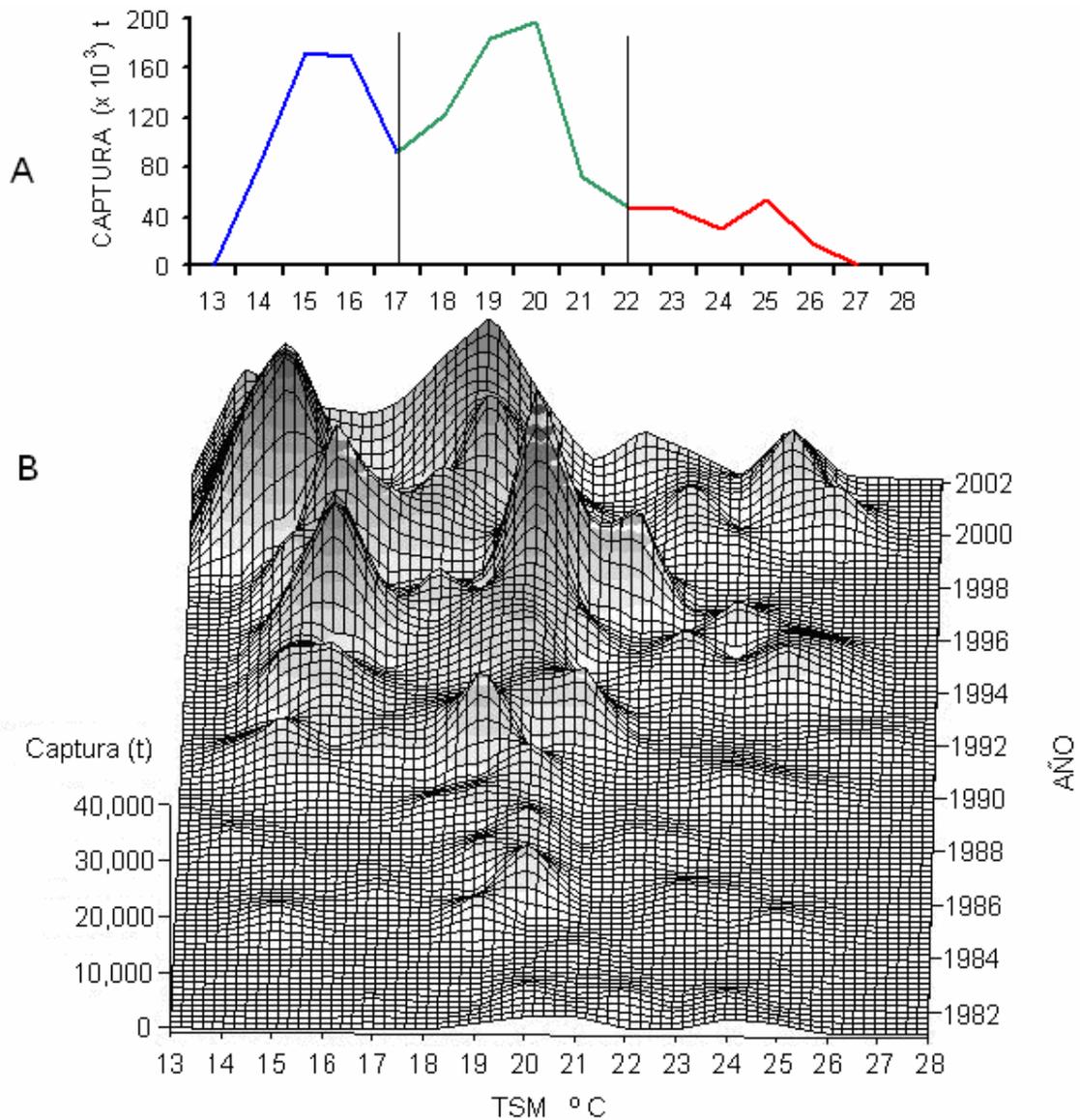


Figura 7. Captura total de sardina del Pacífico por grado de TSM en la PBC y el SC. (A) Total acumulado para el periodo de 1981 a 2002 y (B) Distribución anual.

Las gráficas de la captura mensual de sardina del Pacífico por grado de TSM, muestran que en cada zona de pesca se presentaron dos stocks en diferentes épocas del año. En Bahía Magdalena (Fig. 8), el stock cálido se capturó principalmente de julio a diciembre a temperaturas mayores de 22 $^{\circ}$  C; mientras

que el stock templado se pescó de febrero a junio, cuando la TSM estuvo entre 17°-22° C.

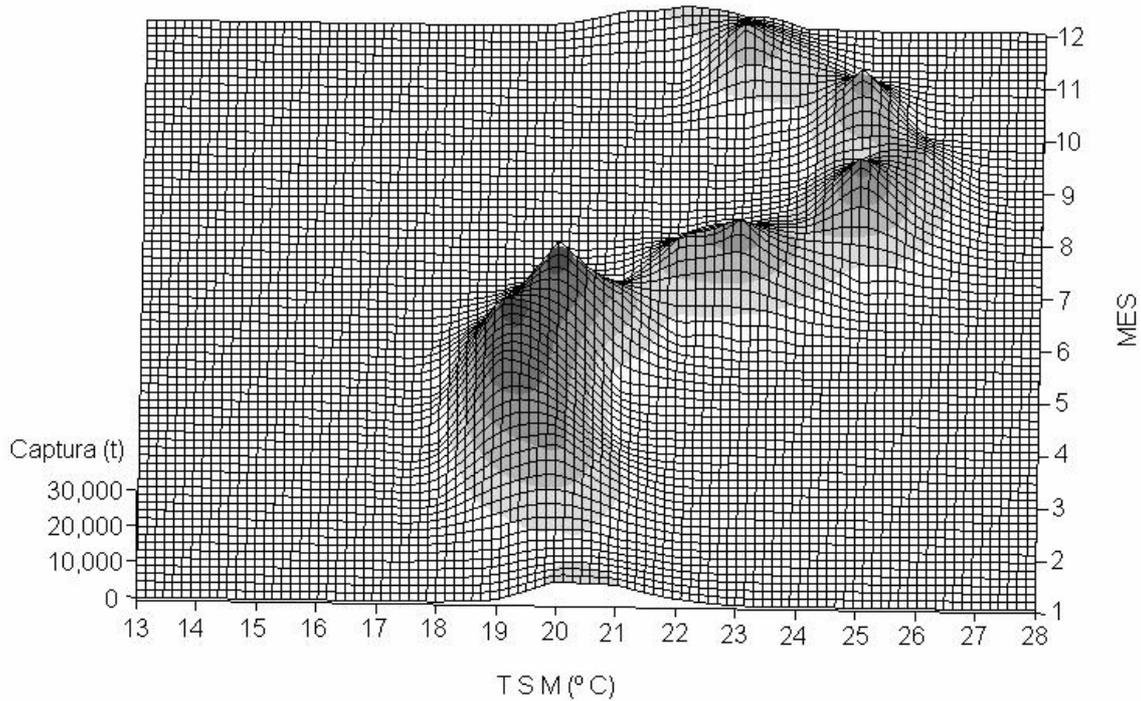


Figura 8. Captura mensual de sardina del Pacífico en Bahía Magdalena por grado de TSM en el periodo de 1981 a 2002.

En Isla Cedros (Fig. 9), prácticamente todas las capturas provienen del stock templado, al ser obtenidas principalmente a temperaturas entre 17°-22° C.

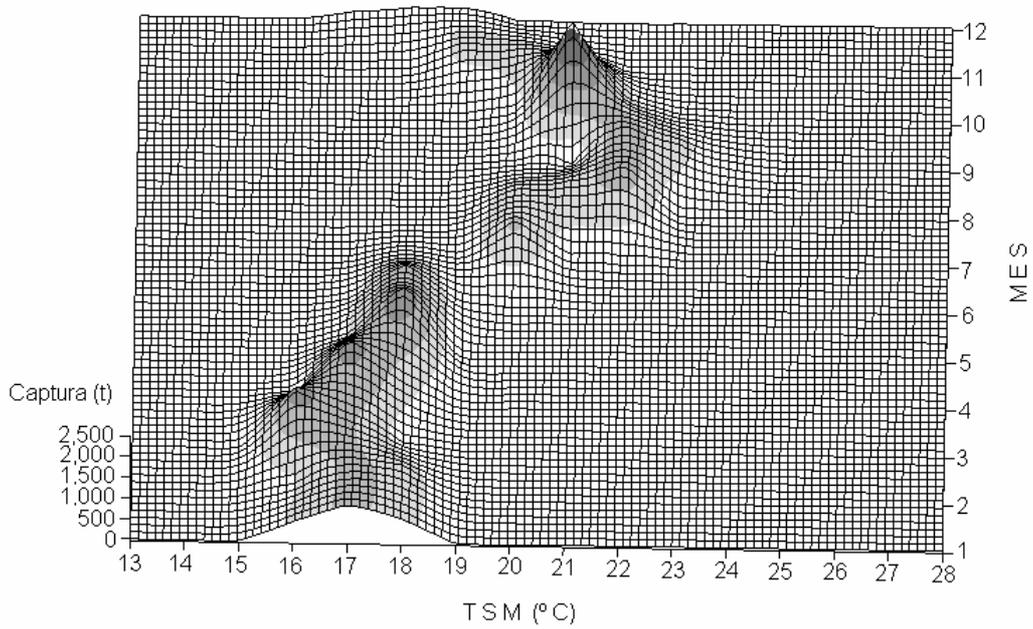


Figura 9. Captura mensual de sardina del Pacífico en Isla Cedros por grado de TSM en el periodo de 1981 a 1994.

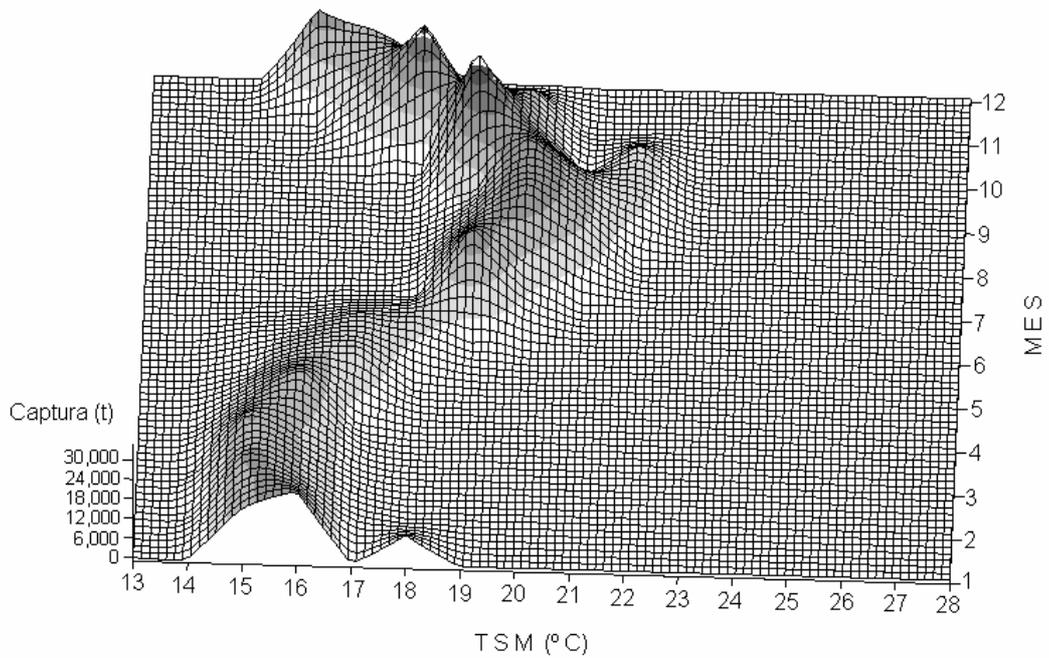


Figura 10. Captura mensual de sardina del Pacífico en Ensenada por grado de TSM en el periodo de 1983 a 2002.

En Ensenada (Fig. 10) y San Pedro (Fig. 11), el stock templado fue pescado de julio a noviembre a temperaturas entre 17°-22° C a temperaturas entre 17°-22° C, mientras que el stock frío se pescó principalmente de diciembre a mayo a temperaturas entre 13°-17° C.

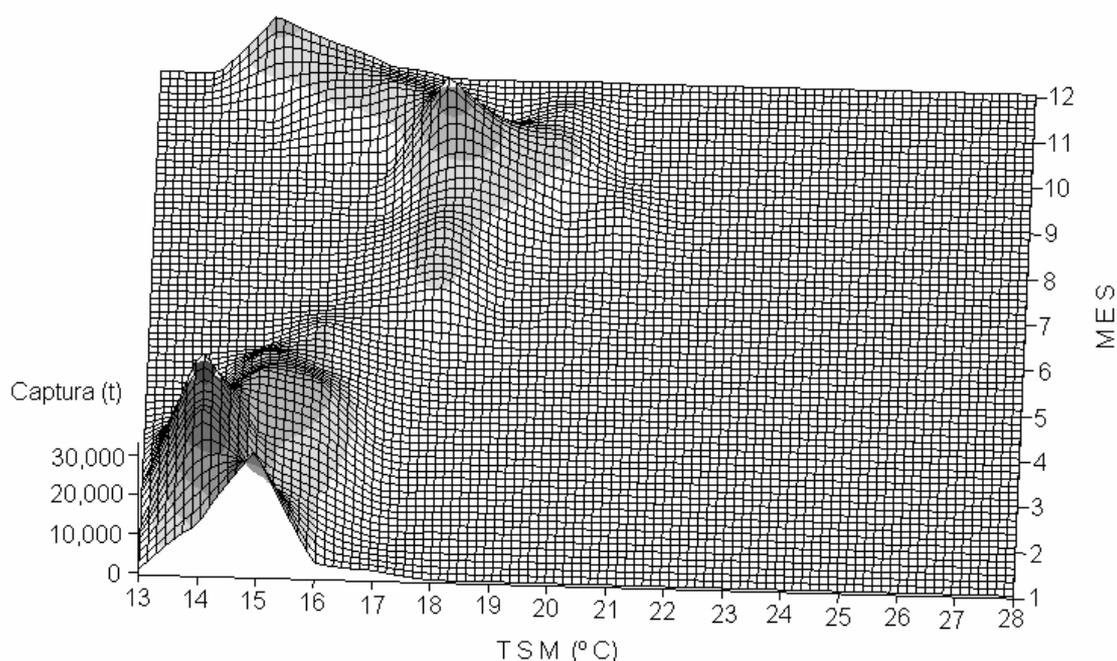


Figura 11. Captura mensual de sardina del Pacífico en San Pedro por grado de TSM en el periodo de 1982 a 2002.

#### 6.2.4. Modelo de Distribución de la Sardina del Pacífico

Tomando en consideración la existencia tres stocks de sardina del Pacífico, se dedujo un modelo conceptual que explica su distribución espacio temporal a lo largo de la costa oeste de la PBC y el SC (Fig. 12). Además, el modelo intenta explicar la estacionalidad de la captura en cada zona de pesca (Fig. 4) y es consistente con la variación del promedio mensual de la TSM en cada zona (Fig. 6) y con los rangos de temperatura para los stocks propuestos (Fig. 7A).

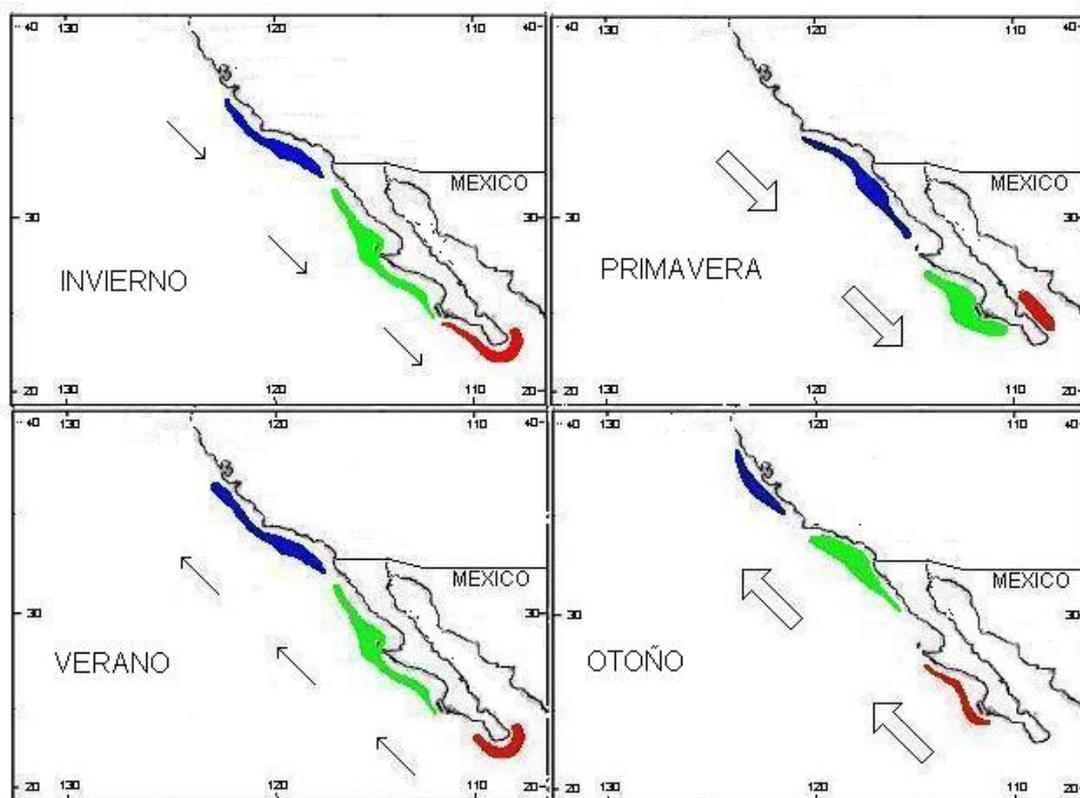


Figura 12. Modelo conceptual de distribución espacio-temporal de la sardina del Pacífico donde se considera la existencia de tres stocks: Stock de afinidad cálida en rojo, de afinidad templada en verde y de afinidad fría en azul.

Durante el invierno los tres stocks iniciarían un desplazamiento hacia el sur, coincidiendo con la intensificación del flujo de la corriente de California (flechas delgadas hacia el sur). En esta época se presenta un máximo en la captura en San Pedro ya que el stock frío se encuentra en sus inmediaciones. En Ensenada la captura disminuye porque el stock templado se está retirando de esta zona. En Isla Cedros se alcanza un máximo porque el stock templado está pasando por ahí. En Bahía Magdalena hay un mínimo por la salida del stock cálido y luego un incremento por el inicio de la llegada del stock templado (Fig. 4).

En primavera, con la plena influencia de la corriente de California (flechas gruesas hacia el sur), todos los stocks alcanzan su distribución más sureña. El mínimo en la captura de San Pedro se debe a que el stock frío se encuentra al sur de esta zona, por eso en Ensenada la captura permanece relativamente alta y no disminuye tanto como en San Pedro, a pesar de haberse movido hacia el sur de Ensenada el stock templado. En Isla Cedros, el mínimo se debe a que no hay ningún stock cercano. En Bahía Magdalena el máximo en la captura se debe a que el stock templado se encuentra en sus inmediaciones (Fig. 4).

En verano se inicia el desplazamiento hacia el norte de los tres stocks, coincidiendo con el debilitamiento de la corriente de California e intensificación del flujo de la contra corriente norecuatorial (flechas delgadas hacia el norte). En San Pedro la captura se incrementa por la cercanía del stock frío. En Ensenada también se incrementa por la llegada del stock templado. En Isla Cedros el stock templado pasa de regreso por esta zona. En Bahía Magdalena las capturas empiezan a disminuir por la retirada del stock templado (Fig. 4).

En otoño, con la influencia plena de la contra corriente norecuatorial (flechas gruesas hacia el norte), los tres stocks alcanzan su distribución más norteña. El máximo en las capturas de San Pedro y Ensenada se debe a la presencia del stock templado y el segundo pico en las capturas de Bahía Magdalena se debe a la presencia del stock cálido que proviene del Golfo de California (Fig. 4).

### 6.3. COMPROBACIÓN DE LA EXISTENCIA DE STOCKS DE SARDINA DEL PACÍFICO

#### 6.3.1. Morfometría de los Otolitos

La gráfica de la distribución mensual de las capturas de sardina en Bahía Magdalena y Ensenada (Fig. 13), fue la base para seleccionar los meses en que se presentaron picos máximos de captura en ambos lugares, teniendo con ello una mayor seguridad para representar los tres supuestos stocks de sardina con las muestras sinópticas de otolitos. El stock cálido se capturaría solo en Bahía Magdalena (Cálido BM). El stock templado, se presentaría en ambas zonas de pesca pero en diferente época del año (Temp BM y Temp EN), y el stock frío se pescaría solo en Ensenada (Frío EN)

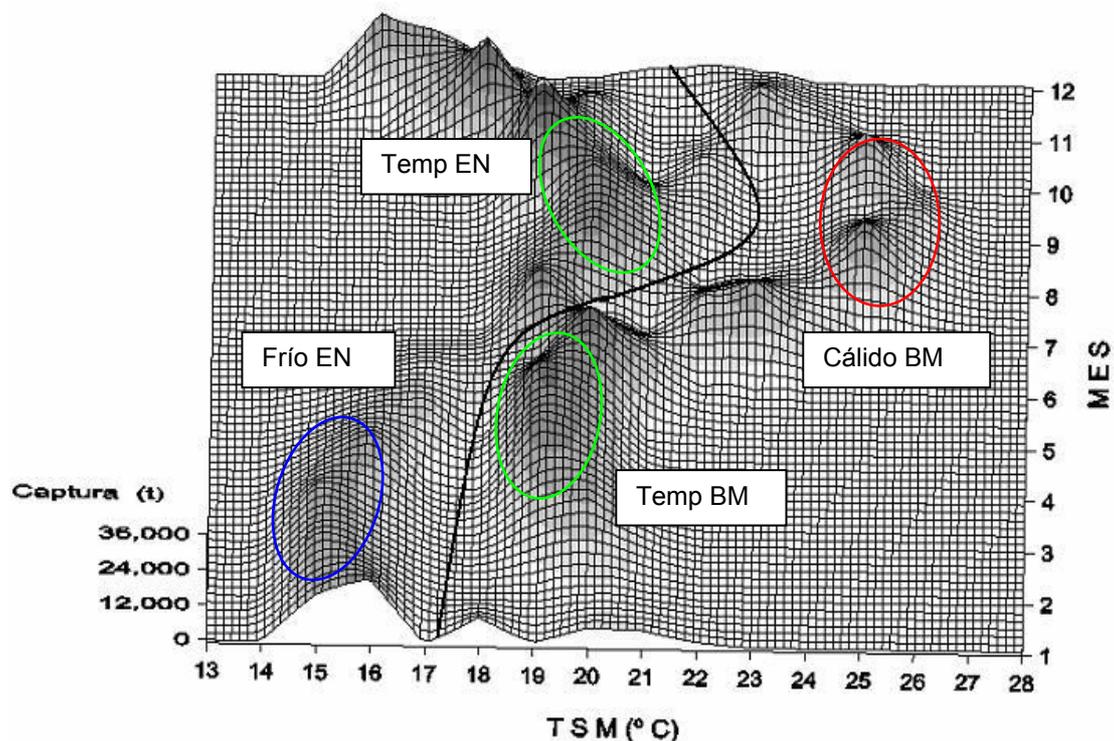


Figura 13. Captura mensual de sardina del Pacífico en Bahía Magdalena (a la derecha de la línea curva) y Ensenada (a la izquierda de la línea curva) por grado de TSM en el periodo de 1981 a 2002. Las elipses señalan las épocas y localidad de donde se tomaron las muestras sinópticas de otolitos usadas en el ADM para representar los stocks cálido (en rojo), templado (en verde) y frío (en azul).

La selección de las muestras sinópticas tomando como base la figura 13, fue muy adecuada para representar los tres stocks de sardina que existen a lo largo de la costa oeste de la PBC y el SC, ya que esta figura es similar a las graficas de la distribución mensual de las capturas de sardina para las zonas de Bahía Magdalena y San Pedro (Anexo 14) y para todas las zonas de pesca juntas (Anexo 15). Esto significa que las muestras sinópticas de Ensenada también representan adecuadamente los mismos stocks que se pescan en San Pedro.

El tamaño de las muestras sinópticas de los otolitos de Bahía Magdalena y Ensenada del periodo de 1994 a 2002, a los que se les realizaron las mediciones morfométricas, se presenta en la tabla 2. En Bahía Magdalena, para representar el stock templado (Temp BM), se midieron 869 otolitos de los meses de marzo a mayo y para representar al stock cálido (Cálido BM) se midieron 421 otolitos entre agosto y octubre. En Ensenada, para representar el stock frío (Frío EN) se midieron 271 otolitos de los meses de febrero a abril y para el stock templado (Temp EN) 288 otolitos entre agosto y octubre. La ausencia casi total de datos en Bahía Magdalena desde finales de 1997 hasta el 2000, fue debida principalmente al fenómeno de El Niño 1997-98 (Fig. 5), el cual causó una gran disminución en las capturas de sardina en esta zona (Fig. 3) y afectó nuestro programa de muestreo.

Tabla 2. Número de otolitos de sardinas del grupo de edad uno de Bahía Magdalena y Ensenada, a los que se les tomaron las variables morfométricas para el análisis discriminante multivariado.

M E S	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	Total
Bahía Magdalena										
Marzo	20	21	9	19			79	76	21	
Abril	46			93				57	100	
Mayo	38	11	59	56	35			85	44	869
Agosto	39	39	14					16	54	
Septiembre	56	56	9					21	10	
Octubre	48	18	16					25		421
Ensenada										
Febrero		14	14			66	26	4		
Marzo		11	12	4	5	11	19	26	2	
Abril		11		1	2	4	8	13	18	271
Agosto	25	19	19	7		11	35	10	12	
Septiembre	8		2	7	5	4	27			
Octubre	5	25	5	3	1	6	32	20		288

### 6.3.2. Análisis Discriminante

Todas las variables morfométricas de los otolitos de la sardina del Pacífico (AR, RAR y AN) estuvieron normalmente distribuidas, de acuerdo al resultado de la prueba de Kolmogorov-Smirnov ( $p > 0.2$ ). En el anexo 16 se presentan los detalles de esta prueba.

Los resultados del primer análisis discriminante, de las seis comparaciones pareadas de las variables morfométricas de los otolitos, se presentan en la tabla 3. Aunque *a priori* pensábamos encontrar diferencias significativas solo en las cinco primeras comparaciones, excepto en la sexta, los resultados indicaron diferencias significativas en todas ellas, inclusive entre las muestras Temp BM y Temp EN, donde no esperábamos encontrarlas ya que las muestras provienen del mismo stock. Por otro lado, y tomando en cuenta los valores de lambda de Wilks, los

resultados fueron como se esperaban. El menor traslape (indicado por el menor valor de lambda de Wilks) se encontró para las muestras Frío EN y Cálido BM, consideradas *a priori* las mas diferentes. Mientras que el mayor traslape ocurrió entre las muestras consideradas del mismo stock templado, pero tomadas de dos localidades (Temp BM y Temp EN). Los detalles gráficos de todas las comparaciones se presentan en el anexo 17.

Tabla 3. Resultado de las comparaciones de las variables morfométricas de los otolitos mediante el análisis discriminante multivariado.

Comparación de Stocks	Lambda de Wilks	F	p
Frío EN y Cálido BM	0.668	85.189	< 0.05
Temp EN y Cálido BM	0.746	59.847	< 0.05
Temp BM y Cálido BM	0.850	56.569	< 0.05
Frío EN y Temp EN	0.863	21.823	< 0.05
Frío EN y Temp BM	0.930	21.238	< 0.05
Temp BM y Temp EN	0.969	9.074	< 0.05

Los resultados del segundo análisis, usando muestras balanceadas tomadas al azar, se presentan en la figura 14 como una distribución de frecuencias de los valores de lambda de Wilks, su promedio y el porcentaje de pruebas no significativas.

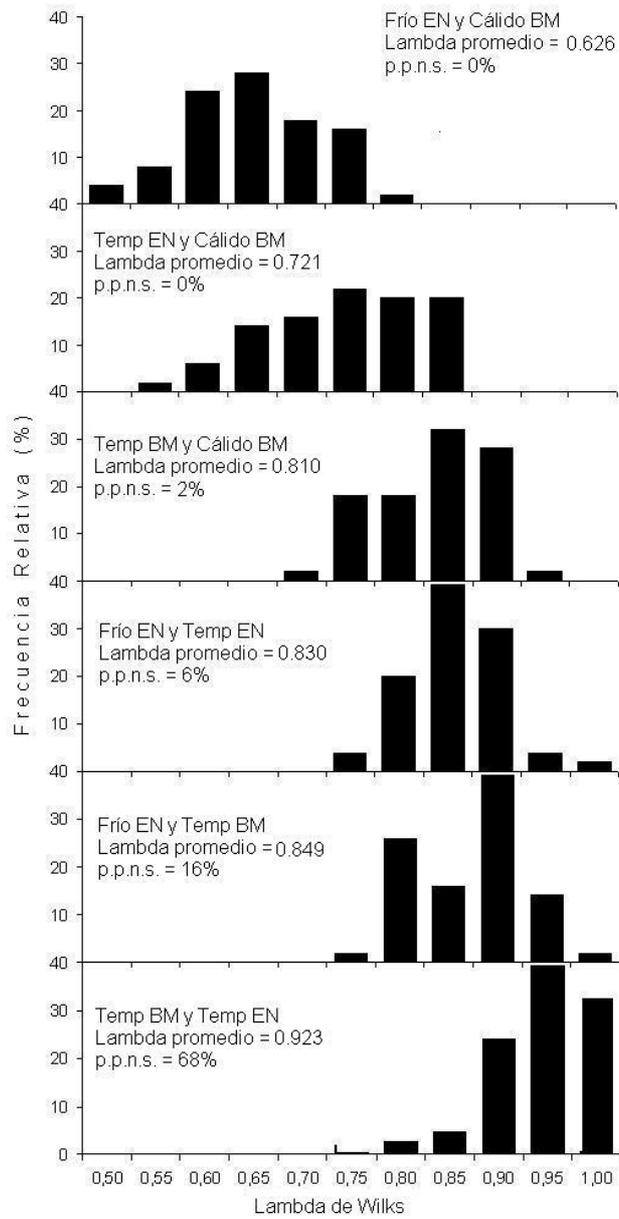


Figura 14. Distribución de frecuencias de los valores de lambda de Wilks resultantes de las cincuenta comparaciones pareadas usando el ADM, lambda promedio y el porcentaje de pruebas no significativas (p.p.n.s.).

Se observó una progresión en los valores de Lambda de Wilks, desde la comparación entre los grupos considerados *a priori* más diferentes y menores

valores de Lambda (Frío EN y Cálido BM), hasta la comparación entre los grupos más similares con mayores valores de lambda (Temp BM y Temp EN). Los valores promedio de Lambda obtenidos en las 50 pruebas entre las 4 muestras sinópticas (sub-muestreadas para evitar sesgos por el tamaño desbalanceado de las muestras), confirmaron los resultados del análisis previo en el cual se utilizaron las muestras sinópticas completas. En este segundo análisis se encontró que en el 68% de las pruebas no se encontraron diferencias significativas entre los grupos Temp BM y Temp EN, mientras que para las primeras cinco comparaciones un alto porcentaje (entre 84% y 100%) resultaron con diferencias significativas. Los resultados del ADM para evaluar las diferencias intra-grupo (Tabla 4), nos muestran que no se encontraron diferencias significativas dentro de los grupos ( $p > 0.05$ ), y que los valores de Lambda de Wilks fueron muy cercanos a uno, evidenciando un alto grado de traslape.

Tabla 4. Resultados estadísticos del análisis discriminante intra-stock realizado con dos muestras balanceadas tomadas al azar de cada uno.

Stock	Lambda de Wilks	F (m,n)	p
Cálido BM	0.9892	F (4,415) = 1.133	< 0.3403
Temp BM	0.9918	F (4,863) = 1.792	< 0.1283
Temp EN	0.9785	F (4,283) = 1.554	< 0.1869
Frío EN	0.9790	F (4,265) = 1.421	< 0.2271

La prueba de exactitud para la clasificación de otolitos con el análisis discriminante de los supuestos stocks (Tabla 5), fue altamente significativa ( $\Lambda = 0.68$ ,  $F(8,588) = 15.42$ ,  $p < 0.05$ ) y mostró que el 67% de los otolitos del stock cálido (Cálido BM),

42% de los del stock templado (Temp BM y Temp EN), y el 57% de los otolitos del stock frío (Frío EN) estuvieron bien clasificados.

Tabla 5. Exactitud de la clasificación discriminante para los otolitos de los tres stocks de sardina del Pacífico. Los números de otolitos bien clasificados están en la diagonal (en negritas).

Stock	Número de otolitos clasificados por grupo		
	Cálido BM	Temp BM-EN	Frío EN
Cálido BM	<b>67</b>	15	18
Temp MB-EN	32	<b>42</b>	26
Frío EN	18	25	<b>57</b>

#### 6.4. OTROS ASPECTOS DE LA DINÁMICA POBLACIONAL DE LA SARDINA DEL PACÍFICO

##### 6.4.1. Estructura de Tallas y Edades

La estructura anual de tallas y edades de la sardina del Pacífico descargada en Bahía Magdalena en el periodo de 1981 a 2002, se presenta en la figura 15. La talla de los individuos osciló entre 80 y 220 mm, aunque la mayoría presentaron una longitud patrón entre 150 y 180 mm. La línea discontinua ubicada a 150 mm de longitud patrón, representa la talla mínima de captura para la sardina del Pacífico en la costa oeste de la Península de Baja California, según la norma oficial mexicana (NOM-003-PESC-1993). En Bahía Magdalena se encontraron pocos grupos de edad en las capturas, aunque en algunos años se presentaron hasta siete grupos, numerados del 0 al 6. En la década de 1980 predominaron los individuos del grupo de edad 2 seguidos del grupo 1, y en la década de 1990 los individuos del grupo de edad 1 seguidos del grupo 2.

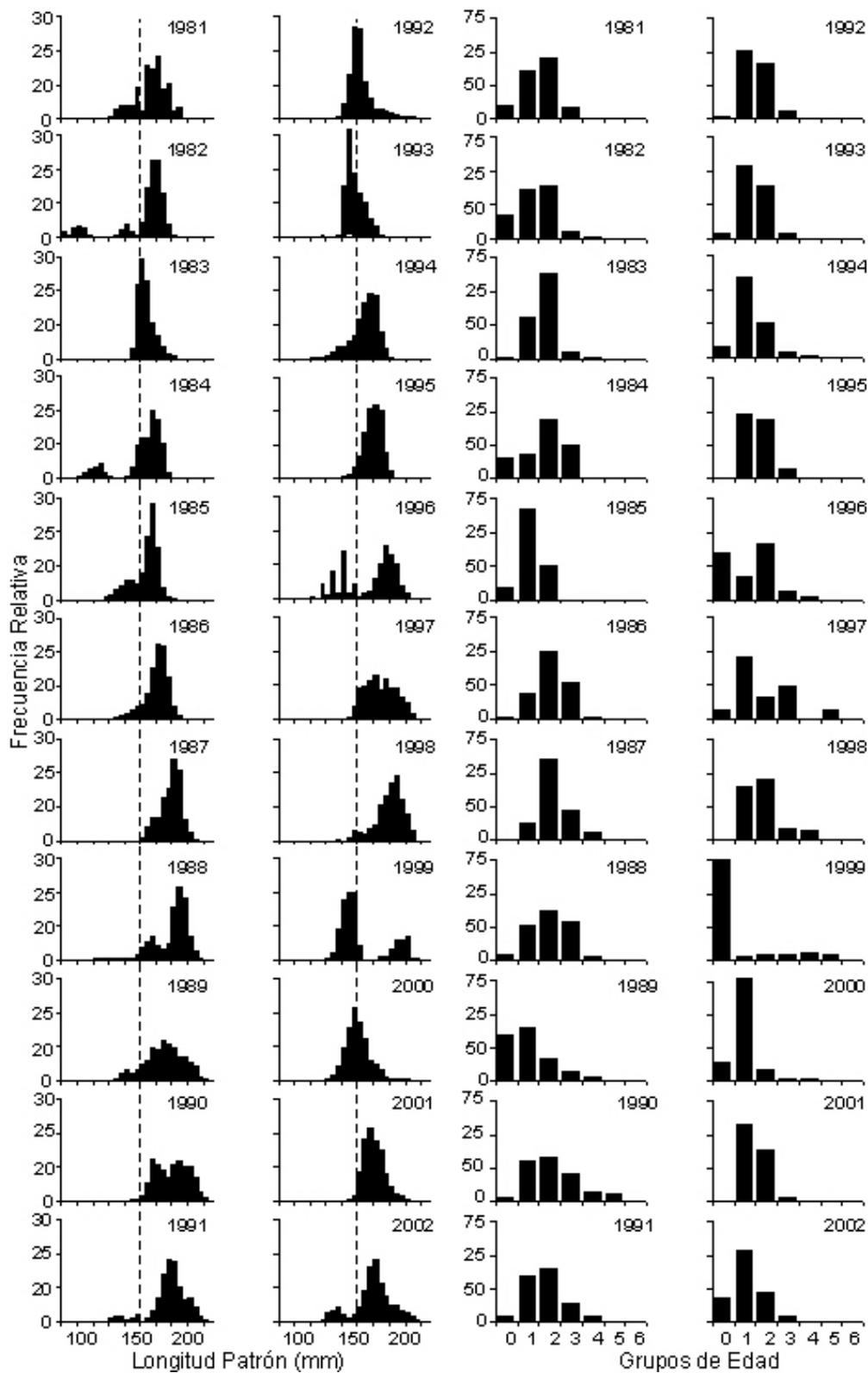


Figura 15. Estructura anual de tallas y edades de la sardina del Pacífico descargada en Bahía Magdalena en el periodo de 1981 a 2002.

Las tallas de los individuos descargados en Ensenada en el periodo de 1989 a 2002 (Fig. 16) variaron entre 100 y 260 mm de longitud patrón, aunque la mayoría presentaron tallas entre 150 y 220 mm. En Ensenada, la estructura anual de edades fue similar a la encontrada en Bahía Magdalena, con pocos grupos de edad en las capturas y solo en algunos años se presentaron hasta siete grupos. En la década de 1990 también predominaron los individuos del grupo de edad 1.

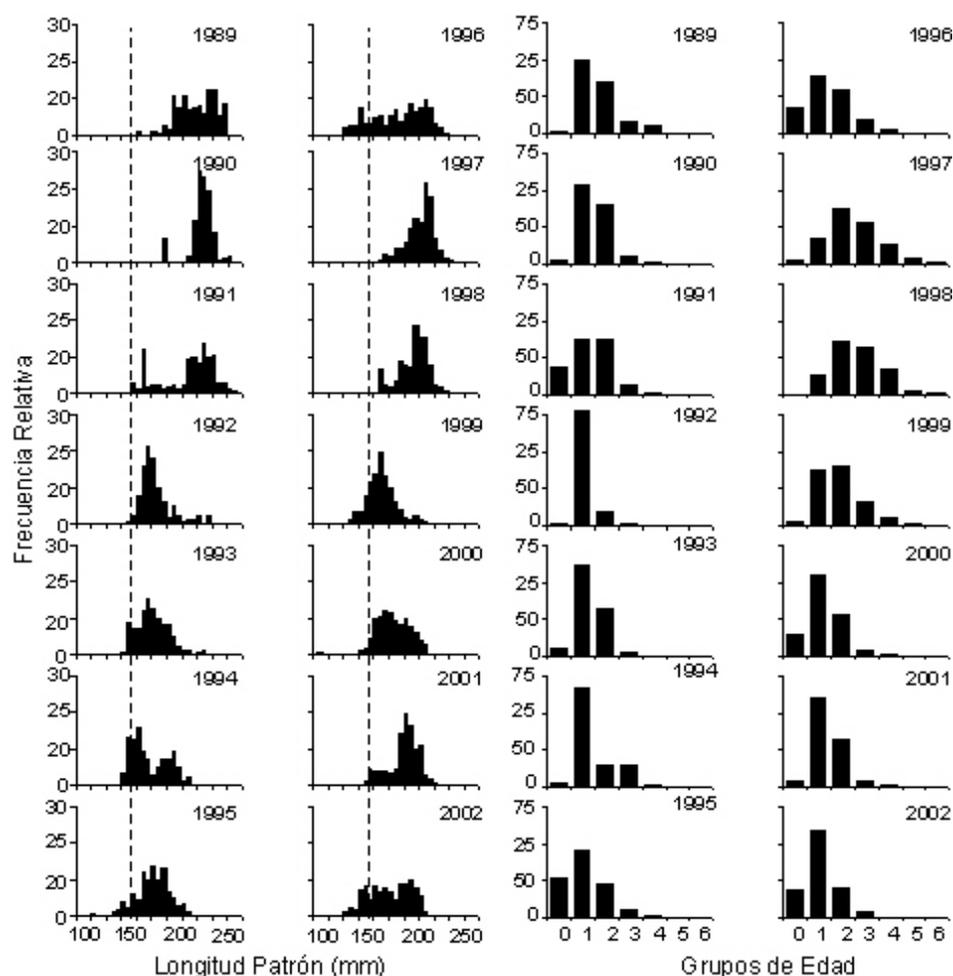


Figura 16. Estructura anual de tallas y edades de la sardina del Pacífico descargada en Ensenada en el periodo de 1989 a 2002.

Las tallas de los individuos descargados en San Pedro en el periodo de 1983 a 2002 (Fig. 17) variaron entre 90 y 275 mm de longitud patrón, aunque la mayoría presentaron tallas entre 160 y 220 mm. La estructura anual por edades en San Pedro, también fue muy similar a la de Bahía Magdalena y Ensenada, con pocos grupos de edad y predominando los individuos del grupo 2 en las capturas de la década de 1980 y del grupo 1 en la década de 1990.

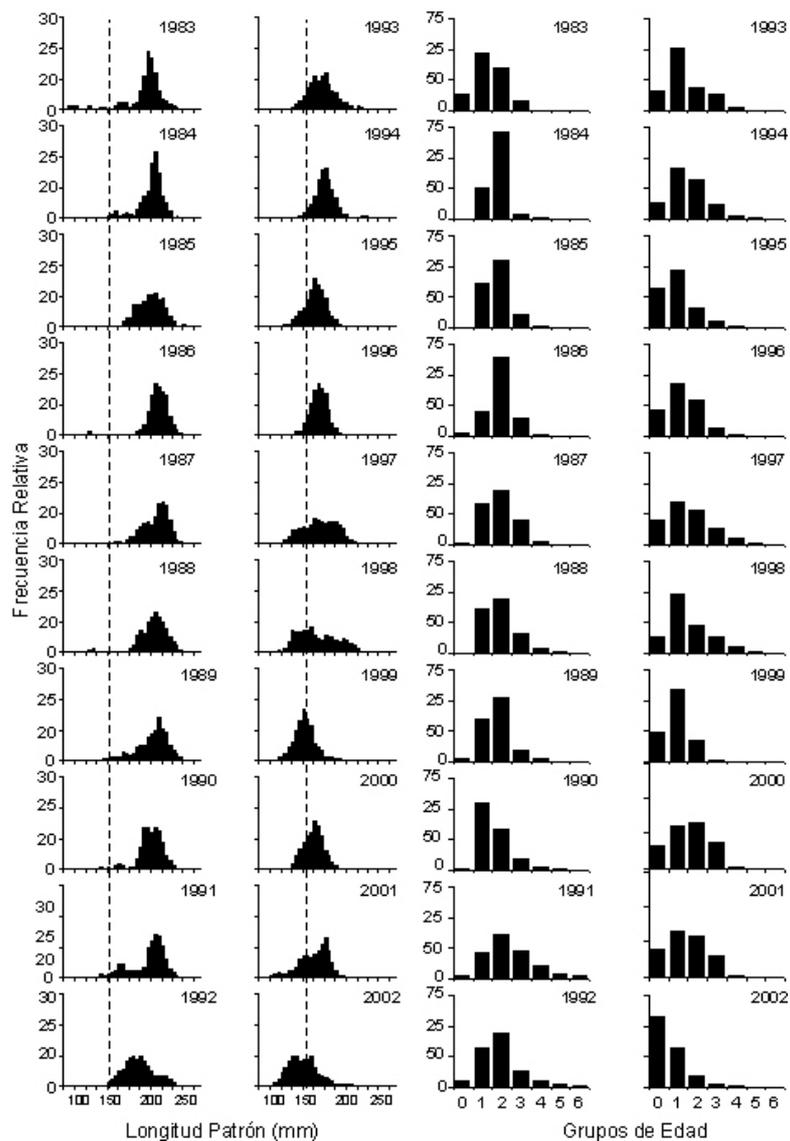


Figura 17. Estructura anual de tallas y edades de la sardina del Pacífico descargada en San Pedro en el periodo de 1983 a 2002.

La estructura de edades de la sardina del Pacífico durante el periodo de 1981 a 2002, fue muy similar en cada zona de pesca, tanto en el número de grupos de edad de las sardinas capturadas en este periodo, como en la importancia relativa de cada uno de ellos (Fig. 18).

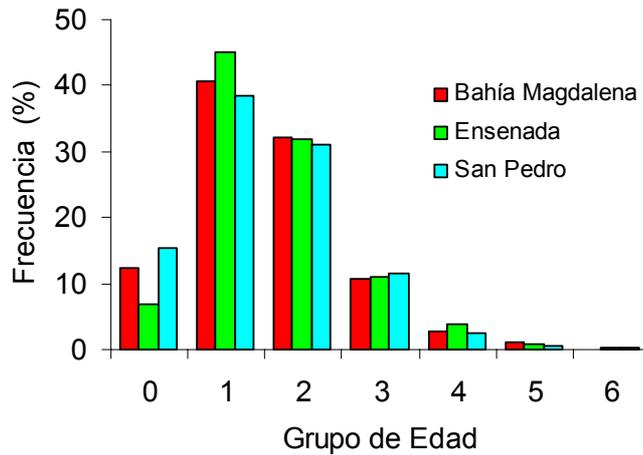


Figura 18. Estructura de edades por zona de pesca de la sardina del Pacífico en el periodo de 1981 a 2002.

La estructura de edades en el periodo de estudio también fue muy similar entre los tres stocks de sardina (Fig. 19), y similar también a lo encontrado en el análisis por zona de pesca.

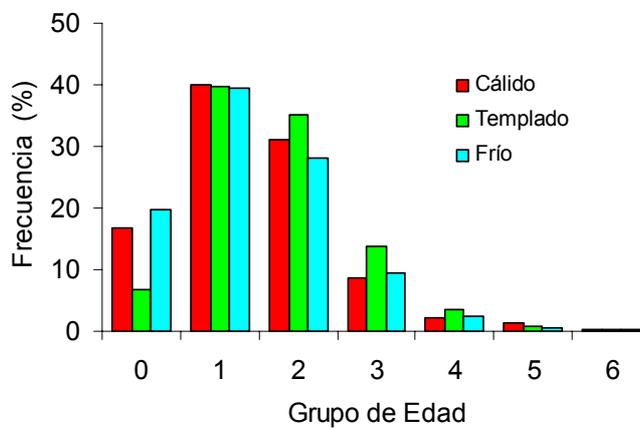


Figura 19. Estructura de edades por stock de la sardina del Pacífico en el periodo de 1981 a 2002.

#### 6.4.2. Crecimiento Individual

La distribución de tallas por grupo de edad de la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena, Ensenada y San Pedro (Figs. 20, 21 y 22), mostró una gran variabilidad, sobretodo en los grupos 0, 1 y 2. Los grupos modales presentaron una secuencia lógica donde los individuos de mayor edad tienen tallas más grandes, además de que los incrementos en talla de los grupos modales van disminuyendo con la edad.

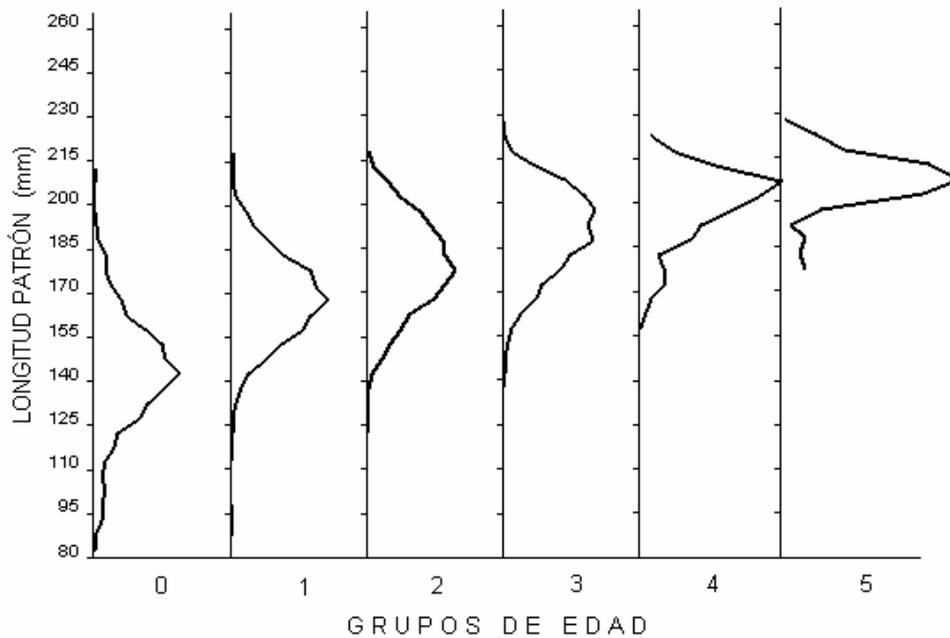


Figura 20. Distribución de frecuencias de tallas por grupo de edad de la sardina del Pacífico descargada en Bahía Magdalena.

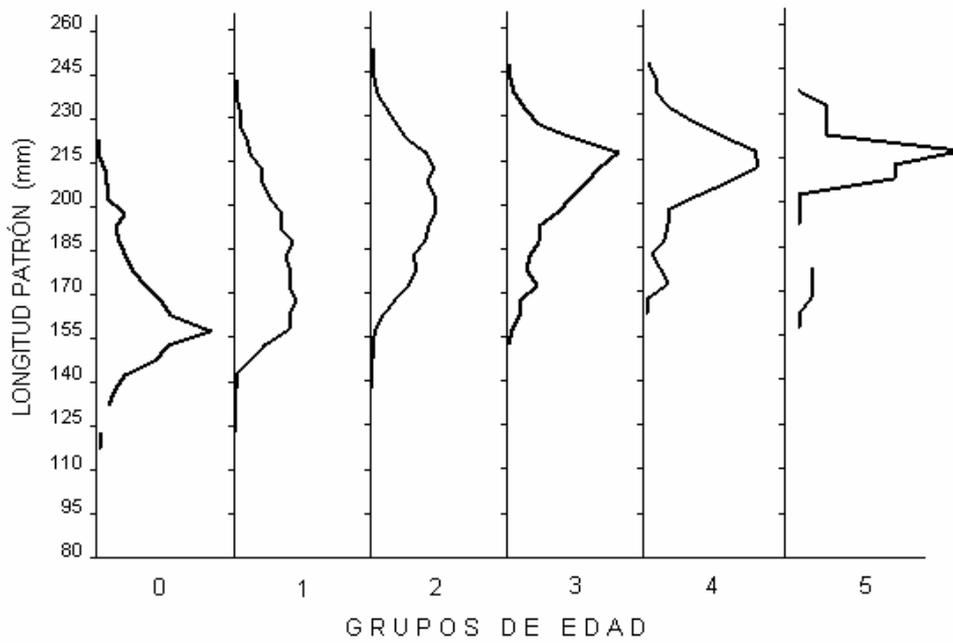


Figura 21. Distribución de frecuencias de tallas por grupo de edad de la sardina del Pacífico descargada en Ensenada.

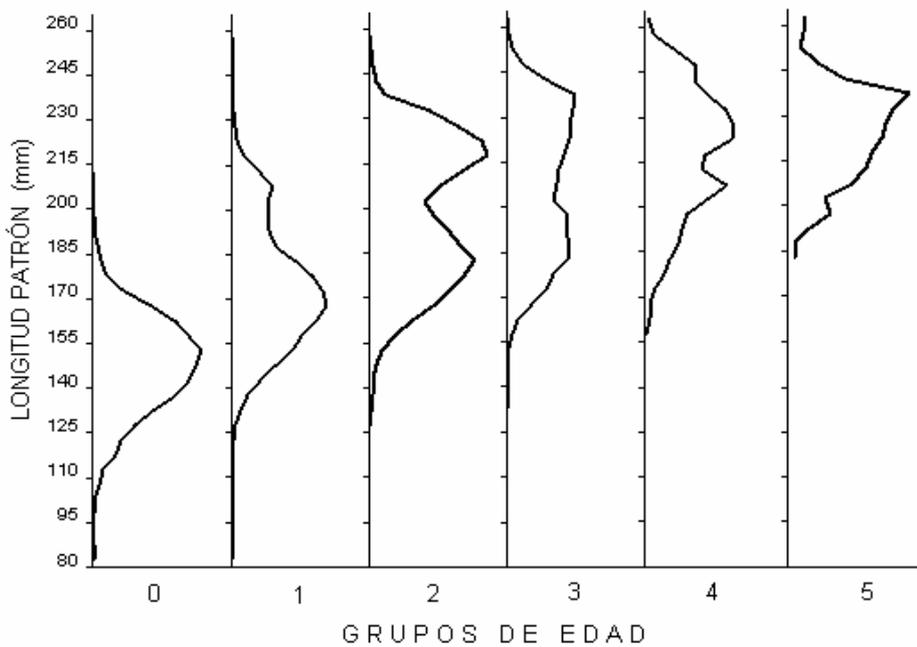


Figura 22. Distribución de frecuencias de tallas por grupo de edad de la sardina del Pacífico descargada en San Pedro.

La distribución de tallas por grupo de edad para los stocks cálido, templado y frío de la sardina del Pacífico (Figs. 23, 24 y 25), también mostró una gran variabilidad de tallas, y los grupos modales también presentaron una secuencia lógica donde los individuos de mayor edad tienen tallas más grandes. Los incrementos en talla de los grupos modales, también disminuyeron con la edad de los individuos.

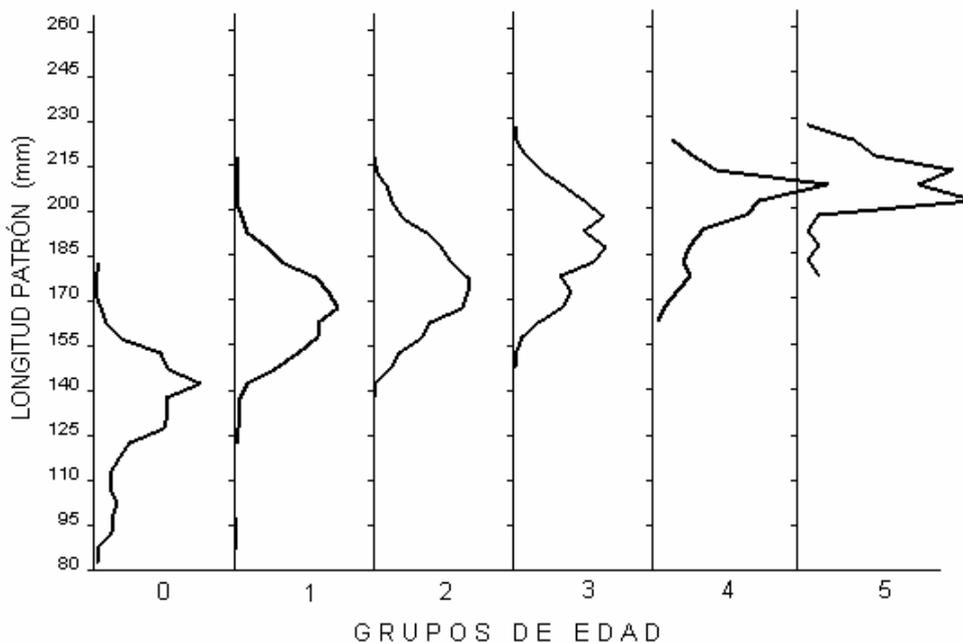


Figura 23. Distribución de frecuencias de tallas por grupo de edad de la sardina del Pacífico del stock cálido.

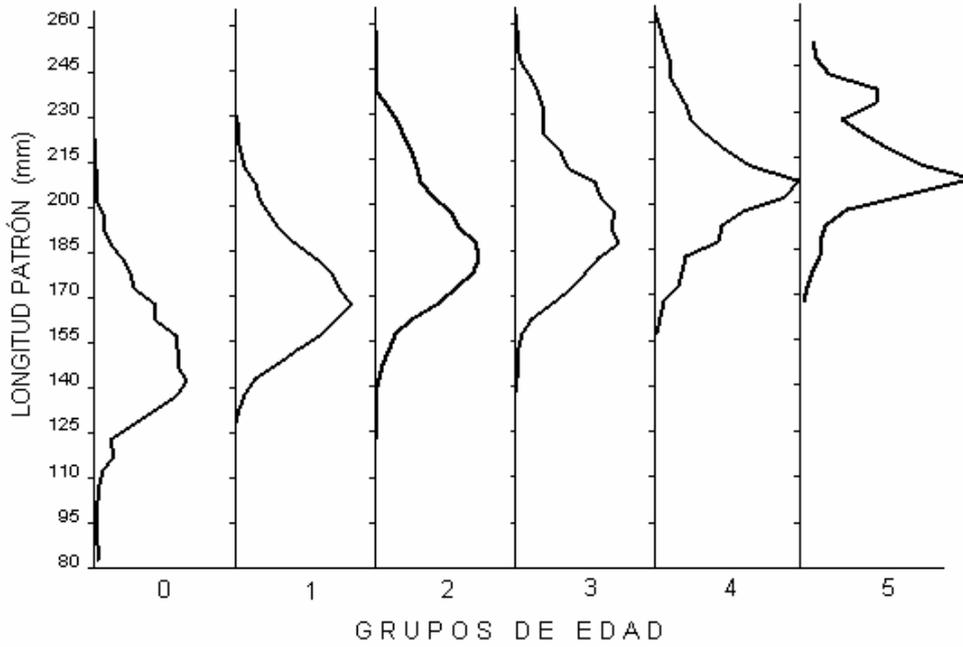


Figura 24. Distribución de frecuencias de tallas por grupo de edad de la sardina del Pacífico del stock templado.

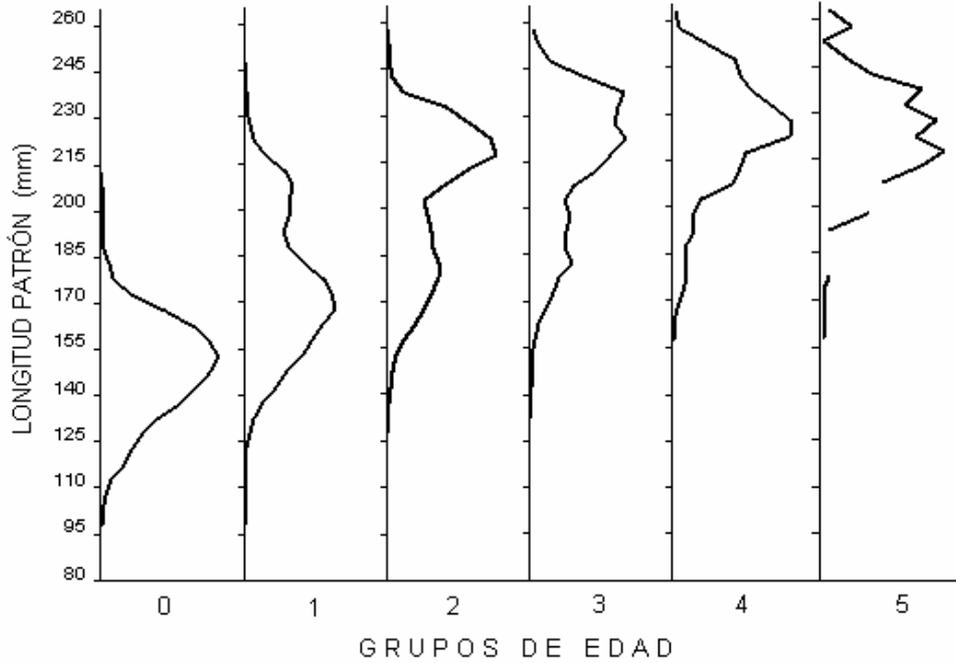


Figura 25. Distribución de frecuencias de tallas por grupo de edad de la sardina del Pacífico del stock Frío.

La estimación de los parámetros del modelo de crecimiento individual de von Bertalanffy, para cada zona de pesca y stock de la sardina del Pacífico se presentan en la tabla 6. En la estimación de los parámetros por zona, se notó un incremento de  $L_{\infty}$  desde Bahía Magdalena hacia San Pedro. Una situación inversa se presentó con el parámetro  $k$ , el cual disminuyó de Bahía Magdalena hacia San Pedro. En la estimación por stocks, el menor valor del parámetro  $L_{\infty}$  fue para el stock cálido y el mayor para el stock frío, mientras que para el parámetro  $k$  la situación fue inversa.

Tabla 6. Estimación de los parámetros de crecimiento de la sardina del Pacífico por zona de pesca y por stock, en el periodo de 1981 a 2002.

	Por Zonas			Por Stocks		
	Bahía Magdalena	Ensenada	San Pedro	Cálido	Templado	Frío
$L_{\infty}$	202	217	234	194	213	245
$k$	0.43	0.42	0.39	0.57	0.44	0.36
$t_0$	-2.25	-2.57	-2.37	-1.97	-2.53	-2.42
$r^2$	0.4303	0.27	0.47	0.5400	0.3439	0.5178
$r$	0.6559	0.52	0.68	0.7348	0.5864	0.7232
$N$	13,844	5,835	41,566	4,915	26,656	29,673
S.R.C.*	3,458,058	2,231,820	19,691,788	1,142,827	10,196,266	13,867,953

\*Suma de Residuos al Cuadrado

Las curvas de crecimiento individual por zona de pesca de la sardina del Pacífico (Fig. 26), muestran que las sardinas más pequeñas a la misma edad se presentaron en Bahía Magdalena y las más grandes en San Pedro.

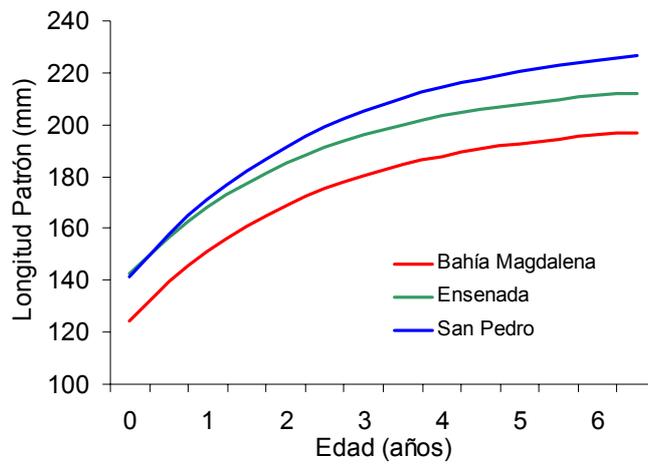


Figura 26. Curvas de crecimiento individual de la sardina del Pacífico por zona de pesca.

En la comparación de las curvas de crecimiento por stock de sardina (Fig. 27), los individuos más pequeños de la misma edad fueron los del stock cálido y los más grandes del stock frío.

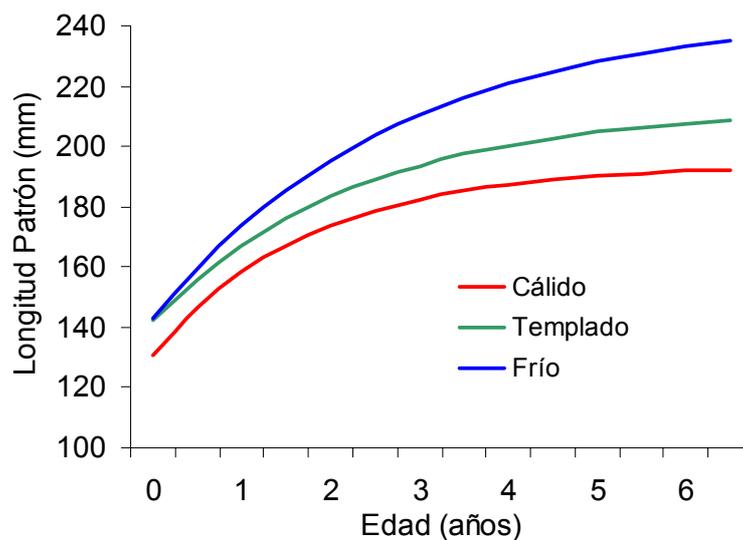


Figura 27. Curvas de crecimiento individual de la sardina del Pacífico por stock.

### 6.4.3. Reclutamiento

El indicador del reclutamiento de cada generación anual o cohorte en cada zona de pesca (Fig. 28), mostró que en Bahía Magdalena las generaciones de 1984, 1993-94 y la de 1999 fueron muy abundantes. En Ensenada, las generaciones más abundantes se presentaron en los años 1991, 1995 y 1998-99. Las cohortes de 1995 y 1998-99 también fueron muy abundantes en San Pedro.

El indicador del reclutamiento por stock (Fig. 29), mostró pulsos muy claros para el stock cálido ocurridos en los años de 1984, 1993 y 1999. Para el stock templado se tuvieron reclutamientos altos en los años de 1984-85, 1991, 1994 y 2000-01. El stock frío mostró cohortes muy abundantes en los años de 1992, 1995 y 1998-99.

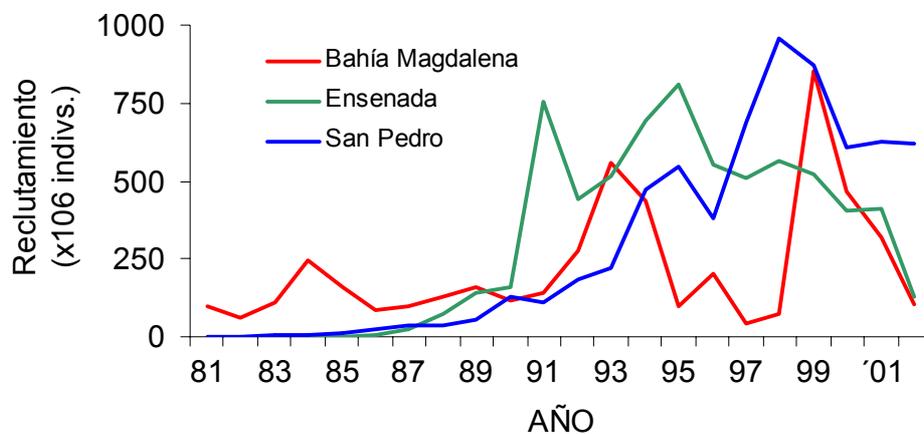


Figura 28. Indicador del reclutamiento de la sardina del Pacífico por zona de pesca.

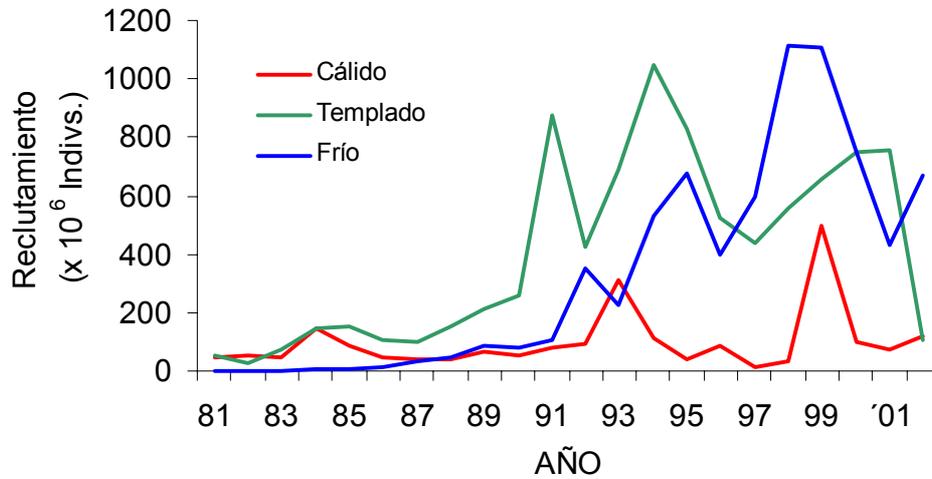


Figura 29. Indicador del reclutamiento por stock de sardina del Pacífico.

El indicador del reclutamiento total de la sardina del Pacífico para la costa oeste de la PBC y el SC (Fig. 30), mostró que en los años posteriores a los altos reclutamientos ocurrieron incrementos importantes en las capturas de sardina, las cuales se mantuvieron altas entre tres a cuatro años después.

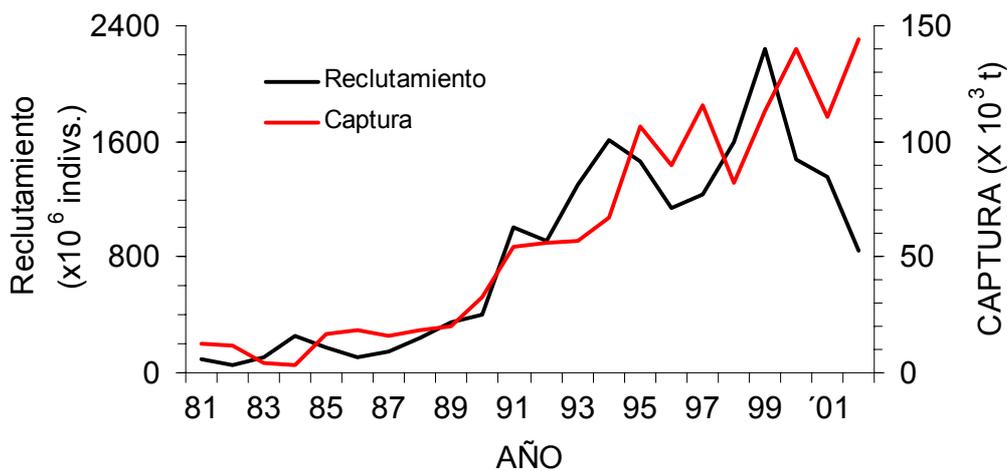


Figura 30. Comparación del Indicador del reclutamiento y la captura de sardina en la costa oeste de la PBC y el SC.

#### 6.4.4. Estimaciones de Abundancia

La estimación de la tasa instantánea de mortalidad natural mediante la fórmula empírica de Pauly fue de  $M=0.4 \text{ año}^{-1}$ , tomando en cuenta los parámetros  $L_{\infty}$  y  $k$  estimados para el stock templado (Tabla 6) y un promedio de la TSM de  $19^{\circ} \text{ C}$ . Considerando este valor de  $M$  y un valor de  $F=0.5$  seleccionado arbitrariamente para el último grupo de edad en las capturas (5+), se estimó la biomasa de los stocks templado y frío de la sardina del Pacífico en la costa oeste de la PBC y el SC.

La biomasa total estimada del stock templado (0+), alcanzó un máximo de más de 333,000 t en 1996 (Fig. 31) y la captura de sardinas de este stock alcanzó un máximo de aproximadamente 100,000 t en 1997.

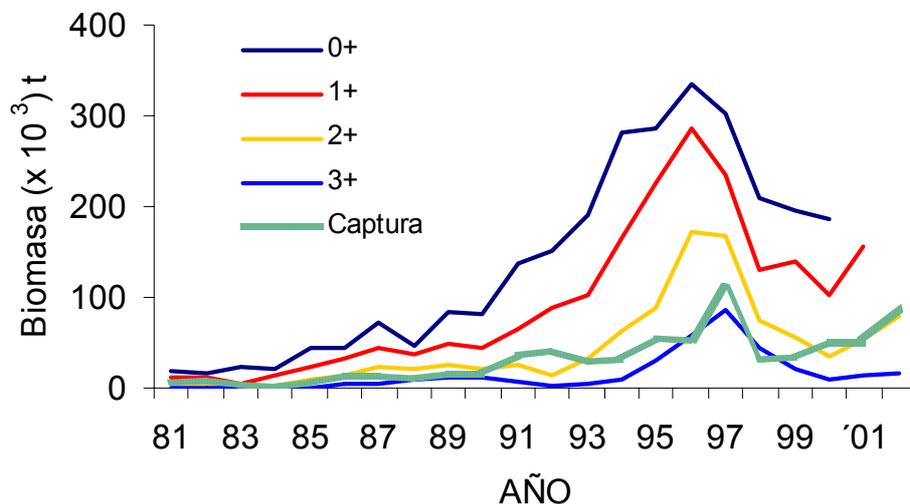


Figura 31. Biomasa anual del stock templado. Biomasa total (0+); biomasa de los individuos de un año y mayores (1+); biomasa de los individuos de dos años y mayores (2+); biomasa de los individuos de tres años y mayores (3+) y captura obtenida del stock templado.

El stock frío alcanzó un máximo de biomasa total (0+) de más de 277,000 t en 1999 (Fig. 32), y la captura de sardinas de este stock alcanzó un máximo de 71,400 t en 1999.

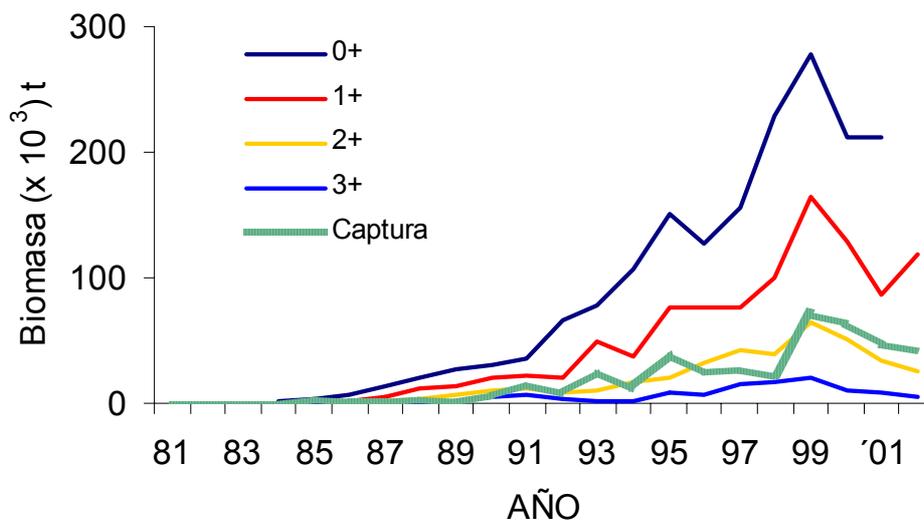


Figura 32. Biomasa anual del stock frío. Biomasa total (0+); biomasa de los individuos de un año y mayores (1+); biomasa de los individuos de dos años y mayores (2+); biomasa de los individuos de tres años y mayores (3+) y captura obtenida del stock frío.

La biomasa potencialmente explotable del stock templado de la sardina del Pacífico, representada por los individuos de un año de edad y mayores (1+), alcanzó un máximo de más de 285,000 t en 1996 (Fig. 33). La biomasa explotable del stock frío tuvo un máximo en 1999 de casi 165,000 t. El crecimiento del stock templado ocurrió aproximadamente tres años antes del stock frío y alcanzó un tamaño mayor al del stock frío.

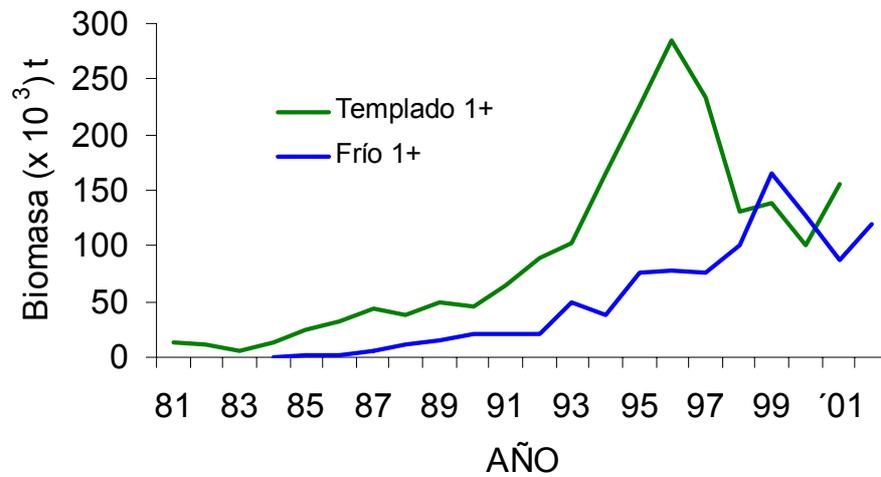


Figura 33. Biomasa potencialmente explotable de los stocks templado y frío de la sardina del Pacífico.

#### 6.4.5. Importancia Relativa de los Stocks de Sardina en las Zonas de Pesca

La importancia que tuvo cada stock de sardina en las pesquerías de Bahía Magdalena, Isla Cedros, Ensenada y San Pedro se indica en la figura 34. El stock cálido solo se capturó en Bahía Magdalena. Las sardinas del stock templado se capturaron en las cuatro zonas de pesca. El stock frío se capturó en las pesquerías de Ensenada y San Pedro, aunque fue más importante en las descargas de San Pedro.

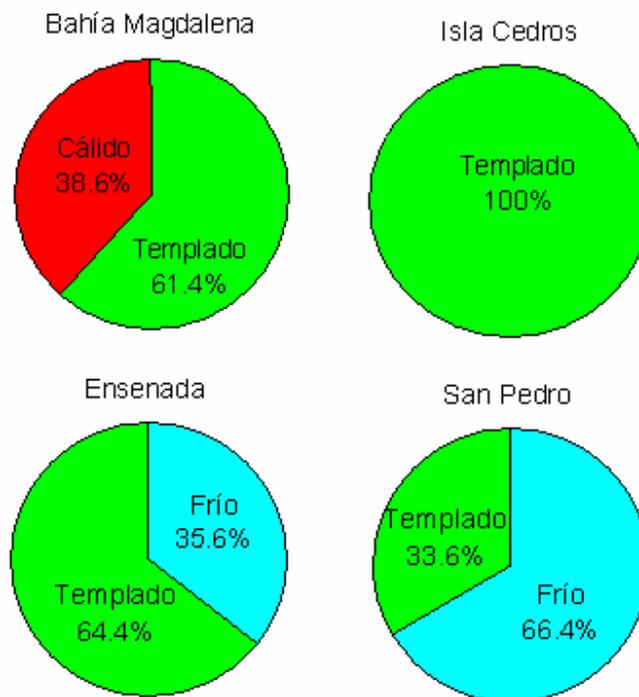


Figura 34. Importancia relativa de los tres stocks de sardina en las pesquerías de Bahía Magdalena, Isla Cedros, Ensenada y San Pedro, durante 1981 a 2002.

Si consideramos todas las pesquerías de la costa oeste de la PBC y el SC, el stock templado fue el más importante con el 55.3% de las descargas de sardina, seguido del stock frío con el 33.3% y por último el stock cálido representó solo el 11.4% (Fig. 35).

Todas las zonas de pesca

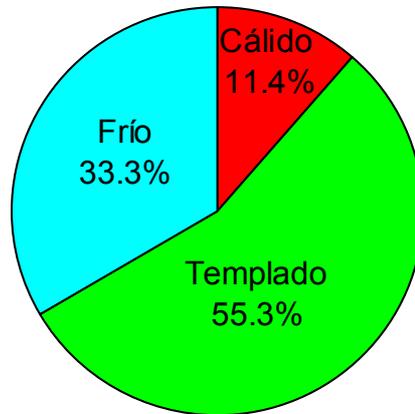


Figura 35. Importancia relativa de los tres stocks de sardina en la costa oeste de la PBC y el SC, durante 1981 a 2002.

## 7. DISCUSIÓN

### 7.1. ESTRUCTURA POR STOCKS DE LA POBLACIÓN DE SARDINA DEL PACÍFICO

Los datos de captura pueden considerarse como una medida cruda de la abundancia (Lluch-Belda et al. 1989). Sin embargo, consideramos que los datos de captura también son un buen indicador de la disponibilidad de la sardina del Pacífico en las zonas de pesca. La relación inversa en la captura anual de sardina al sur de la Península respecto de la captura en el norte del área de estudio (Fig. 3), indica cambios en la disponibilidad debido a migraciones del recurso. A partir de la década de 1990, los años de baja abundancia en Bahía Magdalena se corresponden con años de alta abundancia de sardina en Ensenada y San Pedro y viceversa. La marcada estacionalidad en la captura mensual de sardina en Bahía Magdalena, Isla Cedros, Ensenada y San Pedro (Fig. 4), también indica cambios en la disponibilidad debidos a movimientos latitudinales de la sardina del

Pacífico entre estas zonas de pesca. Este patrón ya había sido señalado por Félix-Uraga et al. (1996) usando datos de captura estacional entre las zonas de pesca de Bahía Magdalena, Isla Cedros y Ensenada. La capacidad de esta especie para realizar migraciones rápidas de gran escala, fue claramente demostrada por Clark & Janssen (1945) con el marcado y recaptura de sardinas en varias localidades desde Columbia Británica hasta Punta Eugenia. Por otro lado, la marcada estacionalidad de las capturas de sardina en las zonas de pesca de California, también fue señalada en los trabajos de Clark & Janssen (1945) y Clark (1952).

Los tres supuestos stocks de sardina del Pacífico, identificados mediante el análisis de datos de captura y TSM a lo largo de la costa oeste de la Península de Baja California y el sur de California, parecen estar adaptados a diferentes rangos de temperatura (Fig. 7). Esto puede ser una manifestación fenotípica de la especie, que al parecer tiene un genotipo muy plástico que le permite adaptarse a las condiciones regionales o locales (Booke 1981). El stock de afinidad cálida, adaptado a temperaturas mayores de 22° C, estuvo presente en Bahía Magdalena de julio a diciembre, cuando se registran las TSM más altas en esta latitud. Este grupo pudiera provenir del Golfo de California, como lo sugirió Ahlstrom (1954, 1957; citados por Hedgecock et al. 1989), particularmente durante los años fríos.

El grupo templado, adaptado a temperaturas entre 17-22° C, estuvo presente en las cuatro zonas de pesca pero en diferentes épocas del año. Este grupo fue capturado en Bahía Magdalena principalmente de marzo a junio, cuando se registraron las TSM mas bajas en el área (Fig. 6). En Isla Cedros este fue el único grupo observado en dos épocas del año. Frente a Ensenada y San Pedro este grupo fue capturado principalmente de agosto a diciembre, cuando se presentan

las TSM más altas. El grupo frío, adaptado a TSM menores de 17° C, fue capturado frente a Ensenada y San Pedro principalmente de enero a abril, cuando se presentan las TSM mas bajas.

La estratificación térmica de la población de sardina y la estacionalidad en las capturas, fueron usadas para construir de manera deductiva, un modelo conceptual de distribución en espacio y tiempo para los tres supuestos stocks de sardina (Fig. 12). El modelo muestra que los movimientos hacia el sur de los tres stocks de sardina, ocurren en invierno con el fortalecimiento del flujo de la Corriente de California (CC). En primavera, con la influencia plena de la CC, todos los stocks alcanzan su distribución más sureña. En verano, inicia el movimiento hacia el norte de los tres stocks con el inicio del flujo de la contracorriente nor-ecuatorial. En otoño, todos los stocks alcanzan su distribución latitudinal más norteña.

Parece obvio que estos movimientos de sardina del Pacífico estén acoplados tanto al sistema de corrientes que prevalece en el área de estudio, como a las épocas y zonas de mayores surgencias. Se sabe que durante la época fría del año la CC se extiende a lo largo de la costa sureste de la PBC y durante la época cálida se relaja, permitiendo que la contra-corriente se intensifique y caliente el área costera de la PBC, alcanzando un máximo en la TSM en septiembre (Lluch-Belda et al. 2003). Por otro lado, las máximas surgencias que ocurren en la época fría del año provocan una alta productividad primaria principalmente al centro y sur de la PBC. Durante el verano la surgencia se relaja al mínimo y estas zonas se empobrecen (Zaytsev et al. 2003, Lluch-Belda et al. 2003). En otras investigaciones también se ha indicado que las condiciones del ambiente oceánico afectan la distribución de

la sardina del Pacífico (Radovich 1982, Lluch-Belda et al. 1989, Lluch-Belda et al. 1991b, McFarlane & Beamish 1999).

Los resultados del presente estudio sobre la existencia de tres stocks de sardina en la zona de estudio (Fig. 7), no es un conocimiento nuevo. Esto ya se había señalado en varias investigaciones mencionadas por Smith (2005), las cuales fueron realizadas con base en estudios de marcado (Clark 1947), talla a la edad (Felin 1954), detección de centros de desove separados (Marr 1960), grupos sanguíneos (Vrooman 1964), conteo de vértebras (Wisner 1960), estimaciones de la tasa de mortalidad natural (Murphy 1966, MacCall 1979, Jacobson et al. 2002), o el reclutamiento bimodal (Buttler 1982). Lo relevante de nuestra propuesta es que mediante el uso de datos fáciles de obtener, como son la captura mensual en las zonas de pesca y la TSM, fue posible llegar a la misma conclusión de los trabajos anteriores.

Por otro lado, la distribución espacio-temporal señalada en nuestro modelo (Fig. 12), es similar a la reportada por Radovich (1982). Nuestro modelo también concuerda con la perspectiva presentada por Vrooman (1964) y Radovich (1982), de que cada stock de sardina generalmente no se distribuye en el mismo espacio y tiempo. Aunque sus áreas de distribución pueden traslaparse, probablemente existe poco intercambio entre los tres stocks debido a sus movimientos más o menos simultáneos hacia el norte y hacia el sur.

Si nuestra propuesta de que los stocks de sardina del Pacífico están adaptados a diferentes intervalos de TSM es cierta, esto representa un conocimiento práctico para separar por stock la información del número de individuos capturados por edad en cada zona de pesca. Con esto, se puede realizar una mejor estimación de

la abundancia de la población de sardina usando el análisis de población virtual APV (u otro modelo de este tipo), ya que se puede evaluar la abundancia específicamente de cada uno de los stocks. Esto es especialmente importante en stocks contiguos porque si estos difieren en productividad, el stock con productividad más alta podría inducir la sobrepesca del otro stock si se usa una cuota de captura común. Aún si sus productividades fueran similares, un posible reclutamiento asincrónico podría resultar en un reclutamiento fuerte de un stock, conduciendo a la sobrepesca del otro stock. Por estas razones, las evaluaciones de la biomasa anual se deben realizar para cada stock y se debe contar con un modelo de manejo separado para cada uno (Smith 2005). Las estimaciones realizadas a la fecha de la abundancia de este recurso, se han basado en información que considera a la población de sardina del Pacífico como un solo stock (Barnes et al. 1992, Barnes et al. 1996, Deriso 1993, Deriso et al. 1996).

## 7.2. COMPROBACIÓN DE LA EXISTENCIA DE STOCKS DE SARDINA DEL PACÍFICO

Cuando el ADM es usado para identificación de stocks, las variaciones en talla de los organismos pueden conducir a resultados espurios (Dos Reis et al. 1990). Bolles & Begg (2000) encontraron diferencias en la morfometría de los otolitos de *Merluccius bilinearis* debidas a la edad de los organismos. Para reducir estos sesgos nosotros solo usamos otolitos de sardinas de un año de edad. También usamos una rutina de sub-muestreo al azar para obtener muestras balanceadas y evitar los sesgos por muestras de diferente tamaño que provocan una heterogeneidad artificial entre los grupos (Reist 1985).

En estudios morfométricos, también es esencial considerar la variación que puede presentarse debido a diferencias dentro de un grupo de edad, clase anual, o de un sexo específico, para no confundir las diferencias entre stocks con diferencias intra-grupo (Bolles & Begg 2000). La variabilidad producida por sexo y clase anual no fue detectada por el ADM realizado con las sub-muestras intra-grupo. Estos resultados indican una consistencia entre las variables de los otolitos de los diferentes años y sexos.

El primer análisis discriminante multivariado (ADM) realizado con los datos morfométricos de los otolitos, considerando todos los elementos de las muestras sinópticas originales (Tabla 3), arrojó resultados similares al segundo ADM realizado con muestras balanceadas tomadas al azar (Fig. 14). En ambos casos el incremento gradual de los valores de Lambda de Wilks, refleja el grado de similitud entre los grupos de sardina comparados.

Los resultados del ADM obtenidos usando muestras balanceadas, concuerdan con lo que nosotros esperábamos *a priori*. La mayor diferencia se encontró entre los grupos cálido de Bahía Magdalena y frío de Ensenada, donde obtuvimos el menor valor promedio de Lambda de Wilks ( $\Lambda=0.626$ ) de todas las comparaciones, además de que en el 100% de ellas se encontraron diferencias significativas. La mayor similitud fue encontrada entre los grupos templado de Bahía Magdalena y templado de Ensenada ( $\Lambda=0.923$ ). No obstante que al usar las muestras sinópticas originales, la prueba estadística nos señaló diferencias entre estos grupos, con las muestras balanceadas no encontramos diferencias significativas en el 68% de las comparaciones entre estos grupos. Esto último apoya la hipótesis de que las sardinas presentes en la primera mitad del año en Bahía Magdalena, pertenecen

el mismo stock (templado) que las sardinas presentes en Ensenada en la segunda mitad del año, tal y como se plantea en el modelo de distribución espacial y temporal propuesto para la sardina del Pacífico en el inciso anterior.

Las otras comparaciones entre los grupos templado de Ensenada y cálido de Bahía Magdalena, templado de Bahía Magdalena y cálido de Bahía Magdalena, templado de Ensenada y frío de Ensenada, y la de los grupos templado de Bahía Magdalena y frío de Ensenada, revelaron diferencias significativas entre ellos, con valores de lambda de Wilks intermedios a los encontrados para la mayor diferencia y la mayor similitud entre los grupos mencionados en el párrafo anterior. El ADM también nos indica que el stock cálido, presente solo en Bahía Magdalena y que suponemos proviene del Golfo de California, fue el más distinto de los tres stocks. Otros autores también han señalado que las sardinas del Golfo de California son las más diferentes en todo el rango de distribución de la especie (Clark 1947, Vrooman 1964, Mais 1972, Radovich 1982).

Estos resultados basados en la distribución de los valores de Lambda de Wilks y en el porcentaje de pruebas significativas, proporcionan mas evidencias que apoyan la hipótesis de la existencia de tres stocks de sardina del Pacífico en la costa oeste de la Península de Baja California y el sur de California, propuesta por Clark (1947, 1952), Vrooman (1964), Mais (1972) y Radovich (1982), a pesar de la baja variabilidad genética señalada para esta especie (Hedgecock et al. 1989).

Los stocks definidos con datos de temperatura y captura tienen una clara diferenciación geográfica, a pesar del alto porcentaje de clasificación errónea al usar la morfometría de los otolitos (Solow 1990). Esto, obviamente no apoya la posibilidad de que los stocks sean genéticamente diferentes.

El desarrollo de los otolitos ocurre bajo una doble regulación donde las condiciones genéticas regulan su forma, y las condiciones ambientales (principalmente la temperatura) regulan la cantidad de material depositado durante su formación (Lombarte & Lleonart 1993). Con base en esto, es razonable creer que las diferencias morfométricas de los otolitos encontradas entre los stocks, sean determinadas por las condiciones ambientales locales (Hedgecock et al. 1989, Parrish et al. 1989, Lluch-Belda et al. 1991a).

La temperatura del medio ambiente es considerada el factor más importante que afecta la distribución de los organismos marinos (Lluch-Belda et al. 1991b). La productividad de las poblaciones de sardina en los diferentes sistemas de corrientes ha sido asociada con los cambios inter-decadales del régimen producidos por cambios de gran escala en el clima del océano (Rodríguez-Sánchez et al. 2001). La población de sardina extiende su rango de distribución geográfico durante los periodos cálidos y se contrae durante los fríos (Lluch-Belda et al. 1989). El incremento y expansión mas reciente de la población de sardina del Pacífico, podría haber causado la actual estructura de tres stocks, la cual creemos que solo puede ocurrir cuando los peces son muy abundantes y la población extiende su límite norteño.

### 7.3. OTROS ASPECTOS DE LA DINÁMICA POBLACIONAL DE LA SARDINA DEL PACÍFICO

Los grupos de edad de la sardina capturada en Bahía Magdalena, Ensenada y San Pedro en el período de 1981 a 2002, es similar a la reportada por Felin & Phillips (1948) al final del auge de la antigua pesquería de California, cuando predominaban los peces de 1 y 2 años de edad. Si consideramos que la captura

de sardina del Pacífico en la costa oeste de la Península de Baja California y el sur de California, ha tenido un crecimiento sostenido de 3,650 t en 1984 a más de 140,000 t en el año 2002, es razonable pensar que este recurso, que está sometido a una explotación muy intensa, tenga pocos grupos de edad como pasó antes del colapso de la pesquería de sardina en California.

La mayoría de las sardinias capturadas en el periodo de 1981 a 2002, presentaron una talla mayor que la establecida en la norma oficial mexicana (NOM-003-PESC-1993), lo que significa se ha estado cumpliendo con la única regulación oficial que se tiene para la captura de sardina en aguas mexicanas.

Al estimar los parámetros del modelo de crecimiento de Bertalanffy por zona de pesca y compararlos con resultados de las estimaciones por stock (Tabla 6), observamos en ambos caso un gradiente latitudinal donde las sardinias del sur presentaron menores valores de  $L_{\infty}$  y mayores  $k$  que las del norte. Además, los valores de los coeficientes de determinación y de correlación se incrementaron al hacer las estimaciones de los parámetros de crecimiento por stock, lo que nos indica que la separación de los datos por stock fue acertada. Hedgecock et al. (1989) también encontraron que la población de la sardina del Pacífico muestra un gradiente norte-sur en la talla a la edad que es tan grande como el observado en el precolapso de la pesquería. Felin (1954) señaló que una diferencia significativa en las tasas de crecimiento de la sardina, puede ser la respuesta fenotípica de un genotipo plástico que varía de acuerdo a las condiciones hidrográficas y que podría ser útil como un indicador para separar poblaciones homogéneas de ciertas áreas de pesca sin que esto implique diferencias genéticas.

Al analizar las estimaciones del índice de reclutamiento de la sardina del Pacífico por zonas y por stocks (Figs. 26 y 27), podemos señalar que las sardinas capturadas en la parte sur de su rango de distribución, parecen tener una estrecha relación con el fenómeno de “El Niño”, ya que los grandes reclutamientos observados en 1984, 1993 y 1999 en la zona de Bahía Magdalena y particularmente en el stock cálido, ocurrieron durante o un año después de los eventos ENSO de 1983-84, 1992-93 y 1998, que quizás hayan propiciado un éxito reproductivo que finalmente originaron clases anuales muy abundantes (Murphy 1966, Huato-Soberanis & Lluch-Belda 1987, Félix-Uraga 1992, Félix-Uraga et al. 1996). Aunque los reclutamientos de sardina detectados en la parte norte de su rango de distribución fueron mayores que los detectados en el sur, quizás porque los periodos cálidos le permiten expandir hacia el norte sus áreas de desove y de residencia (Lluch-Belda et al. 1991b).

Por otro lado, parece lógico suponer que el incremento en la captura total de sardina, durante el periodo de 1985 a 1989, esté estrechamente relacionado con la abundante clase anual originada en 1984, la cual se reclutó a la pesquería en 1985 y provocó que aumentara la captura y se sostuviera en un nivel de casi 20,000 t anuales hasta 1989 (Fig. 28). Las clases anuales originadas en 1989, 1990 y 1991, determinaron inicialmente la captura obtenida en Bahía Magdalena en 1990 y 1991 y posteriormente, de 1991 a 1993, las capturas de Ensenada y San Pedro, manteniendo un nivel total de casi 60,000 t anuales. Este cambio en el volumen de captura tuvo una estrecha relación con el fenómeno El Niño de 1992, que al parecer provocó la migración del recurso desde la zona sureña de Bahía Magdalena hacia las zonas norteñas de Ensenada y el sur de California. Por esta

razón disminuyó la captura de sardina en Bahía Magdalena durante 1992 y 1993. Esta migración hacia el norte en períodos cálidos está muy documentada, tanto en la literatura más antigua como en la reciente (Marr 1955, Wisner 1960, Radovich 1962, 1982, Lluch-Belda et al. 1989, 1991a, Félix-Uraga 1992). La gran abundancia de la clase anual originada en 1994 tiene una estrecha relación con el incremento en la captura de sardina que se observó en el período de 1995 a 1999, cuando se descargaron, en promedio más de 100,000 t anuales, con un máximo. Los picos de capturas de sardina, de más de 140,000 t ocurridos en los años 2000 y 2002, estuvieron relacionadas con la gran abundancia de la clase anual originada en 1999, la cual ha sido la más abundante registrada en el área de la costa oeste de la Península de Baja California y el sur de California, con casi 2,300 millones de individuos.

Al comparar las estimaciones de biomasa de la sardina del Pacífico de los stocks templado y frío (Fig. 31), notamos que el stock templado inició primero su crecimiento y alcanzó una mayor biomasa potencialmente explotable (390,000 t en 1996) que el stock frío que alcanzó su máximo de 200,000 t en el año de 1999. Esto nos está indicando que la recuperación de esta pesquería ocurrió de sur a norte de su distribución. Al contrario de cómo ocurrió el colapso de la misma en los años 40s y 50s, que fue de norte a sur (Radovich 1982, Wolf 1992).

En cuanto a la importancia relativa de los tres stocks de la sardina del Pacífico en las pesquerías existentes en la costa oeste de la Península de Baja California y el sur de California, el stock templado fue el más importante de los tres, ya que representó el 55.3% de las capturas. En segundo lugar estuvo el stock frío con 33.3% y el menos importante fue el stock cálido, ya que representó solo el 11.4%

de las capturas (Fig. 33). El contar con estimaciones sobre la importancia relativa de cada stock de la sardina del Pacífico, sobre todo de los stocks trans-fronterizos y contiguos, es de gran importancia para lograr acuerdos internacionales para asegurar la estabilidad futura de este recurso. Esta es una de las intenciones de los foros trinacionales de sardina que se han venido realizando anualmente desde el año 2000, donde se da una colaboración científica internacional, principalmente entre los países como Canadá, EUA y México, que actualmente explotan este recurso.

## **8. CONCLUSIONES**

En la costa oeste de la Península de Baja California y el Sur de California, se identificaron tres stocks de sardina del Pacífico, *Sardinops sagax*, adaptados a tres intervalos de temperatura. El stock cálido mostró afinidad por temperaturas mayores a 22° C, el stock templado entre 17° C y 22° C y el stock frío a menores de 17° C.

Los stocks de sardina del Pacífico migran estacionalmente de manera simultánea, acoplados a las corrientes que prevalecen en la zona. En invierno migran al sur, cuando se intensifica la Corriente de California. En verano, se mueven al norte con el fortalecimiento de la contra-corriente norecuatorial.

La estructura por edades de los tres stocks de sardina del Pacífico es muy similar, predominando los individuos de los grupos de edad 1 y 2.

El crecimiento de los individuos de los tres stocks mostró diferencias latitudinales.

Las sardinas de la parte sur tuvieron una  $L_{\infty}$  menor y una tasa de crecimiento mayor que las del norte.

Los reclutamientos más numerosos se registraron durante y después de la ocurrencia del fenómeno de El Niño, provocando un incremento en las capturas, las cuales se mantuvieron altas durante los siguientes dos a cuatro años.

Las estimaciones de biomasa de sardina del Pacífico en la costa oeste de la Península de Baja California y el sur de California, alcanzaron un máximo de más de 460,000 t en los años de la segunda mitad de la década de 1990.

La recuperación de la población la sardina del Pacífico ocurrió de sur a norte, siendo el stock templado el primero en alcanzar un máximo de biomasa en el año de 1996, mientras que el stock frío lo alcanzó en 1999.

El stock templado tuvo un mayor impacto en las pesquerías de la costa oeste de la Península de Baja California y el sur de California, alcanzando más del 55% de las capturas de sardina, seguido del stock frío con 33% y por último el stock cálido con solo el 11%.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Ahlstrom, E. H. 1966. Distribution and abundance of sardine and anchovy larvae in the California current region off California and Baja California, 1951-64: A summary. U.S. Fish. Wildl. Serv., Spec. Sci. Rep. 534: 71 p.
- Allen, M. J., R. J. Wolotira, Jr., T. M. Sample, S. F. Noel, & C. R. Iten. 1990. West coast of North America coastal and oceanic zones strategic assessment: Data Atlas, Invertebrate and fish. NOAA. Seattle, WA. 145 p.
- Allendorf, F. W., N. Ryman & F. M. Utter. 1987. Genetics and fishery management: past, present, and future. *In: Population Genetics and Fishery Management*, N. Ryman & F. Utter (eds.) Seattle and London. Univ. Washington Press. 1-19.
- Barnes, J. T., L. D. Jacobson, A. D. MacCall & P. Wolf. 1992. Recent populations trends and abundance estimates for the Pacific sardine (*Sardinops sagax*). CalCOFI Invest. Rep. 33: 60-75.
- Barnes, J. T., M. Yaremko, & D. Hanan. 1996. Status of the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) fishery. CDFG Mar. Res. Div. Admin. Rep. 96-1, 19 p.
- Barnes, J. T., & T. J. Foreman. 1994. Recent evidence for the formation of annual growth increments in the otoliths of young Pacific sardines (*Sardinops sagax*). Calif. Fish Game 80(1): 29-35.
- Bolles, K. L., & G. A. Begg. 2000. Distinction between silver hake (*Merluccius bilinearis*) stocks in U. S. waters of the northwest Atlantic based on whole otolith morphometrics. U. S. Fish. Bull. 98: 451-462.
- Booke, H. E. 1981. The conundrum of the stock concept – are nature and nurture definable in fishery science? Can. J. Fish. Aquat. Sci. 38: 1479-1506.
- Cadrin, S. X., & K. D. Friedland. 1999. The utility of image processing techniques for morphometric analysis and stock identification. Fish. Res. 43: 129-139.
- Campana, S. E., & J. M. Casselman. 1993. Stock discrimination using otolith shape analysis. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 50 (5): 1062-1083.
- Clark, F. N. 1947. Analysis of populations of the Pacific sardine on the basis of vertebral counts. Calif. Div. Fish Game, Fish. Bull. 65: 5-26.
- Clark, F. N. 1952. Review of the California sardine fishery. Calif. Dep. Fish Game 38(3): 367-380.
- Clark, F. N. & J. F. Janssen Jr. 1945. Movements and abundance of the sardine as measured by tag returns. Calif. Dep. Fish Game, Fish. Bull. 61: 7-12.

- Clark, F. N. & J. C. Marr. 1955. Population dynamics of the Pacific sardine. CalCOFI Prog. Rep. 1 July 1953-31 March 1955: 11-48.
- Cushing, D.H. 1981. Fisheries Biology. A study in population dynamics. Univ. Wisconsin Press Ltd., 2<sup>nd</sup> Edition, London. 295 p.
- De La Cruz-Agüero, J., & F. J. García-Rodríguez. 2004. Morphometric stock structure of the Pacific sardine *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) off Baja California, Mexico. *In: Morphometrics: Applications in Biology and Paleontology*, A. M. Elewa, (ed.) New York, NY. Springer-Verlag, 115–124.
- Deriso, R. 1993. A report on integrated stock assessment of Pacific sardine. Appendix 2. *In: Project report on Pacific sardine (*Sardinops sagax*) resource research, 1991/1992 phase III*, F. J. Hester, (ed.) Santa Barbara, California Seafood Council. 118 p.
- Deriso, R., J. T. Barnes, L. D. Jacobson, & P. R. Arenas. 1996. Catch-at-age analysis for Pacific sardine (*Sardinops sagax*), 1983–1995. CalCOFI Rep. 37: 175-187.
- Dos Reis, S. F., L. M. Pessoa & R. E. Strauss. 1990. Application of size-free canonical discriminant analysis to studies of geographic differentiation. *Rev. Brasil. Genetics* 13(3): 509–520.
- FAO. 1998. Estadísticas de Pesca. Vol. 86-1. Roma, Italia.
- Felin, F. E. 1954. Population heterogeneity in the Pacific pilchard. *Fish Wildl. Serv. Fish. Bull.* 54: 201–225.
- Felin, F. E., R. S. Wolf, A. E. Daugherty & D. J. Millar. 1958. Age and length composition of the Pacific coast of the United States and Mexico in 1955-56 and 1956-57. *Dep. Fish Game, Fish. Bull.* 106: 72 p.
- Felin, F. E. & J. B. Phillips. 1948. Age and length composition of the sardine match off the pacific coast of the United Status and Canada, 1941-42 through 1946-47. *Div. of Fish Game, Fish. Bull.* 69: 122 p.
- Félix-Uraga, R. 1986. Edad, crecimiento y estructura poblacional de *Sardinops sagax caerulea* en Bahía Magdalena, durante 1981 a 1984. Tesis de maestría en ciencias. CICIMAR-IPN. La Paz, B. C. S., México. 102 p.
- Félix-Uraga, R. 1992. Composición por edades de la sardina monterrey *Sardinops caeruleus* capturada en Bahía Magdalena, B.C.S., México, de 1981 a 1991. *Invest. Mar. CICIMAR* 7(1): 9-13.

- Félix-Uraga, R. & M. Ramírez-Rodríguez. 1989. Verificación en las determinaciones de edad de *Sardinops sagax caerulea* basadas en la lectura de otolitos. Invest. Mar. CICIMAR 4(1): 59-64.
- Félix-Uraga, R. 1990. Crecimiento de *Sardinops sagax caerulea* en Bahía Magdalena, México. Invest. Mar. CICIMAR 5(1): 27-31.
- Félix-Uraga, R., R.M. Alvarado-Castillo & R. Carmona-Piña. 1996. The sardine fishery along the western coast of Baja California, 1981 to 1994. CalCOFI Rep. 37: 188-192.
- Ferris, S. D. & W. J. Berg. 1987. The utility of mitochondrial DNA in fish genetics and fishery management. *In: Population Genetics and Fishery Management*, N. Ryman & F. Utter (eds.) Seattle and London: Univ. Washington Press. 277-299.
- Fitch, J. E. 1951. Age composition of the southern California match of Pacific mackerel, 1939-40 through 1950-51. Dep. Fish Game, Fish. Bull. 83: 73 p.
- Grant, W. S., & R. W. Leslie 1996. Late Pleistocene dispersal of Indian-Pacific sardine populations in an ancient lineage of the genus *Sardinops*. Mar. Biol. 126: 133-142.
- Gulland, J. A. 1966. Manual of sampling methods for fisheries biology. FAO Fish. Biol. Tech. Pap. 26: 75 p.
- Hedgecock, D., E. S. Hutchinson, G. Li, F. L. Sly & K. Nelson. 1989. Genetic and morphometric variation in the Pacific sardine, *Sardinops sagax caerulea*: Comparisons and contrasts with historical data and with variability in the northern anchovy, *Engraulis mordax*. Fish. Bull. 87(3): 653-671.
- Holden, M. J. & D. F. S. Raitt. 1975. Métodos para investigar los recursos y su aplicación. Manual de Ciencia Pesquera. Parte 2. FAO 123 p.
- Holt, S. J. 1959. A preliminary comparative study of the growth, maturity, and mortality of sardines. Proc. World Sci. Biol. of sardines and related species. Subj. Syn. 4: 5 p.
- Huato-Soberanis, L. & D. Lluch-Belda. 1987. Mesoscale cycles in the series of environmental indices related to the sardine fishery in the Gulf of California. CalCOFI Rep. 28: 128-134.
- Jacobson, L. D., & A. D. MacCall. 1995. Stock-recruitment models for Pacific sardine *Sardinops sagax*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 52: 566-577.

- Jacobson, L. D., J. A. A. De Oliveira, M. Barange, M. A. Cisneros-Mata, R. Felix-Uraga, J. R. Hunter, J. Y. Kim, Y. Matsuura, M. Niquen, C. Porteiro, B. Rothschild, R. P. Sanchez, R. Serra, A. Uriarte & T. Wada. 2001. Surplus production, variability, and climate change in the great sardine and anchovy fisheries. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58: 1891-1903.
- Kramer, D. and P. E. Smith. 1971. Seasonal and geographic characteristics of fishery resources. California current region VII. Pacific Sardine Com. Fish. Rev. 33(10): 7-11.
- Lluch-Belda, D., R. J. M. Crawford, T. Kawasaki, A. D. MacCall, R. H. Parrish, R. A. Schwartzlose, & P. E. Smith. 1989. Worldwide fluctuations of sardine and anchovy stocks: the regimen problem. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 8: 195–205.
- LLuch-Belda, D., S. Hernández-Vázquez, & R. A. Schwartzlose. 1991a. A hypothetical model for the fluctuation of the California sardine population (*Sardinops sagax caerulea*). *In: Long-term variability of pelagic fish populations and their environment.* T. Kawasaki, S. Tanaka, Y. Toba, & A. Taniguchi (eds.) Oxford. Pergamon Press. 293-300.
- LLuch-Belda, D., D. B. Lluch-Cota, S. Hernández-Vázquez, C. A. Salinas-Zavala & R. A. Schwartzlose. 1991b. Sardine and anchovy spawning as related to temperature and upwelling in the California current system. *CalCOFI Rep.* 32: 105-111.
- LLuch-Belda, D., D. B. Lluch-Cota & S. E. Lluch-Cota. 2003. Baja California's biological transition zones: Refuges for the California sardine. *Jour. Oceanog.* 59(4): 503-513.
- Lombarte, A. & J. Leonart. 1993. Otolith size changes related with body growth, habitat and temperature. *Env. Biol. Fish.* 37:297–306.
- MacCall, A. D. 1979. Population estimates for the waning years of the Pacific sardine fishery. *CalCOFI Rep.* 10: 72-82.
- Mais, K. F. 1972. A subpopulation study of the Pacific sardine. *Calif. Dep. Fish Game, Fish. Bull.* 58(4):296–314.
- Marr, J. C. 1955. Sardine spawning surveys. *Pan-Am. Fish.* 10 (3): 14-15.
- Marr, J. C. 1960. The causes of major variations in the catch of the Pacific sardine, *Sardinops caerulea* (Girard). *In: Proc. Of the world scientific meeting on the biology of sardines and related species.* H. Rosa & G. I. Murphy (eds.) FAO of the UNO III: 667-791.

- McFarlane, G. A. & R. J. Beamish. 1999. Sardines return to British Columbia waters. *In: Proceedings of the 1998 Science Board Symposium on the impacts of the 1997/98 El Niño event on the north Pacific ocean and its marginal seas*, H. Freeland, W. P. Peterson & A. Tyler (eds.) Sidney, Canada. PICES Scientific Report, 10. N. Pac. Mar. Sci. Org., 77-82.
- McFarlane, G. A., & R. J. Beamish. 2001. The re-occurrence of sardines off British Columbia characterises the dynamic nature of regimes. *Prog. Oceanog.* 49: 151-165.
- Murphy, G. I., 1966. Population biology of the Pacific sardine *Sardinops caerulea*. *Proc. Cal. Acad. Sci.* 34(1): 1-87.
- Parrish, R. H., R. Serra & 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.
- Pella, J. J. and G. B. Milner. 1987. Use of genetics marks in stock composition analysis. *In: Population genetics and fishery management*. N. Ryman & F. Utter (eds.). Seattle and London. Univ. Washington press. 247-275.
- Podestá, G. P. 1989. Migratory pattern of Argentine hake *Merluccius hubbsi* and oceanic processes in the southwestern Atlantic Ocean. *Fish. Bull.* 88(1): 167-177.
- Pope, J. G. 1972. An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. *ICNAF Res. Bull.* (9): 65-74.
- Quiñónez-Velázquez, C., R. M. Alvarado-Castillo & R. Félix-Uraga. 2002. Relación entre el crecimiento individual y la abundancia de la población de la sardina del Pacífico *Sardinops caeruleus* (Pisces: Clupeidae) (Girard 1856) en Isla de Cedros, Baja California, México. *Biol. Mar. Oceanog. Chile* 37(1): 1-8.
- Radovich, J. 1962. Effects of sardine spawning stock size and environment on year-class production. *Calif. Fish Game* 48: 123-140.
- Radovich, J. 1982. The collapse of the California sardine fishery. What have we learned? *CalCOFI Rep.* 23: 56-77.
- Reist, J. D. 1985. An empirical evaluation of several univariate methods that adjust for size variation in morphometric data. *Can. J. Zool.* 63:1429–1439.
- Ricker, W. E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. board Can.* 191: 382 p.

- Rodríguez-Sánchez, R., D. Lluch-Belda, H. Villalobos-Ortíz, & S. Ortega-García. 2001. Large-scale long-term variability of small pelagic fish in the California current system. *In: Spatial processes and management of marine populations*, G. H. Kruse, N. Bez, A. Booth, M. W. Dorn, S. Hills, R. N. Lipcius, D. Pelletier, C. Roy, S. J. Smith & D. Witherell (eds.) Fairbanks, AK: Univ. Alaska, 447–462.
- Rowe, S. & J. A. Hutchings. 2003. Mating systems and the conservation of commercially exploited marine fish. *Trends Ecol. Evol.* 18 (11): 567-572.
- Saila, S. B. & B. K. Martin. 1985. A brief review and guide to some multivariate methods for stock identification. *In: Proceedings of the stock identification workshop*. H. E. Kumpf, R. N. Vaught, C. B. Grimes, A. G. Johnson, & E. L. Nakamura (eds.) Panama City Beach, Florida. NOAA Tech. Mem. NMFS-SEFC-199: 149-173.
- Schwartzlose, R. A., J. Alheit, A. Bakun, T. R. Baumgartner, R. Cloete, R. J. M. Crawford, W. J. Fletcher, Y. Green-Ruiz, E. Hagen, T. Kawasaki, D. Lluch-Belda, S. E. Lluch-Cota, A. D. MacCall, Y. Matsuura, M. O. Nevárez-Martínez, R. H. Parrish, C. Roy, R. Serra, K. V. Shust, M. N. Ward and J. L. Zuzunaga 1999. Worldwide large-scale fluctuations of sardine and anchovy populations. *S. Afr. J. mar. Sci.* 21: 289-347.
- Smith, P. E. 2005. A history of proposals for subpopulation structure in the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) population off western north America. *CalCOFI Rep.* 46: 75-82.
- Solow, A. R. 1990. A randomization test for misclassification probability in discriminant analysis. *Ecology* 71(6): 2379–2382.
- Sparre, P. & S. C. Venema. 1995. Introduction to tropical fish stock assessment. Part 1. Manual. FAO Fish. Tech. Pap. N° 306.1 Rome. 376 p.
- Sprague, L. M. & A. M. Vrooman 1962. A racial analysis of the Pacific sardine (*Sardinops caerulea*) based on studies of erythrocyte antigens. *Ann. New York Acad. Sci.* 97(1): 131-138.
- Utter, F. 1991. Biochemical genetics and fishery management: an historical perspective. *J. Fish Biol.* 39: 1-20.
- Vrooman, A. M. 1964. Serologically differentiated subpopulations of the Pacific sardine, *Sardinops caerulea*. *J. Fish. Res. board Can.* 21: 691-701.
- Walford, L. A., & K. H. Mosher. 1943a. Determination of the age of juveniles by scales and otoliths. *U. S. Fish Wildl. Serv. Spec. Sci. Rep. Fish.* 15: 31-95.

- Walford, L. A., & K. H. Mosher. 1943b. Determination of the age of adults by scales and effect of environment on first year's growth as it bears on age determination. U. S. Fish Wildl. Serv. Spec. Sci. Rep. Fish. 15: 96-131.
- Winans, G. A. 1985. Using morphometric and meristic characters for identifying stocks of fish. *In*: Proceedings of the stock identification workshop. H. E. Kumpf, R. N. Vaught, C. B. Grimes, A. G. Johnson, & E. L. Nakamura (eds.) Panama City Beach, Florida. NOAA Tech. Mem. NMFS-SEFC-199: 25-62.
- Wisner, R. L. 1960. Evidence of a northward movement of stocks of the Pacific sardine based on the number of vertebrae. CalCOFI. Rep. 8:75-82.
- Wolf, P. 1992. Recovery of the Pacific sardine and the California sardine fishery. CalCOFI Rep. 33: 76-86.
- Wolf, R. S. 1961. Graphic presentation of Pacific sardine age composition data. U. S. Fish Wildl. Serv. Spec. Sci. Rep. Fish. 384: 34 p.
- Zaytsev, O., R. Cervantes-Duarte, O. Montante & A. Gallegos-García 2003. Coastal upwelling activity on the Pacific shell of the Baja California Peninsula. Jour. Oceanog. 59(4): 489-502.

## 10. ANEXOS

### Anexo 1.

Muestreos masivos y biológicos realizados en las descargas de sardina del Pacífico en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México, y número de individuos involucrados.

<b>AÑO</b>	<b>MUESTREOS MASIVOS</b>	<b># DE INDIVIDUOS</b>	<b>MUESTREOS BIOLÓGICOS</b>	<b># DE INDIVIDUOS</b>
1981	17	2,776	8	400
1982	40	5,967	12	494
1983	6	1,798	5	309
1984	22	2,696	21	716
1985	26	2,293	21	547
1986	43	5,354	29	882
1987	13	718	9	234
1988	76	1,788	16	667
1989	41	1,802	31	1,008
1990	101	4,541	36	1,416
1991	84	5,228	38	1,429
1992	55	2,186	15	533
1993	54	2,635	17	532
1994	118	3,618	25	889
1995	98	4,097	32	1,159
1996	104	2,697	30	959
1997	61	1,210	18	597
1998	11	571	9	297
1999	20	1,550	11	269
2000	113	3,774	31	1,041
2001	110	2,926	28	962
2002	143	2,518	25	931
<b>TOTAL</b>	<b>1,356</b>	<b>62,743</b>	<b>467</b>	<b>16,271</b>

Anexo 2.

Muestreos masivos y biológicos realizados en las descargas de sardina del Pacífico en Isla Cedros, Baja California, México, y número de individuos involucrados.

<b>AÑO</b>	<b>MUESTREOS MASIVOS</b>	<b># DE INDIVIDUOS</b>	<b>MUESTREOS BIOLÓGICOS</b>	<b># DE INDIVIDUOS</b>
1985	22	1,282	16	508
1986	18	1,370	16	484
1987	2	74	2	40
1994	8	1,111	7	286
<b>TOTAL</b>	<b>50</b>	<b>3,837</b>	<b>41</b>	<b>1,318</b>

Anexo 3.

Muestreos masivos y biológicos realizados en las descargas de sardina del Pacífico en Ensenada, Baja California, México, y número de individuos involucrados.

<b>AÑO</b>	<b>MUESTREOS MASIVOS</b>	<b># DE INDIVIDUOS</b>	<b>MUESTREOS BIOLÓGICOS</b>	<b># DE INDIVIDUOS</b>
1989	21	315	21	210
1990	25	375	26	268
1991	71	1,068	72	720
1992	53	795	53	530
1993	78	1,171	110	1,407
1994	39	585	54	650
1995	65	975	71	782
1996	56	840	56	560
1997	55	795	58	530
1998	36	535	54	843
1999	56	1,380	56	639
2000	55	1,355	55	630
2001	44	1,125	44	519
2002	38	974	43	483
<b>TOTAL</b>	<b>692</b>	<b>12,288</b>	<b>773</b>	<b>8,771</b>

Anexo 4.

Meses en que se tomaron muestras de las descargas de sardina del Pacífico en San Pedro, California, EUA, y número de individuos involucrados.

<b>AÑO</b>	<b># DE MESES</b>	<b># DE INDIVIDUOS</b>
1983	12	991
1984	5	188
1985	10	585
1986	12	1,240
1987	12	1,783
1988	11	2,689
1989	8	1,466
1990	7	1,268
1991	7	2,367
1992	11	3,010
1993	9	1,948
1994	10	1,429
1995	11	3,887
1996	11	2,329
1997	12	2,766
1998	11	2,797
1999	12	2,729
2000	12	2,856
2001	12	3,369
2002	9	1,869
<b>Total</b>	<b>204</b>	<b>41,566</b>

ANEXO 5.

Captura mensual y anual de sardina del Pacífico en Bahía Magdalena durante 1981 a 2002 (toneladas).

	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>TOTAL</b>
<b>81</b>	0.0	0.0	0.0	785.3	2,320.6	2,746.5	2,482.4	1,237.4	524.0	139.4	321.4	0.0	<b>10,557</b>
<b>82</b>	25.4	35.7	0.0	80.6	1,176.3	2,247.5	2,633.4	2,388.6	164.8	194.2	223.9	221.6	<b>9,392</b>
<b>83</b>	11.4	0.0	0.0	40.0	795.5	1,062.6	476.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>2,386</b>
<b>84</b>	0.0	0.0	10.1	96.5	715.5	928.4	553.0	109.1	41.2	0.0	0.0	0.0	<b>2,454</b>
<b>85</b>	10.9	150.8	538.2	1,255.7	1,281.0	2,265.0	1,714.6	2,583.1	471.4	606.4	75.6	26.6	<b>10,979</b>
<b>86</b>	731.2	1,180.9	1,498.4	1,932.2	2,434.4	2,073.6	2,344.9	1,065.0	36.2	517.3	389.2	0.0	<b>14,203</b>
<b>87</b>	329.3	659.0	1,368.6	1,749.7	1,938.7	1,507.2	780.5	219.2	47.2	0.0	0.0	0.0	<b>8,599</b>
<b>88</b>	366.0	222.6	1,280.3	1,194.3	1,637.9	2,358.7	2,420.5	1,770.8	54.0	0.0	51.0	724.3	<b>12,081</b>
<b>89</b>	809.5	664.4	128.5	807.4	1,390.5	1,822.1	1,234.5	405.4	0.0	32.4	92.0	359.4	<b>7,746</b>
<b>90</b>	886.5	296.5	1,793.5	2,080.7	1,063.8	1,892.3	1,945.4	844.4	1,059.7	1,524.0	2,207.5	1,381.1	<b>16,975</b>
<b>91</b>	1,446.5	355.6	1,456.8	2,145.0	2,605.4	2,405.3	1,765.1	1,672.1	1,829.9	182.6	29.2	0.0	<b>15,893</b>
<b>92</b>	0.0	0.0	52.1	349.2	815.7	866.6	1,441.4	1,172.7	328.3	0.0	0.0	0.0	<b>5,026</b>
<b>93</b>	0.0	0.0	69.4	1,629.4	1,819.9	1,224.3	2,088.5	260.6	216.0	47.8	207.6	107.1	<b>7,671</b>
<b>94</b>	306.4	407.8	2,638.4	3,334.1	3,461.1	3,605.5	3,136.0	3,473.1	3,560.0	3,886.1	3,225.2	2,753.5	<b>33,787</b>
<b>95</b>	2,299.2	1,757.9	3,716.8	4,486.4	3,037.7	3,409.3	3,288.9	3,603.5	2,466.7	2,643.4	2,428.8	1,402.6	<b>34,541</b>
<b>96</b>	2,197.1	118.0	3,052.6	3,693.3	3,843.3	3,622.9	1,261.6	986.8	1,174.5	2,120.7	2,846.0	878.4	<b>25,795</b>
<b>97</b>	225.2	901.3	5,252.4	3,881.4	1,128.8	2,006.9	1,109.0	133.5	18.0	0.0	0.0	0.0	<b>14,656</b>
<b>98</b>	55.9	48.2	465.2	263.8	871.8	627.1	160.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>2,493</b>
<b>99</b>	0.0	0.0	0.0	17.1	341.9	852.1	2,434.0	2,216.1	650.0	482.1	1,911.0	2,890.5	<b>11,795</b>
<b>00</b>	1,964.6	1,669.0	5,613.2	4,152.0	3,437.7	2,156.4	3,055.0	3,544.1	4,615.9	5,375.3	5,096.1	1,597.2	<b>42,276</b>
<b>01</b>	0.0	804.6	2,869.2	2,561.0	4,404.7	6,599.9	5,326.4	6,289.9	3,381.6	4,829.8	2,618.2	886.9	<b>40,572</b>
<b>02</b>	2,670.8	280.0	2,072.9	6,947.5	9,184.5	8,101.5	8,283.2	7,928.2	687.2	338.0	2,777.5	1,697.6	<b>50,969</b>

ANEXO 6.

Captura mensual y anual de sardina del Pacífico en Isla Cedros durante 1981 a 1994 (toneladas).

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
<b>81</b>	49.1	37.7	55.5	152.4	36.9	17.7	4.0	318.4	292.5	208.4	460.4	71.6	<b>1,705</b>
<b>82</b>	36.3	27.3	88.4	58.4	347.1	31.5	8.9	0.0	109.3	1469.5	185.1	0.0	<b>2,362</b>
<b>83</b>	0.0	74.4	0.0	0.0	131.7	83.3	337.8	521.9	147.9	77.8	82.2	123.4	<b>1,580</b>
<b>84</b>	91.0	32.0	73.7	50.1	62.8	0.0	3.6	17.3	0.0	608.2	1.5	103.8	<b>1,044</b>
<b>85</b>	450.3	271.1	195.1	91.6	0.0	241.8	90.0	8.4	9.0	35.0	8.5	28.0	<b>1,429</b>
<b>86</b>	416.0	378.5	741.6	488.4	185.2	136.4	150.5	90.7	38.8	5.7	71.8	104.4	<b>2,808</b>
<b>87</b>	200.8	260.3	211.1	151.5	60.1	115.7	93.0	619.4	552.8	250.1	341.3	0.0	<b>2,856</b>
<b>88</b>	62.1	140.0	154.0	54.9	15.0	15.6	223.6	0.0	26.1	16.5	42.0	96.2	<b>846</b>
<b>89</b>	36.3	44.6	403.7	286.1	434.0	163.0	214.5	533.0	15.6	22.2	94.3	97.0	<b>2,344</b>
<b>90</b>	148.7	89.8	384.0	108.9	159.5	0.0	63.0	224.1	402.6	385.8	116.2	3.0	<b>2,086</b>
<b>91</b>	10.7	6.0	0.0	10.5	0.0	156.6	265.8	51.9	45.9	0.0	0.0	4.0	<b>551</b>
<b>92</b>	115.8	39.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	161.7	0.0	0.0	31.8	<b>348</b>
<b>93</b>	112.5	236.0	109.4	588.5	0.0	133.3	0.0	101.1	0.0	75.5	0.0	148.3	<b>1,505</b>
<b>94</b>	259.5	390.5	49.7	184.0	555.6	246.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>1,685</b>

ANEXO 7.

Captura mensual y anual de sardina del Pacífico en Ensenada durante 1983 a 2002 (toneladas).

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
<b>83</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	75.0	74.5	29.8	94.3	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>274</b>
<b>84</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>
<b>85</b>	3174.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	128.2	39.7	306.8	0.0	73.4	0.0	<b>3,722</b>
<b>86</b>	85.9	0.0	0.0	0.0	13.3	0.0	23.4	40.3	51.9	0.0	27.8	0.0	<b>243</b>
<b>87</b>	74.6	0.0	0.0	72.6	243.4	584.4	2.1	0.0	146.9	783.2	422.5	101.9	<b>2,432</b>
<b>88</b>	62.1	140.0	154.0	54.9	67.8	141.4	340.9	753.4	44.5	90.2	89.5	96.2	<b>2,035</b>
<b>89</b>	0.0	0.0	0.0	27.0	269.0	165.0	947.0	1079.1	223.8	2954.4	208.3	350.6	<b>6,224</b>
<b>90</b>	1949.8	1306.5	815.7	1077.1	346.2	404.7	463.8	1535.0	1973.5	1015.2	171.5	316.3	<b>11,375</b>
<b>91</b>	1359.6	1315.7	1074.9	1062.0	1102.1	3356.7	1352.0	1007.3	5710.1	7484.7	3329.3	3237.4	<b>31,392</b>
<b>92</b>	1051.4	1719.0	123.7	21.8	85.2	325.4	235.7	946.2	11874.7	9689.4	5091.3	3404.4	<b>34,568</b>
<b>93</b>	1751.5	2645.9	5071.9	2416.0	3994.2	2768.6	1961.6	3746.2	3174.4	2546.4	1195.3	772.9	<b>32,045</b>
<b>94</b>	619.9	175.1	198.3	16.0	1985.2	2717.1	2537.8	2637.1	705.9	3205.3	4449.7	1629.6	<b>20,877</b>
<b>95</b>	2302.6	3209.6	2843.3	2828.1	4775.1	2268.6	4028.3	2155.2	1527.7	1650.9	4720.4	3086.4	<b>35,396</b>
<b>96</b>	4349.4	3447.3	3847.2	2102.9	733.0	1186.1	2317.5	4294.9	5491.2	3637.0	3264.0	4394.2	<b>39,065</b>
<b>97</b>	5055.5	483.6	3372.0	2781.5	243.0	1562.9	7251.7	12115.8	7913.9	9896.8	13286.7	4475.7	<b>68,439</b>
<b>98</b>	9143.8	3158.0	2422.8	2558.0	2746.2	210.0	3452.3	5533.8	1525.7	5156.1	8113.5	3792.0	<b>47,812</b>
<b>99</b>	5453.8	8796.7	6164.5	8166.8	3075.0	3103.0	100.8	3272.1	1650.9	5213.7	7368.4	6203.7	<b>58,569</b>
<b>00</b>	5002.5	5454.8	4498.1	4221.7	3636.7	2985.7	4051.4	2780.3	5663.2	3693.5	5005.2	4179.8	<b>51,173</b>
<b>01</b>	3132.9	902.0	1068.1	837.2	1161.5	2205.7	2260.9	2433.1	1859.0	1255.5	3546.9	1583.2	<b>22,246</b>
<b>02</b>	2335.5	2250.6	1380.2	2732.5	3998.2	3800.1	2291.2	5453.9	3577.9	4796.9	5634.5	5185.9	<b>43,437</b>

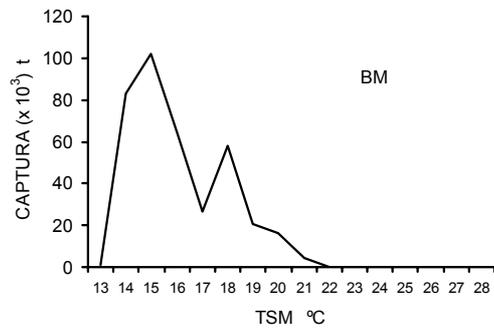
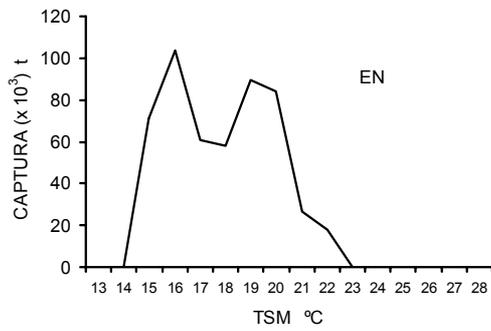
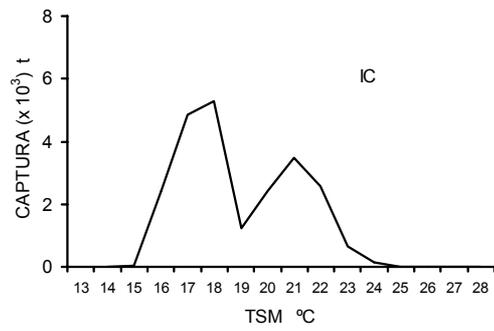
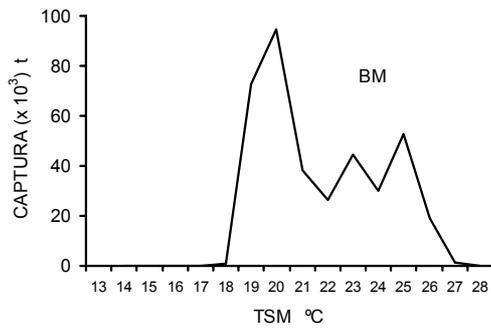
ANEXO 8.

Captura mensual y anual de sardina del Pacifico en San Pedro durante 1982 a 2002 (toneladas).

	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>TOTAL</b>
<b>82</b>	0.5	1.9	11.7	18.5	11.2	13.3	19.7	10.4	12.1	10.4	20.6	0.7	<b>131</b>
<b>83</b>	28.9	9.4	1.4	108.0	93.0	22.6	0.0	19.1	29.2	0.8	36.0	4.0	<b>352</b>
<b>84</b>	49.7	21.6	13.8	21.8	24.3	27.9	0.0	2.4	1.7	4.0	1.3	2.2	<b>171</b>
<b>85</b>	11.3	47.2	67.7	170.6	14.2	0.6	29.2	39.7	39.8	11.4	26.5	100.2	<b>559</b>
<b>86</b>	157.7	123.9	206.5	148.4	111.5	106.5	10.5	20.6	43.8	80.1	2.3	39.5	<b>1,051</b>
<b>87</b>	209.0	313.6	450.0	182.3	37.7	89.5	83.8	107.8	280.2	179.0	66.4	56.2	<b>2,056</b>
<b>88</b>	1570.5	214.4	439.8	219.6	275.0	292.7	48.8	157.3	179.2	129.3	182.3	65.8	<b>3,775</b>
<b>89</b>	880.2	243.9	303.9	307.4	37.5	146.3	119.1	606.0	350.2	268.1	84.4	96.4	<b>3,443</b>
<b>90</b>	1197.5	61.7	460.8	7.1	98.7	60.8	155.8	4.0	276.7	115.2	8.1	61.7	<b>2,508</b>
<b>91</b>	1797.7	196.3	2570.0	414.8	41.3	62.2	19.1	0.0	21.8	384.6	1034.7	231.6	<b>6,774</b>
<b>92</b>	2308.9	1191.9	1568.6	689.8	31.0	93.5	5.3	86.7	409.1	1825.1	5994.6	1856.5	<b>16,061</b>
<b>93</b>	2761.3	2767.4	3224.2	2454.5	537.9	13.7	26.9	14.8	3.6	2917.1	278.8	487.6	<b>15,488</b>
<b>94</b>	474.7	1301.6	2931.3	2131.9	883.0	15.9	57.8	0.3	32.9	1487.3	820.5	208.7	<b>10,346</b>
<b>95</b>	6341.3	5248.3	2669.2	4194.0	6002.1	3667.2	838.9	50.3	321.5	4929.4	791.0	1508.1	<b>36,561</b>
<b>96</b>	3558.2	2589.3	3525.8	2762.6	423.1	1550.5	702.3	28.8	1473.3	7433.1	1044.8	79.1	<b>25,171</b>
<b>97</b>	1830.3	2466.1	3087.7	2520.9	1451.7	166.8	1244.3	819.3	3489.3	8265.7	5040.6	2454.2	<b>32,837</b>
<b>98</b>	2191.1	2106.1	5973.7	8067.0	653.2	102.9	85.6	11.5	960.7	3023.6	3742.3	5056.8	<b>31,975</b>
<b>99</b>	6078.8	6534.3	6978.6	2474.9	1814.2	169.1	2866.6	2957.8	4469.9	3651.3	2218.2	2649.3	<b>42,863</b>
<b>00</b>	6243.7	9398.0	10908.3	4712.8	2077.1	779.4	516.1	1330.8	1118.2	1666.0	2523.5	5560.9	<b>46,835</b>
<b>01</b>	8932.1	6753.0	6759.2	2023.0	3543.2	1332.9	1872.0	4549.5	4245.6	3939.1	2238.0	1474.0	<b>47,662</b>
<b>02</b>	4772.4	7668.6	6354.5	5144.0	2052.0	629.0	3020.1	4431.9	4066.4	3819.1	3348.1	4059.7	<b>49,366</b>

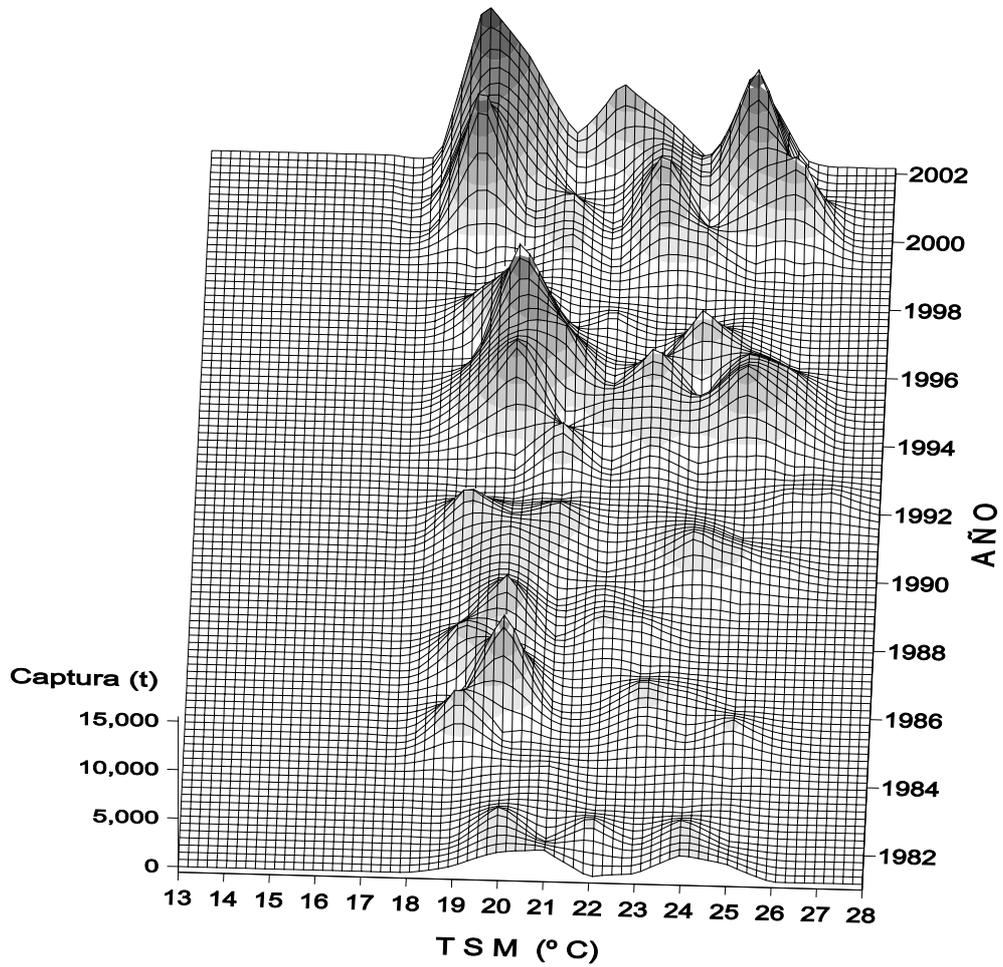
## ANEXO 9.

Captura total de sardina del Pacífico por 1° C de TSM en las pesquerías de la costa oeste de la Península de Baja California y el sur de California, durante 1981 a 2002.



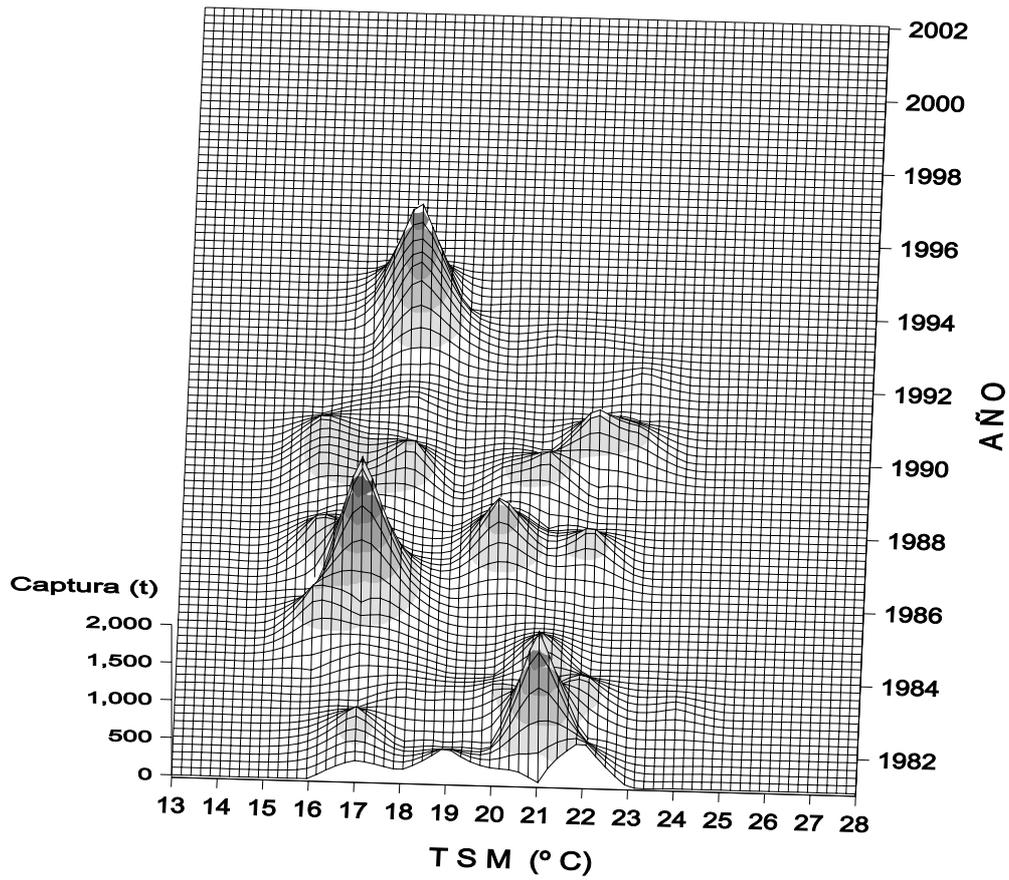
ANEXO 10.

Captura de sardina del Pacífico por grado de TSM en Bahía Magdalena, durante 1981 a 2002.



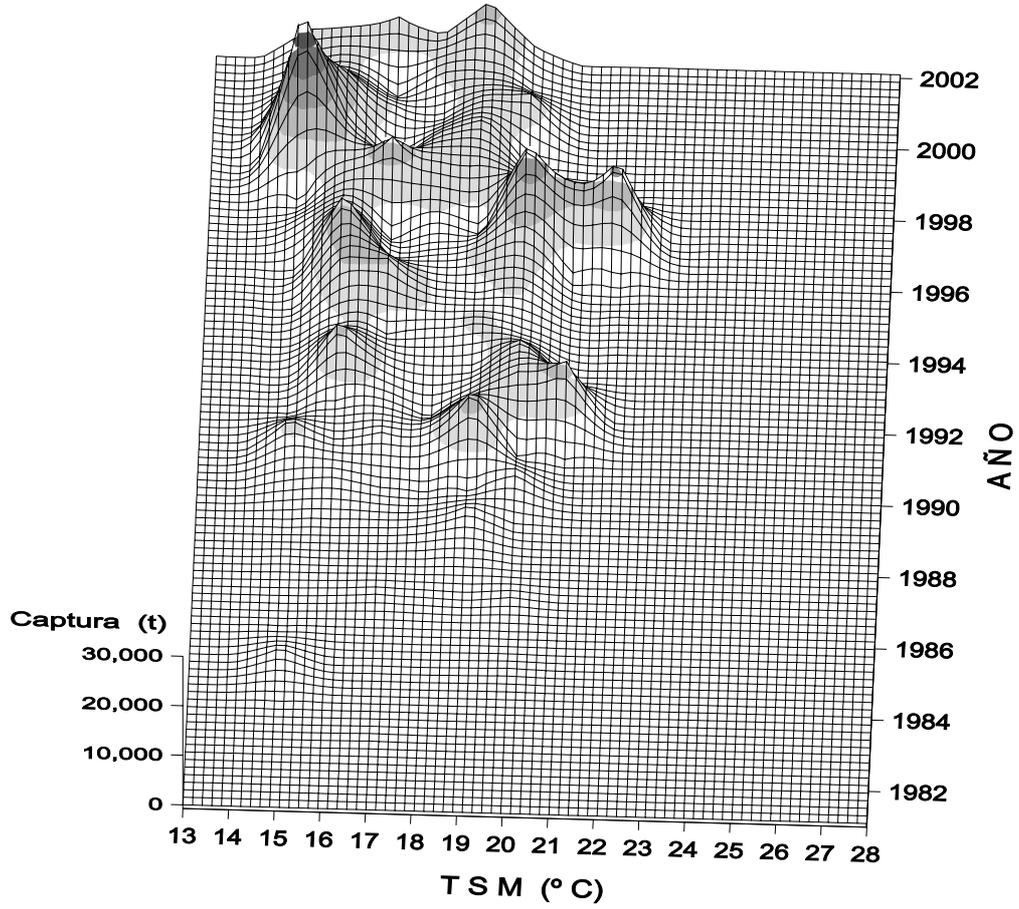
ANEXO 11.

Captura de sardina del Pacífico por grado de TSM en Isla Cedros, durante 1981 a 1994.



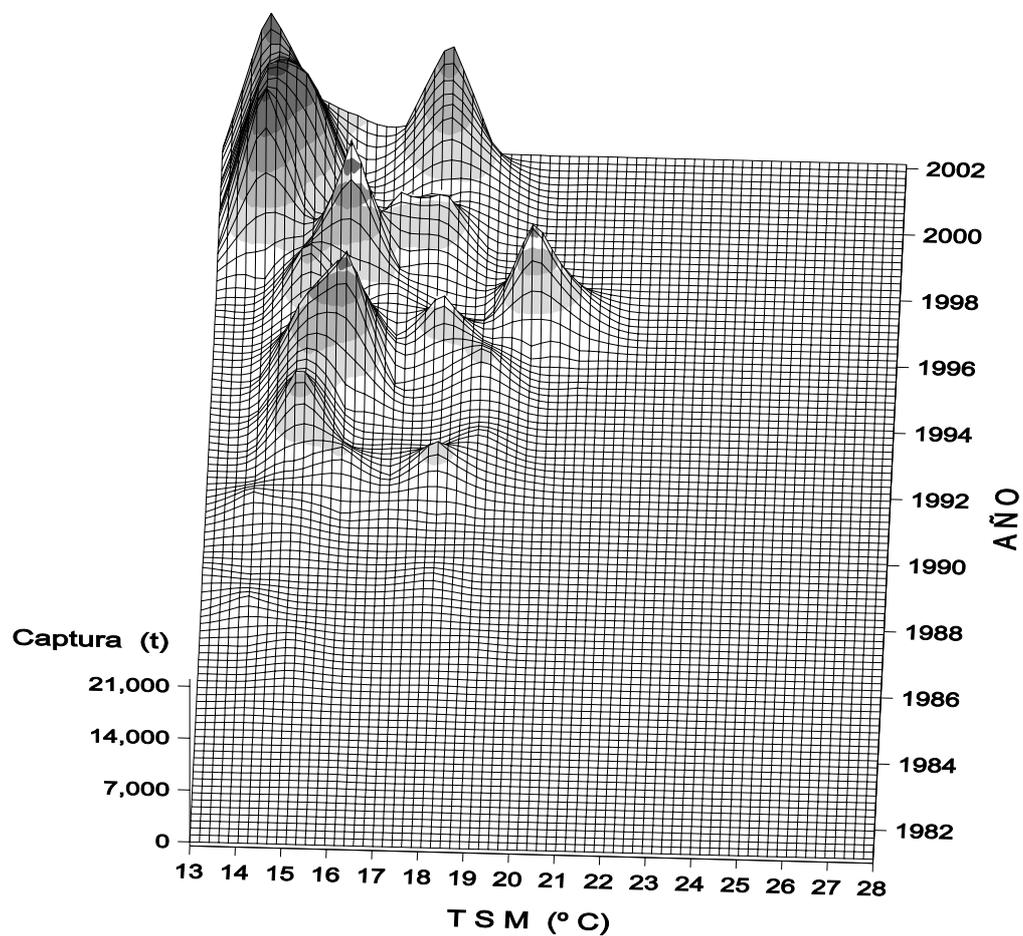
ANEXO 12.

Captura de sardina del Pacífico por grado de TSM en Ensenada, durante 1983 a 2002.



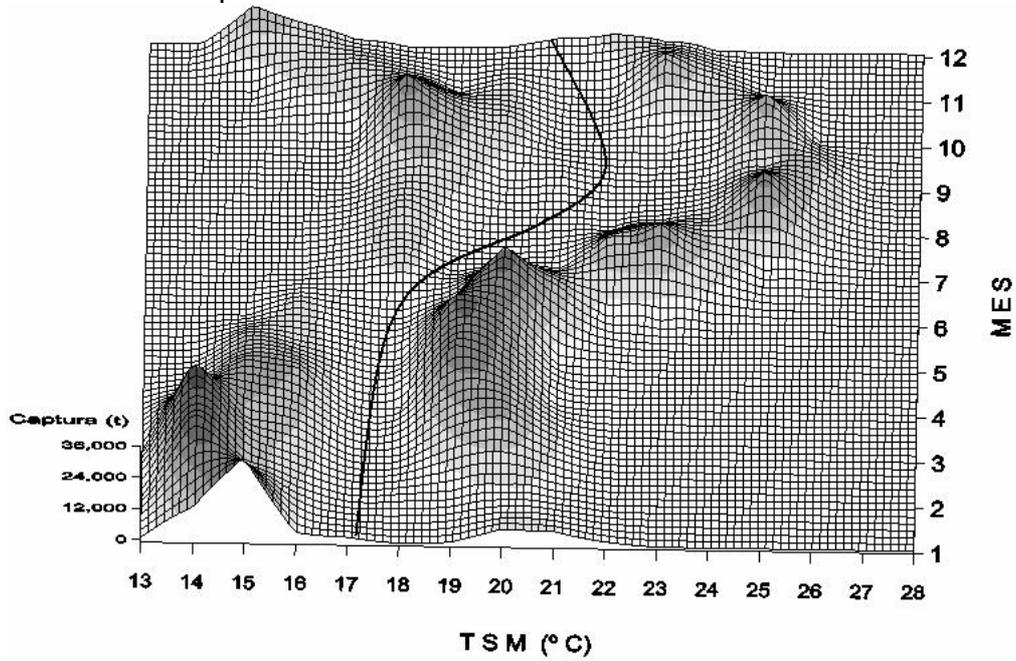
ANEXO 13.

Captura de sardina del Pacífico por grado de TSM en San Pedro, durante 1982 a 2002.



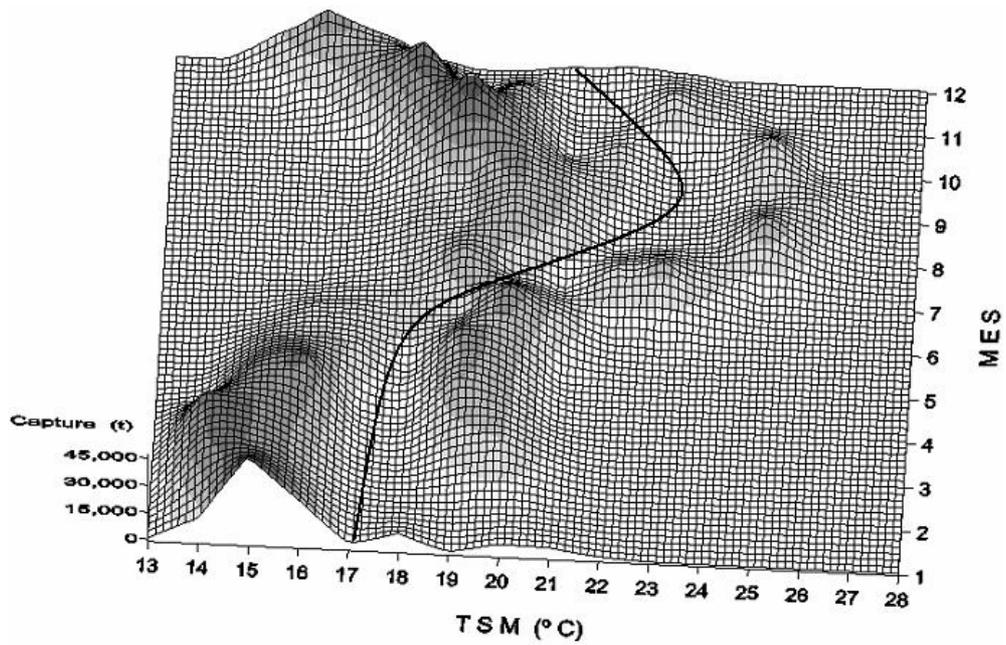
ANEXO 14.

Captura mensual de sardina del Pacífico en Bahía Magdalena y San Pedro por grado de TSM en el periodo de 1981 a 2002.



ANEXO 15.

Captura mensual de sardina del Pacífico en las cuatro zonas de pesca por grado de TSM en el periodo de 1981 a 2002.



ANEXO 16.

Resultado de la prueba de Kolmogorov-Smirnov para demostrar la normalidad de las variables morfométricas de los otolitos de sardina, usando el software Statistica® (ver. 7).

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>D Max</b>	<b>p</b>
AR	1849	0.0177	p > .20
R	1849	0.0111	p > .20
RAR	1849	0.0203	p > .20
AN	1849	0.0204	p > .20

ANEXO 17.

Gráficas del ADM de las seis posibles comparaciones pareadas de las variables morfométricas de los otolitos de los stocks de sardina en Bahía Magdalena y Ensenada.

