

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

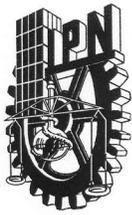


**VARIABILIDAD EN EL CRECIMIENTO
INDIVIDUAL DE LA SARDINA DEL PACÍFICO
Sardinops sagax (JENYNS, 1842) Y SU
RELACIÓN CON EL AMBIENTE EN BAHÍA
MAGDALENA, B.C.S.**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN
MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA
EDUARDO ALVAREZ TRASVIÑA

LA PAZ, B.C.S. AGOSTO 2012



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 18 del mes de Junio del 2012 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

"VARIABILIDAD EN EL CRECIMIENTO INDIVIDUAL DE LA SARDINA DEL PACÍFICO
***Sardinops sagax* (JENYNS, 1842) Y SU RELACIÓN CON EL AMBIENTE EN BAHÍA MAGDALENA, B.C.S."**

Presentada por el alumno:

ÁLVAREZ
Apellido paterno

TRASVIÑA
materno

EDUARDO
nombre(s)

Con registro:

B	1	0	1	3	9	0
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

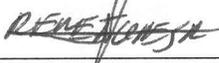
Directores de Tesis



DR. ROBERTO FÉLIX URAGA
Director de Tesis



DR. CASIMIRO QUINONEZ VELÁZQUEZ
2º. Director de Tesis



DR. RENÉ FUNES RODRÍGUEZ



MC. FELIPE NERI MELO BARRERA



DR. HÉCTOR VILLALOBOS ORTIZ

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES



DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ



**IPN
CICIMAR
DIRECCION**



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 22 del mes Junio del año 2012
el (la) que suscribe BM. EDUARDO ÁLVAREZ TRASVIÑA alumno(a) del
Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS
con número de registro B101390 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:
DR. ROBERTO FÉLIX URAGA y DR. CASIMIRO QUIÑONEZ VELÁZQUEZ
y cede los derechos del trabajo titulado:

"VARIABILIDAD EN EL CRECIMIENTO INDIVIDUAL DE LA SARDINA DEL PACÍFICO

Sardinops sagax (JENYNS, 1842) Y SU RELACIÓN CON EL AMBIENTE EN BAHÍA MAGDALENA, B.C.S."

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: eat1802@hotmail.com - rfelix@ipn.mx - cquinone@ipn.mx

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

Eduardo Alvarez
BM. EDUARDO ÁLVAREZ TRASVIÑA

nombre y firma

DEDICATORIA

A mis padres (Florencio y Esperanza) por contar con su apoyo incondicional siempre que empiezo un nuevo proyecto y por todo el amor que siempre me han brindado.

A mis hermanos por creer y confiar en mí siempre.

AGRADECIMIENTOS

Al centro interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN) por darme la oportunidad de desarrollar mis estudios de posgrado (Maestría), en especial al laboratorio de Dinámica de Poblaciones, así como a las becas CONACYT y PIFI por el apoyo económico otorgado.

A mis directores de tesis el Dr. Roberto Félix Uruga y Al Dr. Casimiro Quiñonez Velázquez por darme la oportunidad de desarrollar este trabajo, así como por las asesorías y por todos los comentarios realizados, pero sobre todo por brindarme su amistad.

Al MC. Felipe Neri Melo Barrera gracias por formar parte de mi comité revisor y por sus aportaciones a mi trabajo de tesis y por su amistad.

Al resto de mi comité revisor el Dr. Héctor Villalobos Ortiz y al Dr. René Funes Rodríguez por sus comentarios tan acertados que ayudaron a mejorar este trabajo.

Al C. Humberto Ceseña Amador, por su atención y amabilidad mostrada día a día.

A Dana Isela Arizmendi gracias por brindarme tu amistad y por compartir con migo los primeros dos semestres del programa, pero sobre todo por tus opiniones y comentarios muy acertados.

A Gabriela García Alberto por su amistad y por sopórtame todo un año muchas gracias.

A Roció Vega de la Vega (chío) por el apoyo recibido, por ser mi amiga todo este tiempo y compartir momentos buenos y malos. En verdad muchas gracias y espero que esta amistad perdure en el tiempo.

Al cardumen, sin orden específico (Jatziry, Lavinia, Joao, Andrés, Mónica, Fabián, Roció, Marcela, Iván[†]) gracias por enseñarme día a día algo nuevo y por brindarme su amistad, compartir momentos buenos y malos. Sin ustedes la maestría no hubiera sido igual. Me quedo con lo mejor de cada uno y espero que podamos seguir apoyándonos.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABLAS.....	III
GLOSARIO.....	IV
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	4
3. JUSTIFICACIÓN	8
4. ÁREA DE ESTUDIO.....	9
5. OBJETIVO GENERAL.....	11
Objetivos Particulares	11
6. MATERIALES Y MÉTODOS	12
6.1 Muestreo	12
6.2 Factores ambientales	12
6.3 Estructuras de tallas y edades	13
6.4 Variación interanual de la talla del grupo de edad-1(LE1) de la sardina del Pacífico, considerando la población no estructurada y estructurada por stocks, con relación a la TSM, NM y PDO	14
6.5 Crecimiento individual anual de la sardina del Pacífico.....	15
6.6 Comparación del crecimiento individual	15
6.7 Relación del crecimiento individual con la TSM, PDO y NM	16
7. RESULTADOS	17
7.1 Muestreo	17
7.2 Estructura de tallas.....	18
7.3 Estructura de edades	18
7.4 Variación anual de la talla del grupo de edad-1 (LE1) de la sardina del Pacífico, considerando la población no estructurada y estructurada por stocks, con relación a la TSM, NM y PDO.....	19
7.5 Crecimiento individual anual de la sardina del Pacífico considerando la población no estructurada y estructurada por stocks	23

7.6 Comparación de las curvas de crecimiento de la sardina del Pacífico.....	25
7.7 Relación del crecimiento individual de la sardina del Pacífico con la TSM, PDO y NM.....	26
8. DISCUSIÓN	30
8.1 Muestreo	30
8.2 Estructura de tallas y edades	30
8.3 Variación de la talla promedio anual del grupo edad-1 y su relación con la TSM, NM y PDO.....	32
8.4 Crecimiento individual	33
9. CONCLUSIONES.....	38
10. BIBLIOGRAFÍA	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de la sardina del Pacífico <i>Sardinops sagax</i> en el Océano Pacífico Nororiental, a diferentes niveles de abundancia (alta = azul claro; baja = amarillo).....	2
Figura 2. Área de estudio. Complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas en la costa occidental de Baja California Sur.....	10
Figura 3. Estructura de tallas por sexo de la captura de sardina del Pacífico en Bahía Magdalena de 1982 al 2009.....	18
Figura 4. Estructura de edad por sexo de la captura de sardina del Pacífico en Bahía Magdalena, durante 1982 al 2009.....	19
Figura 5. Cambios interanuales de la longitud estándar de la talla del grupo edad-1 (LE1) de la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena, durante 1982 a 2009.....	20
Figura 6. Cambios anuales de la LE1 observada (línea punteada) y estimada (línea solida) del stock templado de la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena, durante 1982 a 2009.	21
Figura 7. Cambios anuales de la LE1 observada (línea punteada) y estimada (línea solida) del stock cálido de la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena, durante 1982 a 2009.	23
Figura 8. Variación de phi-prima observada (línea punteada) y phi-prima estimada (línea solida) a través del modelo de regresión múltiple para el stock templado en Bahía Magdalena, durante 1982 a 2009.	29
Figura 9. Variación de phi-prima observada (línea punteada) y phi-prima estimada (línea solida) a través del modelo de regresión múltiple para el stock cálido Bahía Magdalena, durante 1982 a 2009.....	29
Figura 10. Variación espacio-temporal de phi-prima (ϕ) para la sardina del Pacífico.	35

Figura 11. Curvas de crecimiento individual por stock durante el periodo de 1982 a 2009 para Bahía Magdalena. Stock cálido (línea solida) y el templado (línea punteada)..... 35

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Número de organismos muestreados en Bahía Magdalena, BCS, en el periodo de 1982 al 2009.....	17
Tabla 2. Estadísticos descriptivos de la regresión múltiple entre la talla promedio anual del grupo de edad-1 sin considerar stocks y la TSM, NM y PDO para el periodo de 1982-2009.	20
Tabla 3. Estadísticos descriptivos de la regresión múltiple entre el valor en la talla promedio anual del grupo de edad-1 del stock templado y la TSM, NM y PDO en Bahía Magdalena durante 1982-2009.	21
Tabla 4. Estadísticos descriptivos de la regresión múltiple entre el valor en la talla promedio anual del grupo de edad-1 del stock cálido y TSM, NM y PDO en Bahía Magdalena durante 1982-2009.	22
Tabla 5. Parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy ajustados a los datos anuales de talla a la edad sin considerar stocks para la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena durante 1982-2009.....	24
Tabla 6. Parámetros del modelo de crecimiento de von-Bertalanffy ajustados a los datos de talla a la edad por stock para la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena durante 1982 a 2009.	25
Tabla 7. Valores de phi-prima por stock de sardina del Pacífico durante 1892-2009.	27
Tabla 8. Estadísticos descriptivos de la regresión múltiple entre phi-prima y la TSM, NM y PDO por stock para la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena durante 1982-2009.	28

GLOSARIO

Captura: Peso o número de organismos removidos de una población o stock como resultado de la operación de pesca.

Crecimiento individual: Es un cambio de tamaño en el tiempo. Se puede medir este cambio utilizando como variables a la longitud o al peso

Grupo de Edad: Es un grupo de peces que provienen de la misma temporada de desove.

Muestra: Parte de la población o subconjunto de unidades obtenida con el fin de investigar las propiedades de la población o conjunto de procedencia (Lloris 2007).

Marca de crecimiento: Es el conjunto de una banda opaca y una hialina (Melo-Barrera *et al.* 2010).

Nivel de Mar: El nivel de las aguas tranquilas del mar promediado durante un periodo determinado de tiempo (meses, años) de tal forma que los efectos provocados periódicamente por mareas y otras causas frecuentes como las olas queden compensadas .

Otolitos: Son estructuras calcáreas que se encuentran en el oído interno de los peces que actúan como reguladores del equilibrio. Están compuestas mayoritariamente por aragonita y una proteína llamada otolina. Los peces cuentan con tres pares de otolitos: lapillus, asteriscus y sagita. (Degens *et al.* 1969; Morales-Nin 1991).

Población: Grupo de organismos de la misma especie que habitan en un área geográfica determinada y que tienen la capacidad de reproducirse con cualquier otro miembro de dicho grupo (Ramírez-Pérez *et al.* 2010)

PDO: Es un índice de la variabilidad climática del Océano Pacífico desde los 20°N hacia el norte con rango de escala interdecadal, sus cambios de fase entre cálido y frío se presentan entre 20 a 30 años. Refleja principalmente los cambios en la temperatura superficial del mar aunque también se infieren cambios en los vientos superficiales, en la presión atmosférica y en la presión del nivel del mar (Mantua & Hare 2002).

Regresión: Método estadístico que permite conocer la naturaleza de la relación entre dos o más variables (Zar 1996).

Reclutamiento: Desde el punto de vista pesquero, es la cantidad de individuos de una especie que cada año se agrega a la población explotada. (Lloris 2007).

Stock: En términos pesqueros es un grupo de individuos con tasas homogéneas de crecimiento, mortalidad y reproducción los cuales habitan un área geográfica particular (Cadrin *et al.* 2005).

RESUMEN

Del grupo de peces pelágicos menores capturados en la costa noroccidental de México; la sardina del Pacífico *Sardinops sagax*, es la especie de mayor importancia tanto en número como en volumen. Uno de los factores ambientales que más influye en el desarrollo de los peces, es la temperatura superficial del mar (TSM), su efecto se refleja en el crecimiento como respuesta a los cambios en el metabolismo. El objetivo del presente estudio fue evaluar la variación en el crecimiento individual de la sardina del Pacífico en respuesta a los cambios en la TSM, el Nivel del Mar (NM) y la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO). Se analizaron 15,704 sardinias muestreadas de la captura comercial en Bahía Magdalena, durante 1982 a 2009. La longitud estándar (LE) de las sardinias varió de 105 a 225 mm y se identificaron nueve grupos de edad, con base al número de marcas de crecimiento en los otolitos, el grupo de edad 1 fue el más abundante. No se detectaron diferencias significativas en la estructura de tallas y edades entre sexos ($P > 0.05$). Durante el primer año de vida la sardina alcanza en promedio el 70% de la talla máxima observada. Al analizar los cambios interanuales de talla promedio a un año de edad (LE1), sin considerar una estructura por stocks, no se detectó un efecto significativo de ninguna de las variables ambientales. Sin embargo, al considerar una estructura por stocks (cálido y templado), se detectó una relación significativa ($P < 0.05$) entre los cambios interanuales de la LE1 y el nivel del mar en ambos stocks. Además, el stock templado se relacionó significativamente con el PDO ($P < 0.05$). Para evaluar el efecto del ambiente en el crecimiento individual se estimó el índice phi-prima (ϕ'), al analizar los cambios en el crecimiento sin considerar una estructura por stocks, no se detectó relación significativa entre phi-prima y las variables ambientales. Sin embargo, al considerar una estructura por stock se identificó que la TSM afecta significativamente ($P < 0.05$) el crecimiento de la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena. Los resultados del presente estudio apoyan la hipótesis de la presencia estacional de dos stocks de sardina del Pacífico en Bahía Magdalena.

ABSTRACT

From the small pelagic fish captured off the north-western coast of Mexico, the Pacific sardine *Sardinops sagax* is the most important species by number as well as by volume. One of the environmental factors with the most influence on fish development is sea surface temperature (SST). Its effect is reflected on growth as a response to metabolic changes. The objective of the present study was to evaluate variation in individual growth of the Pacific sardine as a response to SST, sea level and the Pacific Decadal Oscillation (PDO). A total of 15,704 sardines were sampled from the commercial catch in Bahía Magdalena, from 1982 to 2009. The standard length (SL) of sardines ranged from 105 to 225 mm. Nine age groups were identified, based on the number of otolith growth marks, and the age 1 group was the most abundant. No significant differences were found in the size and age structures between sexes ($P > 0.05$). During the first year of life the sardine reached on average 70% of the maximum observed size. The analysis of interannual changes in average size at one year of age (SL1), without considering a structure by stock, did not show a significant effect of neither of the environmental variables. However, when considering a structure by stock (warm and temperate), a significant relationship was detected ($P < 0.05$) between interannual changes of SL1 and sea level for both stocks. Additionally, the temperate stock was significantly related to the PDO ($P < 0.05$). To evaluate the effect of the environment on individual growth the phi-prima index (ϕ') was estimated. When analyzing the growth changes without taking into account a structure by stock, no significant relationship was found among phi-prima and the environmental variables. However, when considering a structure by stock, the SST was found to affect significantly ($P < 0.05$) the growth of Pacific sardine in Bahía Magdalena. The results of the present study support the hypothesis of a seasonal presence of two Pacific sardine stocks in Bahía Magdalena.

1. INTRODUCCIÓN

En el grupo de peces pelágicos menores se incluyen a las sardinas, arenques y anchovetas, la sardina del Pacífico *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) es una de las especies más abundantes y su pesquería es importante desde el punto de vista económico y alimenticio. Este clupeídeo es de los más capturados en aguas mexicanas y en el mundo (Lluch-Belda *et al.* 1992).

Algunas de sus características más significativas son: su extensa distribución anti-tropical, es decir que se distribuye en las zonas templadas de los océanos; su asociación a los sistemas de corrientes de mayor productividad como la Corriente de California, Humboldt y Kuroshio-Oyashio (Moser *et al.* 1993; Félix-Uraga 2006); y las grandes fluctuaciones de abundancia las cuales están asociadas con cambios de gran escala de la temperatura superficial del mar (TSM) (Chávez *et al.* 2003).

Su área de distribución y abundancia en el Océano Pacífico Nororiental se ve afectada por los cambios de régimen de las temperaturas oceánicas; durante un régimen cálido su abundancia se incrementa y se distribuye desde el sureste de Alaska (57°N) hasta el sur de la península de Baja California, incluyendo el Golfo de California (23°N), dominando por completo la zona nerítica (Fig. 1). Durante un régimen frío la abundancia de la población disminuye, su distribución se restringe desde el sur de California al Golfo de California, durante este periodo se da un incremento en la abundancia de la población de anchoveta (*Engraulis mordax*) (Lluch-Belda *et al.* 1992; Emmett *et al.* 2005).

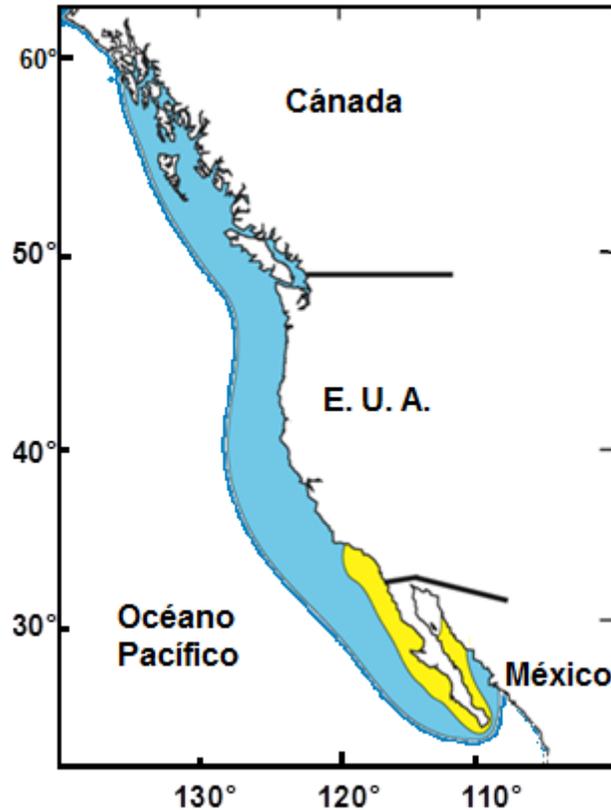


Figura 1. Distribución de la sardina del Pacífico *Sardinops sagax* en el Océano Pacífico Nororiental, a diferentes niveles de abundancia (alta = azul; baja = amarillo).

Debido al amplio rango de su distribución geográfica se han propuesto la existencia de varios stocks, aunque no exista evidencia genética que separe ha estos grupos (Hedgecock *et al.* 1989; García-Rodríguez *et al.* 2011). En la Costa Occidental de la Península de Baja California, con datos de captura, TSM y forma de los otolitos, se han identificado tres stocks de sardina del Pacífico (frío, templado y cálido), y se ha sugerido que la pesquería en Bahía Magdalena captura estacionalmente dos de estos stocks, el templado y el cálido (Félix-Uraga *et al.* 2004; 2005).

En México, las principales áreas de capturas se encuentran localizadas en el Golfo de California y en la Costa Occidental de la Península de Baja California, principalmente en el área de Bahía Magdalena B.C.S., donde desde el 2000 se han registrado capturas por arriba de las 50,000 t anuales. Los primeros trabajos en esta área se enfocaron en aspectos de la dinámica poblacional, como la determinación de

edad, el crecimiento individual y análisis de la estructura poblacional (Félix-Uraga 1986; 1990; 2006).

La sardina del Pacífico presenta un gradiente latitudinal en el crecimiento individual, alcanzando en la parte norte tallas más grandes que en la parte sur de su distribución. Sin embargo, su tasa de crecimiento tiende a aumentar de norte a sur. El crecimiento es una de las variables que determinan la productividad de las poblaciones, al guardar relación directa con otros parámetros biológicos como la mortalidad natural, la fecundidad y la calidad de los huevos (Takahashi & Checkley 2008; Plaistow *et al.* 2004). La mayoría de los trabajos han relacionado estas variaciones con la abundancia de la población (Gudiño-González 2001; Quiñonez-Velázquez *et al.* 2002). Para el área de Bahía Magdalena trabajos previos han relacionado el crecimiento individual y la abundancia de la población con la TSM, no encontrando una relación significativa entre estas variables (González-Ochoa *et al.* 2004). Sin embargo, en esos análisis no se ha considerado la estructura por stocks de la población de sardina, los cuales presentan diferencias significativas en las tasas de crecimiento (Félix-Uraga 2006).

La importancia ecológica y las fluctuaciones en la abundancia de la población de la sardina del Pacífico, han motivado el monitoreo constante de su pesquería. El propósito de este trabajo es analizar la variación del crecimiento individual de la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena con relación a la TSM, Nivel del Mar y PDO, considerando una estructura por stocks de la población. Se plantea, que las unidades poblacionales responden de manera independiente a los cambios en el ecosistema.

2. ANTECEDENTES

La pesquería de la sardina del Pacífico inició a principios de 1900 en las costas de Monterey, California, alcanzando un máximo de 700,000 t durante la temporada 1936-1937, para entonces la pesquería se extendía desde Canadá hasta Ensenada, B.C., México. Las capturas empezaron a disminuir a finales de la década de los cuarenta y fueron insignificantes en la temporada 1952-1953. Hubo un ligero repunte en las capturas durante 1958-1959 con 115,000 t, posteriormente el rendimiento de la pesquería declinó drásticamente obligando a establecer una moratoria a partir de 1974 (Smith 1990; Wolf 1992). Con base en una estimación de biomasa de sardina realizada en 1985, se determinó que esta población había superado el umbral de biomasa desovante de 20,000 t establecido como mínimo en la moratoria, permitiendo así una cuota de captura de 1,000 t en 1986, desde entonces la pesquería en California se ha incrementado hasta alcanzar 80,000 t en el 2007, sin embargo en años recientes las capturas han disminuido hasta 31,000 t en 2010 (Hill *et al.* 2010).

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 los cincuenta, incluyó también a esta región, determinando el desplazamiento de la pesquería hacia nuevas áreas, como Isla Cedros en 1962 y posteriormente hasta Bahía Magdalena en 1972 (Félix-Uraga 1986). Desde finales de la década de 1980 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 Bahía Magdalena, luego en Ensenada, después en las costas de California, Oregón, Washington y finalmente en Columbia Británica. En Bahía Magdalena se registró la mayor captura en 2006 alcanzando 57,000 t (Félix-Uraga 2006).

El colapso de la pesquería de sardina en la década de 1940 se atribuyó a la sobrepesca. Sin embargo se han encontrado evidencias, a través de las tasas de depositación de escamas de la sardina del Pacífico y la anchoveta norteña obtenidos de los sedimentos en la cuenca de Santa Barbará al Sur de California, que señalan

otras posibilidades. El análisis de los sedimentos incluye 2000 años, indicando que las poblaciones de sardina y anchoveta tienden a variar en abundancia de manera natural en promedio cada 60 años (Baumgartner *et al.* 1992). Estas fluctuaciones de abundancias de sardina en la corriente de California en periodos de 60 años, están relacionadas con cambios de régimen climático en el Pacífico Nororiental (Rodríguez-Sánchez *et al.* 2002).

Respecto a sus características biológicas, la sardina del Pacífico debido a su gran zona de distribución soporta un amplio intervalo de temperatura, mostrando una variación latitudinal en sus parámetros poblacionales. La temperatura de desove varía entre los 13° y 25°C, aunque presenta dos máximos uno a los 15°C y otro a los 23°C (Lluch-Belda *et al.* 1991). Las sardinas presentes en la región más norteña de la Corriente de California presentan tallas mayores en comparación con las sardinas de la misma edad de la región más sureña; en cambio las tasas de crecimiento tienden a aumentar de norte a sur (Fenin 1954). No obstante, otros estudios han revelado que además de la temperatura, las surgencias juegan un papel importante en la disponibilidad de alimento, en los periodos de reproducción y posiblemente en la longitud de la sardina; factores determinantes en la distribución de la especie (Lluch-Belda *et al.* 1991; Butler *et al.* 1993).

Debido al amplio rango geográfico de distribución de la población de sardina del Pacífico, uno de los principales objetivos ha sido conocer la estructura de la población y los límites geográficos de las unidades poblacionales o stocks. Una de las hipótesis más aceptadas es la propuesta por Félix-Uraga *et al.* (2004), quienes proponen la existencia de tres stocks de sardina del Pacífico a lo largo de la costa occidental de la península de Baja California y California, con base en los cambios espacio-temporales de la captura agrupada por TSM. Uno de los stocks, denominado cálido se presentaría a temperaturas >22°C y se distribuiría principalmente en la región sur de la península de Baja California; otro grupo denominado templado se localizaría en la región central de la península de Baja California a temperaturas entre 17°C y 22°C. Por último, el stock frío se localizaría en la parte norte de la península y el sur de California, EUA, a temperaturas <17°C. De acuerdo a lo anterior, proponen que en Bahía Magdalena se capturan dos de los stocks, el

templado y cálido, los cuales tienen diferente estacionalidad. El stock templado se presenta durante invierno-primavera y el stock cálido durante verano-otoño. Funes-Rodríguez *et al.* (2012) analizando los patrones de abundancia de huevos y larvas de sardina de Pacífico en Bahía Magdalena durante 2005-2009 encontraron un predominio de estos en los intervalos de temperatura entre 16° Y 18°C a baja salinidad y dicen que observando datos históricos y recientes de las amplias fluctuaciones interanuales en la actividad reproductora sugieren la reproducción de dos poblaciones en el área de Bahía Magdalena.

La tasa de crecimiento individual se relaciona con procesos biológicos como la maduración sexual, el riesgo a la depredación, la longevidad y es fundamental para la cuantificación de la productividad del stock (Sparre & Venema 1997). Las tasas de supervivencia y reclutamiento al stock adulto son consideradas una función positiva de las tasas de crecimiento durante las primeras etapas de vida de los peces marinos (Takahashi & Checkley 2008; Plaistow *et al.* 2004). Lo anterior ha sido señalado para la sardina del Pacífico por Iles (1973), quien analizó el crecimiento del grupo de edad cero en la región sur de la corriente de California, durante el periodo 1934 a 1955, detectando que los cambios en longitud durante esa etapa de vida se asociaron a cambios en el reclutamiento y señala que esta es una alternativa más expedita en el estudio del reclutamiento que analizar los datos de captura y esfuerzo.

De Anda-Montañez *et al.* (1999) realizaron estimaciones de los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy para esta especie en el Golfo de California, a través del método de frecuencia de tallas. Compararon sus resultados con los encontrados en la literatura para las costas Canadá, Estados Unidos y costa occidental de Baja California, observando una gran variación latitudinal en los valores de los parámetros de crecimiento. Los valores más pequeños de L_{∞} y k fueron para sardinillas del Golfo de California lo cual interpretaron como una consecuencia de los cambios en el medio ambiente. La mayoría de los trabajos que evalúan las variaciones en el crecimiento de la sardina han relacionado estos cambios con la abundancia de la población. Gudiño-González (2001) analizó la variabilidad del crecimiento de la sardina del Pacífico en Isla Cedros, durante 1985-86. Detectó que los cambios en la talla al primer año de vida eran consecuencia de la abundancia de

la población. Esto coincidió con los resultados de Quiñonez-Velázquez *et al.* (2002) quienes analizaron el efecto de la abundancia de la población en el crecimiento individual durante la etapa pre recluta de la sardina del Pacífico en Isla Cedros. Detectaron que durante el primer año de vida la sardina presentó una mortalidad dependiente de la longitud y un crecimiento individual dependiente de la abundancia de la población. Además, mencionan que una explicación alternativa al patrón de crecimiento observado en la sardina en la zona de Isla Cedros, podría encontrarse en el régimen de la TSM, el cual está relacionado con la presencia del ENSO.

González-Ochoa *et al.* (2004) analizaron la relación entre la TSM, el crecimiento individual y la abundancia de la clase anual de la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena, durante 1981 al 1996. Encontraron una relación inversa entre el tamaño de la clase anual y la tasa de crecimiento. Pero, no detectaron una relación entre la TSM y el crecimiento individual. Ese resultado podría ser consecuencia de no haber considerado la estructura de stocks de la población de sardina. Estos autores señalan que comparando la longitud a una misma edad, de peces nacidos en diferentes áreas o épocas, es posible identificar diferencias en el patrón ontogénico de crecimiento.

3. JUSTIFICACIÓN

La variabilidad ambiental es una característica presente en los sistemas biológicos. Comúnmente, se analiza la expresión fenotípica en respuesta a la presión de los cambios ambientales. Las variaciones en las tasas de crecimiento, tasas de mortalidad y épocas reproductivas en las diferentes etapas del desarrollo de los organismos juegan un papel importante en la comprensión de cómo los cambios en el ambiente se reflejan en la biología de las especies generando cambios en la dinámica poblacional (Plaistow *et al.* 2004).

La sardina del Pacífico, así como otros peces pelágicos menores, ha presentado cambios en la dinámica poblacional que se traducen en importantes fluctuaciones en biomasa (Chavez *et al.* 2003). Esos cambios se han atribuido en gran parte a las variaciones en las condiciones oceanográficas y a la presión de la pesca. Por lo tanto, a través del análisis de los cambios en los parámetros de crecimiento es posible evaluar el efecto del ambiente en la población de sardina.

4. ÁREA DE ESTUDIO

El complejo lagunar de Bahía Magdalena se encuentra en la costa occidental del estado de Baja California Sur entre los 24°15' y 25°20' N y los 111°30' y 112°12' O (Fig. 2). Está constituido por dos cuerpos de agua, Bahía Magdalena y Bahía Almejas, además de un sistema de canales y esteros. La zona de Bahía Magdalena presenta una superficie de 882.74 km² comprende desde Punta Edie al norte hasta el canal de La Gaviota al sur. Está comunicada con el Océano Pacífico mediante un canal navegable denominado Boca de Entrada. La zona de Bahía Almejas (con 369.97 km²) está situada al sureste del complejo, desde el canal de La Gaviota hasta Puerto Chale, tiene comunicación constante con el océano a través de una boca somera que no permite la navegación de barcos de gran calado (Álvarez-Borrego *et al.* 1975).

El área oceánica adyacente al sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas es una zona típica de surgencias, donde los nutrientes son introducidos al sistema por medio de una combinación del transporte vertical y el transporte horizontal producido por intensas corrientes de marea (Zaitsev *et al.* 2003). Esta zona es considerada una zona de transición ya que en ella convergen por el norte masas de aguas frías provenientes de la Corriente de California (CC) y por el sur masas de agua cálida de la contracorriente costera. Lo cual le permite presentar un pronunciado contraste en el promedio de la TSM entre el mes frío (18°C) y el cálido (29°C) del año, siendo en general, comparativamente más cálido al interior del complejo lagunar que la porción costera adyacente (Etnoyer *et al.* 2004). El complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas es caracterizado por una amplia variabilidad espacio-temporal de sus características oceanográficas, en comparación a regiones de mayor o menor latitud. En él confluyen flora y fauna marina residente, adaptada a los cambios del ambiente, y la presencia temporal de especies migratorias y especies planctónicas. Estas últimas, asociadas con el transporte de masas de agua (Funes-Rodríguez *et al.* 2007).

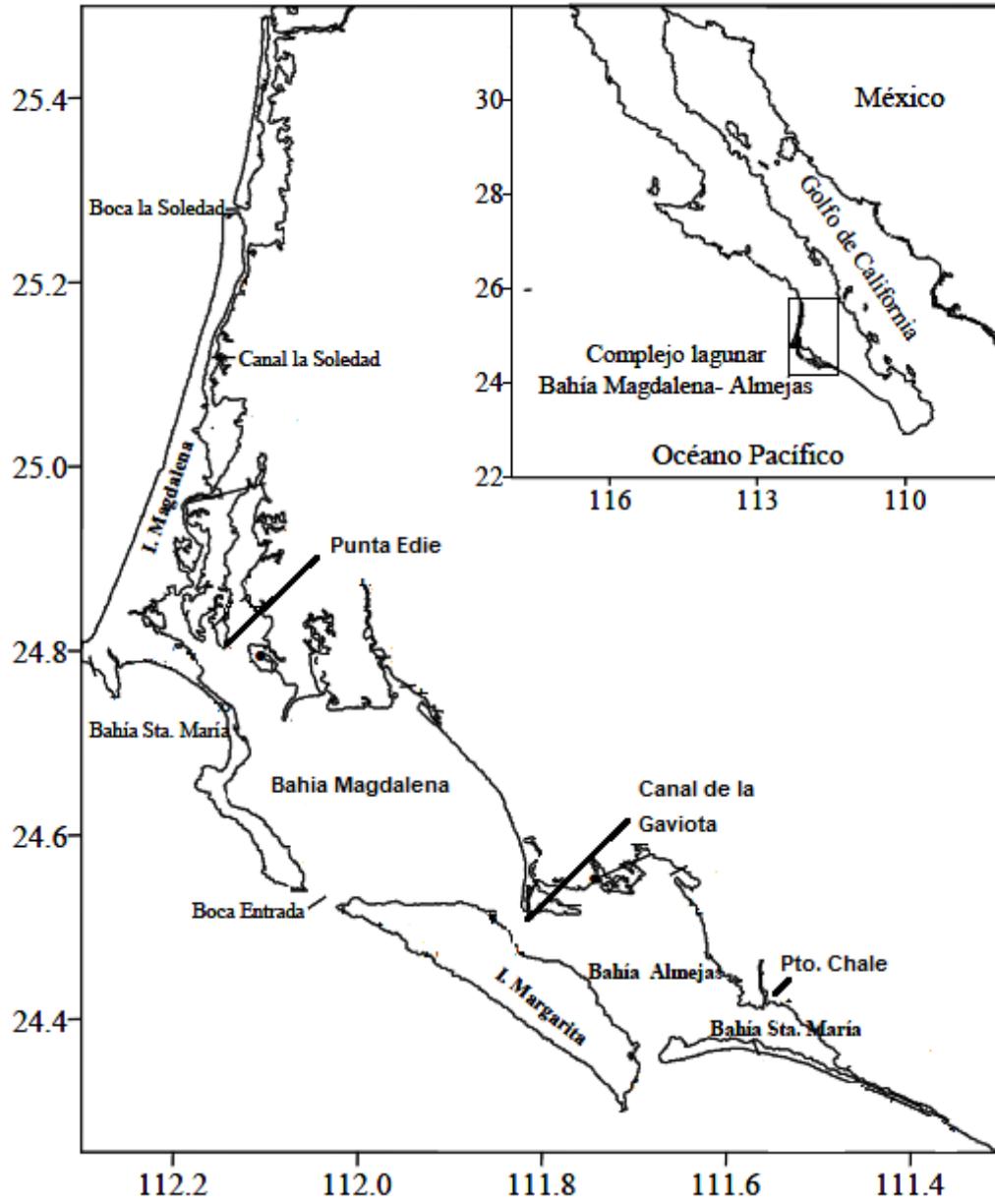


Figura 2. Área de estudio. Complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas en la costa occidental de Baja California Sur.

5. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la variación del crecimiento individual de la sardina del Pacífico *Sardinops sagax* en relación con la temperatura superficial del mar (TSM), el nivel del mar (NM) y la oscilación decadal del Pacífico (PDO) en Bahía Magdalena durante 1982 al 2009.

Objetivos Particulares

- Determinar la estructura de tallas y edades de la sardina del Pacífico de 1982 a 2009
- Evaluar el efecto de la TSM, NM y PDO en la variación en talla del grupo de edad-1 de la sardina del Pacífico, considerando la población no estructurada y estructurada por stocks
- Estimar por año los parámetros de crecimiento de la sardina del Pacífico utilizando el modelo de von Bertalanffy
- Evaluar los cambios interanuales de la TSM, NM y PDO en el crecimiento individual de la sardina del Pacífico, considerando la población no estructurada y estructurada por stocks

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Muestreo

Los datos para este trabajo provienen de muestreos mensuales, realizados por personal del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN), en las capturas comerciales de sardina del Pacífico en Bahía Magdalena y descargadas en los Puertos de San Carlos y Adolfo López Mateos, B.C.S., de 1982 a 2009.

En cada muestreo, se recolectaron al azar aproximadamente 100 individuos de la banda de desembarque o directamente de la bodega de la embarcación (muestreo masivo), a los cuales se les midió la longitud estándar (LE) y se registró su frecuencia de aparición en intervalos de 5 mm. De cada intervalo se eligieron al azar hasta cinco peces para formar la muestra biológica, a los cuales se les midió la LE (± 1 mm), el peso total (PT ± 1 g), se les recolectó el par de otolitos sagita para determinar la edad y se determinó el sexo mediante el análisis visual de las gónadas con base en la escala propuesta por Holden y Raitt (1975).

6.2 Factores ambientales

Temperatura superficial del mar (TSM)

Los datos de TSM fueron obtenidos del sitio de internet de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration. <http://www.noaa.gov/>). La TSM frente a Bahía Magdalena y frente a Bahía de La Paz son valores promedio por mes referidos a cuadrantes de 1° de latitud por 1° de longitud, durante el periodo de estudio. La TSM en Bahía Magdalena se utiliza al analizar los datos sin considerar una población de sardina estructura por stocks. Mientras, que los valores de TSM para cada zona son utilizados cuando se analizan los datos considerando una población de sardina estructurada por stocks, los valores de Bahía de Magdalena para el stock templado y los de Bahía de La Paz para el stock cálido. De acuerdo a Félix-Uraga *et al.* (2004; 2005) el stock cálido proviene del Golfo de California.

Nivel del Mar

Los datos del nivel del mar fueron obtenidos de la página de la Universidad de Hawaii (www.hawaii.edu) y corresponden a promedios mensuales frente a Cabo San Lucas, B.C.S., durante el periodo de estudio.

Oscilación Decadal del Pacífico (PDO)

El índice de la oscilación decadal del Pacífico (PDO) es una representación de la variabilidad de la TSM en el Océano Pacífico al norte de los 20° N. Durante la fase cálida del PDO el Pacífico Occidental se vuelve frío y el Pacífico Oriental se vuelve cálido. Lo opuesto ocurre durante la fase fría. Los datos del PDO fueron obtenidos del sitio de internet de Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean (www.jisao.washington.edu), los cuales corresponden a promedios mensuales durante el periodo de estudio.

6.3 Estructuras de tallas y edades

La edad se estimó mediante la lectura de las marcas de crecimiento sobre la cara distal del otolito, utilizando un microscopio estereoscópico (10x) con luz reflejada sobre un fondo oscuro, de esta manera los anillos opacos se observan blancos y los hialinos se ven oscuros. El conjunto de un anillo opaco y un hialino conforman una marca de crecimiento. En este trabajo la estimación de la edad se realizó contando el número de anillos hialinos (Melo-Barrera *et al.* 2010).

Las estructuras de tallas y edades de la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena durante el periodo de 1982 al 2009, se estimó en base a la información recabada de los muestreos biológicos tanto para hembras como para machos y las diferencias entre sexos se evaluaron a través de una prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov. El análisis estadístico para este estudio se realizó en el programa Statistica 7 (Statsoft 2007).

6.4 Variación interanual de la talla del grupo de edad-1(LE1) de la sardina del Pacífico, considerando la población no estructurada y estructurada por stocks, con relación a la TSM, NM y PDO

Los organismos considerados dentro del grupo de edad-1 son aquellos que presentaron en el otolito una marca de crecimiento completa (banda opaca + banda hialina). La talla promedio del grupo de edad-1 (LE1) fue seleccionada para el análisis, ya que la especie alcanza más del 70% de su longitud máxima durante el primer año de vida (Félix-Uraga 1990). Los datos de TSM, NM y PDO fueron desfasados un año, para representar las condiciones ambientales durante el primer año de vida de las sardinas.

El promedio de LE1 se estimó primero considerando la población no estructurada y posteriormente estructurada por stocks. Los stocks se definieron tomando como base los criterios mencionados en Félix-Uraga *et al.* (2004; 2005). En general se supone que la presencia de los stocks de sardina (templado y cálido) en Bahía Magdalena es semestral. Con el propósito de reducir el error en la estimación de la LE1 por stock, se utilizaron los datos de los tres meses de mínima temperatura en cada año para el stock templado y los tres meses de máxima temperatura para el stock cálido. Para esta relación se utilizaron los valores de TSM, NM y PDO correspondientes a los mismos meses pero del año anterior.

Se evaluó la relación interanual de la LE1 con las variables ambientales TSM, NM y PDO utilizando una regresión múltiple. El propósito de la regresión múltiple es mostrar la relación entre varias variables independientes (TSM, NM, y PDO) y una variable dependiente (LE1). En su forma más simple, la ecuación de regresión sería de la siguiente forma:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3$$

Donde b_0 es el valor del intercepto y $b_1...b_3$ son los valores de los coeficientes para las variables ambientales (X_1, X_2, X_3).

6.5 Crecimiento individual anual de la sardina del Pacífico

El crecimiento de la sardina del Pacífico se evaluó anualmente considerando la población no estructurada y estructurada por stocks, utilizando el mismo criterio que en la sección anterior, Los datos de talla-edad fueron ajustados al modelo de von Bertalanffy:

$$L_t = L_\infty [1 - e^{-k(t-t_0)}]$$

Donde:

L_t = Longitud a la edad t

t = Edad

L_∞ = Longitud máxima promedio

k = Coeficiente de crecimiento

t_0 = Edad hipotética a la cual la longitud es igual a cero

Para la estimación de los parámetros del modelo de von Bertalanffy se utilizó un método iterativo basado en el algoritmo de Levenberg-Marquardt contenido en el módulo no lineal del programa Statistica 7.0 (Statsoft 2007). Se construyeron un total de 28 curvas de crecimiento para la población no estructurada; y por stocks se realizaron 27 estimaciones para el templado, y 22 para el cálido.

6.6 Comparación del crecimiento individual

Para evaluar las diferencias en las curvas de crecimiento anual, considerando una población no estructurada y estructurada por stocks, se utilizó la prueba de Análisis de la Suma de Residuales al Cuadrado (ARSS) propuesta por Chen *et al.* (1992):

$$ARSS = \frac{\frac{RSS_p - RSS_s}{3(K-1)}}{\frac{RSS_s}{N-3K}}$$

Donde:

RSS_p = suma de cuadrados de ajuste común

RSS_s = suma de cuadrados del año 1 (o stock templado) mas la suma de cuadrados del año 2 (o stock cálido)

k = número de curvas en la comparación

N = número total de datos

Las comparaciones del crecimiento tienen por objeto evaluar el efecto de los cambios de la LE1 en las curvas de crecimiento.

6.7 Relación del crecimiento individual con la TSM, PDO y NM

La relación interanual del crecimiento individual, considerando una población no estructurada y estructurada por stocks, con la TSM, PDO y NM se analizó a través de un análisis de regresión múltiple. Como indicador del crecimiento se utilizó el índice phi-prima (ϕ') propuesto por Pauly y Munro (1984). El índice refleja la relación entre L_∞ y k del modelo de von Bertalanffy. Phi-prima se calculó con la siguiente ecuación:

$$\phi' = \log_{10} k + 2 * \log_{10} L_\infty$$

En el presente estudio, los valores de phi-prima por stock se compararon gráficamente con valores de este indicador de crecimiento registrados en la literatura para la sardina del Pacífico en otras zonas de pesca del Pacífico nororiental y Golfo de California.

7. RESULTADOS

7.1 Muestreo

Se registraron un total de 15,704 sardinas durante 1982 al 2009 en Bahía Magdalena, de los cuales 6,981 fueron machos y 8,723 hembras (Tabla 1). La proporción por sexo fue significativamente diferente de 1M: 1H ($X^2=345$, $P<0.05$). Sin embargo, al evaluar la proporción de sexos para cada año no se detectaron diferencias significativas en 11 de los 28 años de la serie de tiempo, la mayoría antes del año 2000.

Tabla 1. Número de organismos muestreados en Bahía Magdalena, BCS, en el periodo de 1982 al 2009

Año	Machos	Hembras	Total	M:H
1982	144	158	302	0.91
1983	80	76	156	1.05
1984	117	188	305	0.62*
1985	171	234	405	0.73*
1986	272	294	566	0.93
1987	85	74	159	1.15
1988	142	208	350	0.68*
1989	283	221	504	1.28*
1990	450	502	952	0.90
1991	571	608	1,179	0.94
1992	133	188	321	0.71*
1993	179	232	411	0.77*
1994	299	399	698	0.75*
1995	404	598	1,002	0.68*
1996	399	452	851	0.88
1997	308	249	557	1.24*
1998	134	135	269	0.99
1999	82	101	183	0.81
2000	400	449	849	0.89
2001	335	398	733	0.84*
2002	342	485	827	0.71*
2003	254	430	684	0.59*
2004	230	427	657	0.54*
2005	232	380	612	0.61*
2006	181	290	471	0.62*
2007	322	433	755	0.74*
2008	293	339	632	0.86
2009	139	175	314	0.79*
Total	6,981	8,723	15,704	0.80*

*Diferencia significativamente en 1M: 1H ($X^2 P<0.05$).

7.2 Estructura de tallas

La longitud estándar de la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena varió entre 105 y 225 mm. Las hembras presentaron en promedio de 166 mm (S=20 mm) y los machos de 166.3 mm LE (S=18.6 mm). No se detectaron diferencias significativas entre las estructuras de tallas de hembras y machos (KS; $P>0.05$) (Fig. 3).

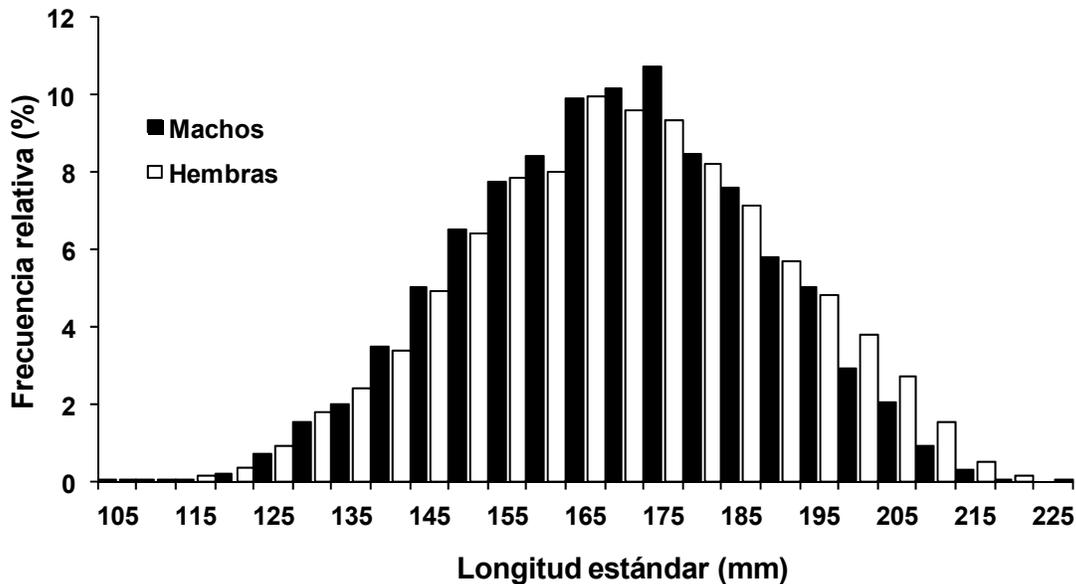


Figura 3. Estructura de tallas por sexo de la captura de sardina del Pacífico en Bahía Magdalena de 1982 al 2009.

7.3 Estructura de edades

A través del número de marcas de crecimiento en los otolitos, se detectaron hasta nueve grupos de edad (0 a 8) en las sardinias muestreadas de la captura en Bahía Magdalena, durante 1982 al 2009 (Fig. 4). Predominaron los individuos del grupo de edad-1 con el 43.4%, seguido en orden de importancia por los grupo de edad-2 con el 30.3%, el grupo de edad-0 con el 12.9%, el grupo de edad-3 con el 9.7% y el resto representó menos del 3% de la muestra. No se encontraron diferencias significativas entre las estructuras de edades de machos y hembras (KS; $P>0.05$).

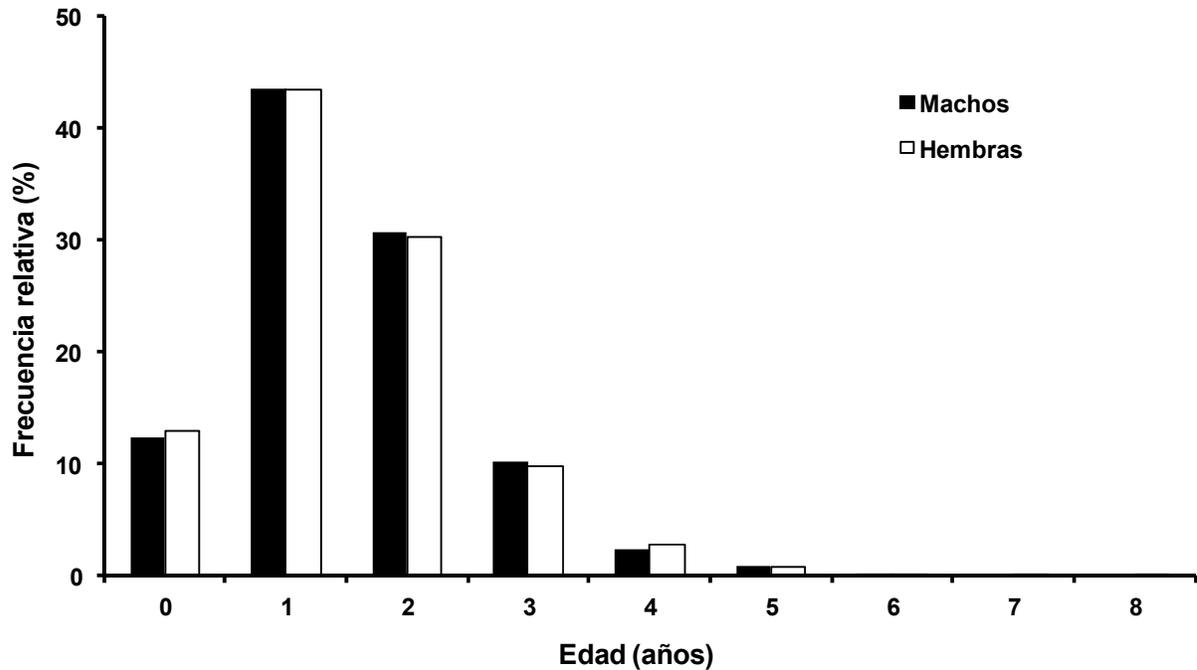


Figura 4. Estructura de edad por sexo de la captura de sardina del Pacífico en Bahía Magdalena, durante 1982 al 2009.

7.4 Variación anual de la talla del grupo de edad-1 (LE1) de la sardina del Pacífico, considerando la población no estructurada y estructurada por stocks, con relación a la TSM, NM y PDO

El valor promedio de LE1 de la sardina del Pacífico, considerando la población no estructurada por stocks, varió desde 148 a 182 mm LE (Fig. 5). Los extremos del intervalo de LE1 se presentaron en 1993 y en 1999, años caracterizados como El Niño y La Niña, respectivamente. A partir de 1999, la talla promedio LE1 de la sardina muestra una tendencia a disminuir.

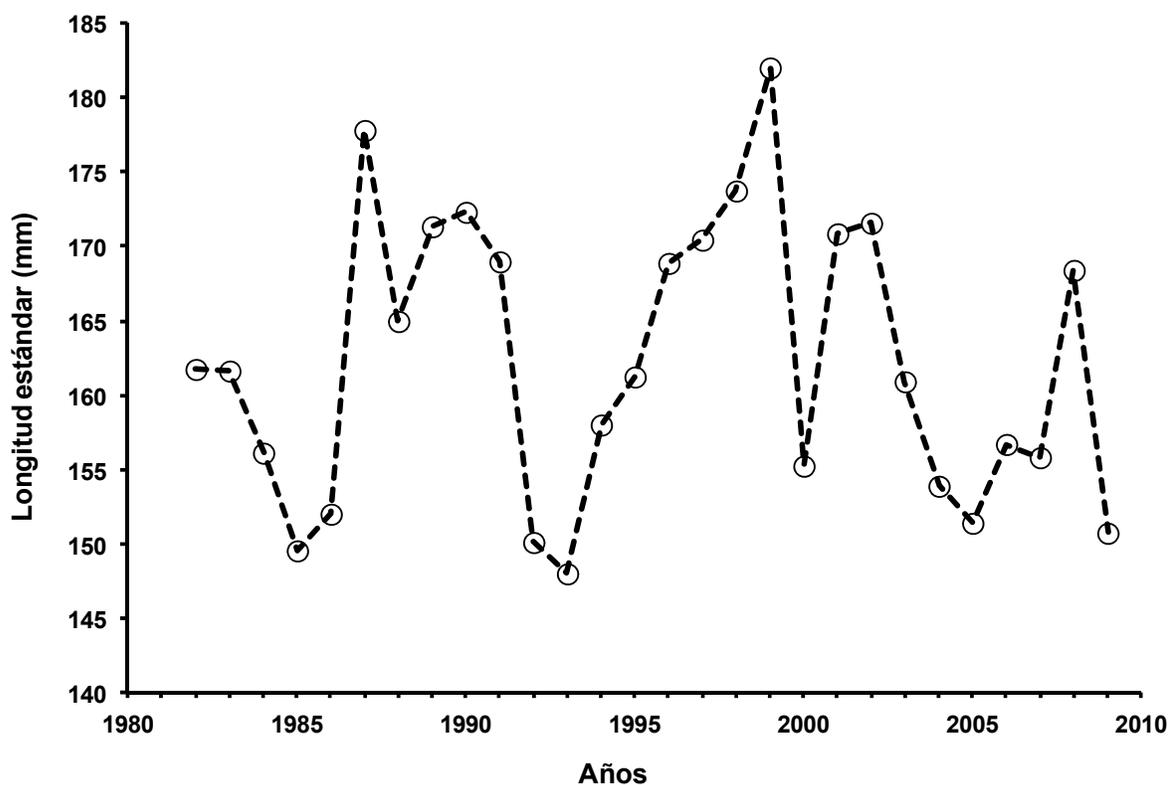


Figura 5. Cambios interanuales de la longitud estándar de la talla del grupo edad-1(LE1) de la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena, durante 1982 a 2009.

El análisis de regresión múltiple no detectó relación alguna entre los cambios interanuales de la LE1 con las variables ambientales (TSM, NM y PDO) durante el periodo de estudio (Tabla 2).

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de la regresión múltiple entre la talla promedio anual del grupo de edad-1 sin considerar stocks y la TSM, NM y PDO para el periodo de 1982-2009.

	Beta	Error σ de Beta	B	Error σ de B	t(23)	P
INTERCEPTO			191.48	58.71	3.26	0.003
TSM	0.40	0.29	5.21	3.75	1.38	0.177
NM	-0.30	0.19	-0.04	0.02	-1.60	0.120
PDO	-0.06	0.21	-0.72	2.56	-0.28	0.778

F (3,25)=2.58 P<0.12

Considerando la separación por stocks, el análisis para el stock templado indicó que el NM y el PDO tienen un efecto significativo en los cambios anuales de la LE1 (Tabla 3).

Tabla 3. Estadísticos descriptivos de la regresión múltiple entre el valor en la talla promedio anual del grupo de edad-1 del stock templado y la TSM, NM y PDO en Bahía Magdalena, durante 1982-2009.

	Beta	Error σ de Beta	B	Error σ de B	t(23)	P
INTERCEPTO			297.07	38.27	7.76	0.000
TSM	0.17	0.19	1.54	1.75	0.88	0.385
NM	-0.60	0.16	-0.08	0.02	-3.60	0.001
PDO	0.42	0.16	4.23	1.68	2.51	0.020

F (3,23)=4.99 P<.008

El modelo de regresión que describe el patrón de cambios de LE1 fue el siguiente:

$$LE1_{Estimada} = 297.07 - 0.08 (NM) + 4.23 (PDO)$$

En la figura 6 se muestran los cambios de la LE1 observada y la LE1 estimada con el modelo de regresión. Los efectos del NM y PDO en los cambios de LE1 fueron opuestos, ya que el efecto del NM fue negativo y el PDO positivo.

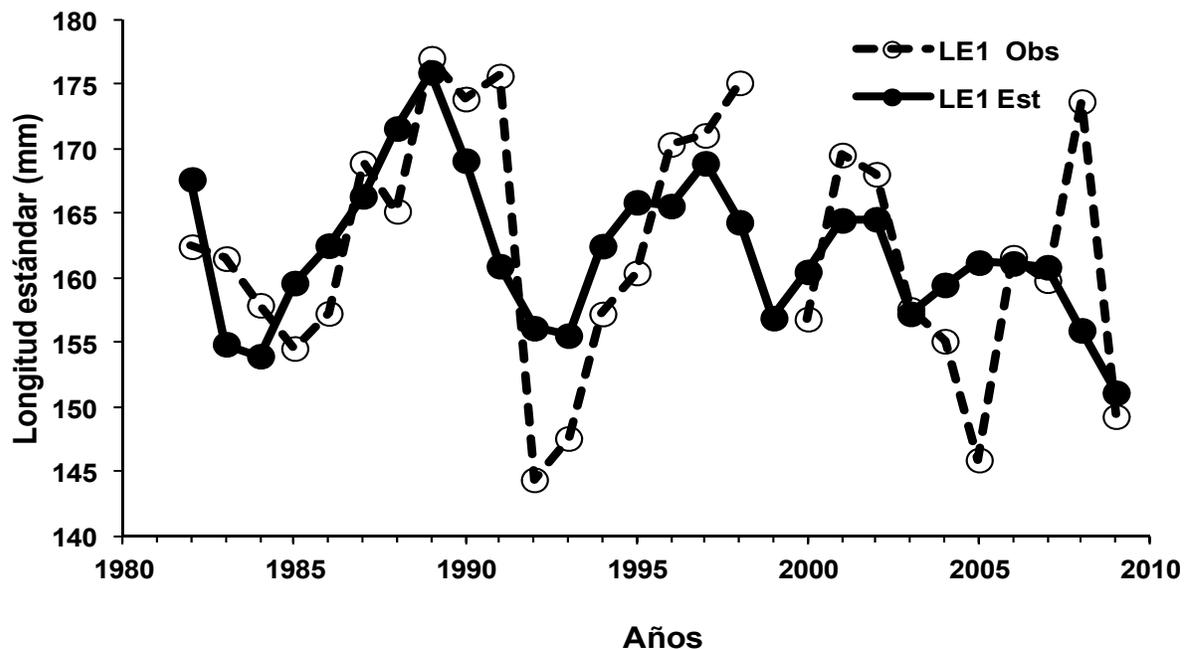


Figura 6. Cambios anuales de la LE1 observada (línea punteada) y estimada (línea solida) del stock templado de la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena, durante 1982 a 2009.

El análisis de regresión múltiple para explicar los cambios anuales de LE1 del stock cálido en relación con las variables ambientales (TSM, NM y PDO), identificó solamente al NM como variable significativa (Tabla 4). El modelo de regresión que describe los cambios anuales de la LE1 fue el siguiente:

$$LE1_{\text{Estimada}} = 309.64 - 0.078 (\text{NM})$$

En la figura 7 se presentan los cambios anuales de la LE1 observados y estimados. El NM presentó una relación inversa con la LE1 para el stock cálido de la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena. Los años donde la LE1 observada no se muestra son porque en los meses que se consideraron para este stock (los tres meses con mayor TSM) no se recolectaron muestras.

Tabla 4. Estadísticos descriptivos de la regresión múltiple entre el valor en la talla promedio anual del grupo de edad-1 del stock cálido y TSM, NM y PDO en Bahía Magdalena durante 1982-2009.

	Beta	Error σ de Beta	B	Error σ de B	t(16)	P
INTERCEPTO			309.64	44.24	6.99	0.002
TSM	-0.10	0.22	-0.34	0.74	0.45	0.65
NM	-0.62	0.18	-0.07	0.02	-3.39	0.003
PDO	-0.11	0.21	-1.37	2.51	-0.54	0.59

F (3,16)=3.95 P<0.02

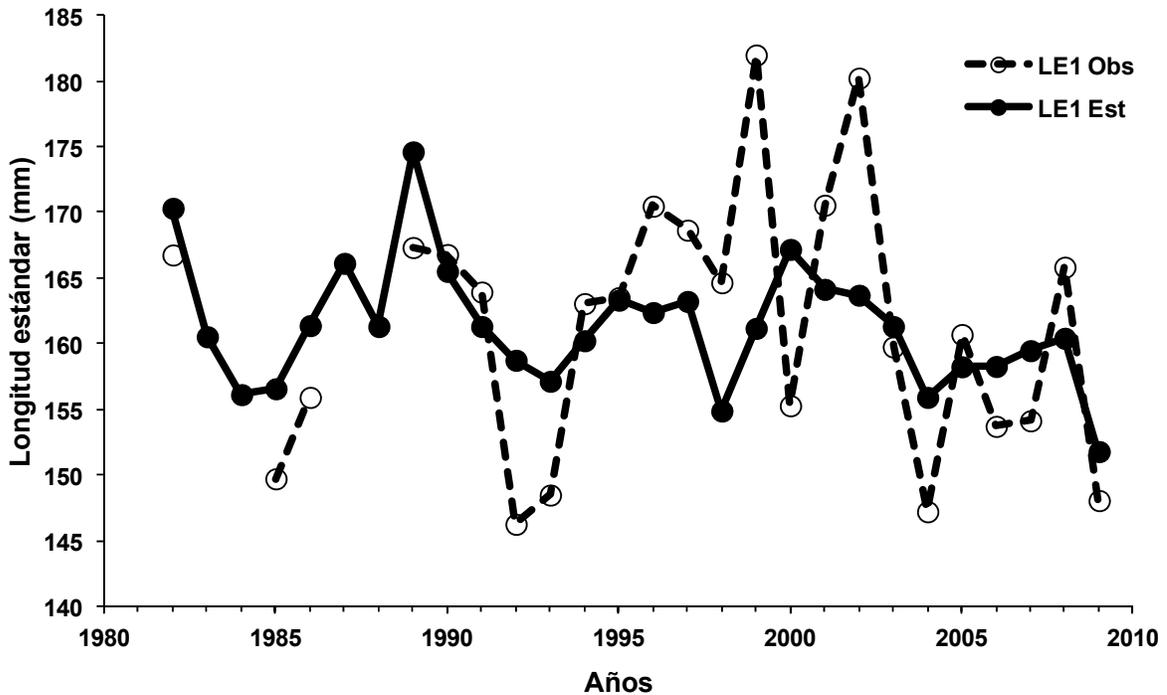


Figura 7. Cambios anuales de la LE1 observada (línea punteada) y estimada (línea sólida) del stock cálido de la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena, durante 1982 a 2009.

7.5 Crecimiento individual anual de la sardina del Pacífico considerando la población no estructurada y estructurada por stocks

Los parámetros estimados del modelo de crecimiento de von Bertalanffy para la sardina del Pacífico sin considerar una estructura por stocks, se muestran en la tabla 5. La longitud asintótica (L_{∞}) varió entre 172.3 a 235.3 mm, el coeficiente de crecimiento (k) de 0.2 a 1.3 año⁻¹ y la edad a la cual la longitud es cero (t_0) de -0.8 a -4.8 años. En todos los años el modelo describió significativamente el crecimiento de la sardina del Pacífico ($P > 0.05$). Sin embargo la variación de la talla explicada por el modelo (r^2) fue del 37% en 2001 al 96% en 1999.

Los parámetros de crecimiento estimados para los datos de edad-talla estructurados por stock se presentan en la tabla 6. Para el stock templado L_{∞} varió entre 156.4 y 254.6 mm, k entre 0.15 y 1.63 año⁻¹ y t_0 de -0.52 a -6.57 años. Para el stock cálido los valores de los parámetros de crecimiento fueron: L_{∞} entre 167.3 y 264.0 mm, k entre 0.18 y 1.60 año⁻¹ y t_0 de -0.37 a -8.02 años.

Tabla 5. Parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy ajustados a los datos de edad-talla sin considerar stocks para la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena durante 1982-2009.

Año	L_{∞} (mm)	k (año ⁻¹)	t_0 (año)	r^2
1982	172.3	0.95	-1.6	0.54
1983	179.2	0.34	-4.5	0.53
1984	179.0	0.45	-2.8	0.58
1985	199.0	0.34	-3.1	0.80
1986	202.3	0.40	-2.3	0.75
1987	211.4	0.37	-2.6	0.85
1988	208.4	0.31	-2.9	0.86
1989	222.0	0.31	-2.6	0.89
1990	233.4	0.21	-4.8	0.62
1991	199.7	0.60	-1.7	0.84
1992	226.9	0.22	-3.6	0.87
1993	205.0	0.24	-4.2	0.60
1994	181.7	0.55	-2.1	0.75
1995	186.9	0.55	-2.1	0.67
1996	187.7	0.98	-1.1	0.82
1997	195.6	0.63	-1.7	0.74
1998	220.1	0.29	-3.6	0.81
1999	197.1	1.32	-0.8	0.96
2000	222.3	0.29	-3.1	0.64
2001	195.3	0.49	-2.7	0.37
2002	195.9	0.47	-2.4	0.76
2003	235.3	0.31	-2.6	0.82
2004	194.1	0.52	-2.0	0.84
2005	183.3	0.54	-2.1	0.63
2006	213.7	0.26	-3.3	0.70
2007	190.5	0.30	-4.0	0.52
2008	187.0	0.76	-1.7	0.43
2009	215.0	0.36	-2.4	0.67

Tabla 6. Parámetros del modelo de crecimiento de von-Bertalanffy ajustados a los datos de edad-talla por stock para la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena durante 1982 a 2009.

Año	Stock templado				Stock cálido				ARSS
	L_{∞} (mm)	k (año ⁻¹)	t_0	r^2	L_{∞} (mm)	k (año ⁻¹)	t_0	r^2	
1982	177.5	0.43	-3.9	0.50	171.50	0.90	-2.1	0.38	*
1983	193.7	0.20	-6.6	0.77					
1984	174.4	0.54	-3.3	0.14					
1985	156.4	1.63	-1.1	0.16	213.00	0.32	-2.8	0.85	*
1986	217.2	0.21	-4.9	0.52	210.40	0.25	-3.5	0.57	*
1987	186.8	0.86	-1.2	0.4					
1988	218.8	0.21	-4.7	0.83					
1989	212.7	0.58	-1.4	0.84	229.87	0.42	-2.2	0.82	*
1990	242.4	0.21	-3.6	0.78	235.54	0.25	-3.2	0.60	*
1991	205.5	0.41	-2.9	0.62	197.57	0.62	-1.7	0.95	*
1992					218.57	0.19	-4.6	0.78	
1993	192.0	0.33	-3.3	0.63					
1994	254.4	0.17	-3.7	0.83	196.07	0.26	-4.8	0.68	*
1995	171.8	1.34	-0.5	0.59	182.33	0.64	-1.9	0.60	*
1996	200.6	0.46	-2.7	0.53	195.46	0.78	-1.3	0.87	*
1997	192.0	0.68	-1.6	0.69	236.97	0.21	-5.0	0.52	*
1998	236.1	0.22	-4.4	0.82	264.04	0.18	-4.3	0.68	NS
1999	217.4	0.27	-4.3	0.79	207.78	0.26	-8.0	0.32	*
2000	186.3	0.49	-2.5	0.51	191.74	0.62	-1.6	0.64	NS
2001	254.6	0.19	-4.1	0.58	215.50	0.36	-2.2	0.36	*
2002	250.4	0.15	-5.4	0.68	189.57	0.57	-2.2	0.82	*
2003	237.5	0.28	-2.8	0.83	203.84	0.55	-1.8	0.78	*
2004	175.0	0.65	-2.0	0.4	183.40	0.60	-1.9	0.83	NS
2005	174.1	0.47	-2.7	0.24	175.90	0.95	-1.3	0.84	*
2006	188.9	0.46	-2.5	0.84	195.90	0.28	-3.7	0.60	*
2007	192.4	0.24	-5.1	0.57	167.27	1.60	-0.4	0.60	*
2008	191.8	0.55	-2.5	0.40	197.07	0.52	-2.3	0.52	NS
2009	186.7	0.93	-0.8	0.64					

*Significativa (ARSS; $P < 0.05$) NS= No significativa (ARSS; $P > 0.05$)

7.6 Comparación de las curvas de crecimiento de la sardina del Pacífico

Al comparar las curvas anuales de crecimiento del modelo de von Bertalanffy para la sardina del Pacífico sin considerar stocks, estas fueron significativamente diferentes durante el periodo de estudio (ARSS: $P < 0.05$). Sin embargo, al comparar las curvas

de crecimiento por año por stock no se detectaron diferencias significativas en los años 1998, 2000, 2004 y 2008 (ARSS: $P>0.05$). En el resto de los años del periodo de estudio las diferencias fueron significativas (ARSS: $P<0.05$) (Tabla 6).

7.7 Relación del crecimiento individual de la sardina del Pacífico con la TSM, PDO y NM

Para evaluar el efecto de las variables ambientales TSM, NM y PDO en los cambios anuales del crecimiento individual de la sardina del Pacífico sin considerar una estructura por stocks, se estimó el índice de phi-prima (ϕ') como un indicador del crecimiento. Los valores de phi-prima variaron de 2.0 a 2.7 (Tabla 7). No se detectó relación significativa con las variables ambientales (Tabla 8) $F(3,23)=1.58$ $P=0.22$.

Tabla 7. Valores anuales de phi-prima para la sardina del Pacífico durante 1982-2009.

Año	L_{∞} (mm)	k (año-1)	Phi-prima
1982	172.3	0.95	2.5
1983	179.2	0.34	2.0
1984	179.0	0.45	2.2
1985	199.0	0.34	2.1
1986	202.3	0.40	2.2
1987	211.4	0.37	2.2
1988	208.4	0.31	2.1
1989	222.0	0.31	2.2
1990	233.4	0.21	2.1
1991	199.7	0.60	2.4
1992	226.9	0.22	2.1
1993	205.0	0.24	2.0
1994	181.7	0.55	2.3
1995	186.9	0.55	2.3
1996	187.7	0.98	2.5
1997	195.6	0.63	2.4
1998	220.1	0.29	2.2
1999	197.1	1.32	2.7
2000	222.3	0.29	2.2
2001	195.3	0.49	2.3
2002	195.9	0.47	2.3
2003	235.3	0.31	2.2
2004	194.1	0.52	2.3
2005	183.3	0.54	2.3
2006	213.7	0.26	2.1
2007	190.5	0.30	2.0
2008	187.0	0.76	2.4
2009	215.0	0.36	2.2

Tabla 8. Estadísticos descriptivos de la regresión múltiple entre phi-prima y la TSM, NM y PDO sin considerar una estructura por stocks para la sardina del Pacífico, durante 1982-2009.

	Beta	Error σ de Beta	B	Error σ de B	t(23)	P
INTERCEPTO			3.30	1.01	3.26	0.003
TSM	-0.27	0.29	-0.06	0.06	-0.91	0.371
NM	0.06	0.27	0.00	0.00	0.23	0.819
PDO	-0.25	0.21	-0.05	0.04	-1.15	0.260

F (3,23)=1.58 P=0.22

Respecto a los valores de phi-prima por stock, para el templado variaron de 1.9 a 2.6 y para el cálido de 2.0 a 2.6 (Tabla 7).

Tabla 7. Valores de phi-prima por stock de sardina del Pacífico durante 1892-2009.

Año	stock templado			stock cálido		
	L_{∞} (mm)	k(año ⁻¹)	Phi-prima	L_{∞} (mm)	k(año ⁻¹)	Phi-prima
1982	177.5	0.43	2.1	171.5	0.90	2.4
1983	193.7	0.20	1.9			
1984	174.4	0.54	2.2			
1985	156.4	1.63	2.6	213.0	0.32	2.2
1986	217.2	0.21	2.0	210.4	0.25	2.0
1987	186.8	0.86	2.5			
1988	218.8	0.21	2.0			
1989	212.7	0.58	2.4	229.9	0.42	2.3
1990	242.4	0.21	2.1	235.5	0.25	2.1
1991	205.5	0.41	2.2	197.6	0.62	2.4
1992				218.6	0.19	2.0
1993	192.0	0.33	2.1			
1994	254.4	0.17	2.0	196.1	0.26	2.0
1995	171.8	1.34	2.6	182.3	0.64	2.3
1996	200.6	0.46	2.3	195.5	0.78	2.5
1997	192.0	0.68	2.4	237.0	0.21	2.1
1998	236.1	0.22	2.1	264.0	0.18	2.1
1999	217.4	0.27	2.1			
2000	186.3	0.49	2.2	191.7	0.62	2.4
2001	254.6	0.19	2.1	215.5	0.36	2.2
2002	250.4	0.15	2.0	189.6	0.57	2.3
2003	237.5	0.28	2.2	203.8	0.55	2.4
2004	175.0	0.65	2.3	183.4	0.60	2.3
2005	174.1	0.47	2.1	175.9	0.95	2.5
2006	188.9	0.46	2.2			
2007	192.4	0.24	2.0	167.3	1.60	2.6
2008	191.8	0.55	2.3	197.1	0.52	2.3
2009	186.7	0.93	2.5			

Al evaluar los cambios del crecimiento (phi-prima) de la sardina del Pacífico por stock en relación con la TSM, NM y PDO, esta fue significativa solamente con la TSM para ambos stocks (Tabla 10).

En las figuras 8 y 9 se pueden observar las variaciones de phi-prima observada y phi-prima estimada para los stocks templado y cálido respectivamente. Los años donde no se pudo calcular el valor de phi-prima estimada fueron por ausencia de la variable ambiental (TSM), así como en el caso de la phi-prima observada fue ausencia de datos.

El modelo para el stock templado fue:

$$\phi = 3.91 - 0.08 (\text{TSM})$$

Mientras que para el stock cálido fue:

$$\phi = 3.19 - 0.03 (\text{TSM})$$

Tabla 8. Estadísticos descriptivos de la regresión múltiple entre phi-prima y la TSM, NM y PDO por stock para la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena, durante 1982-2009.

Stock Cálido $F(1, 14) = 8.64$ $P < 0.01$						
	Beta	Error σ de Beta	B	Error σ de B	t(14)	P
INTERCEPTO			3.19	0.30	10.40	0.000
TSM	-0.61	0.21	-0.03	0.01	-2.93	0.01
NM	-0.51	0.27	-0.00	0.00	-1.89	0.07
PDO	0.36	0.30	0.09	0.08	1.17	0.25
Stock Templado $F(1, 25) = 6.37$ $P < 0.01$						
INTERCEPTO			3.91	0.67	5.78	0.00
TSM	-0.45	0.17	-0.08	0.03	-2.52	0.01
NM	-0.12	0.18	-0.00	0.00	-0.69	0.49
PDO	0.14	0.21	0.03	0.04	0.67	0.50

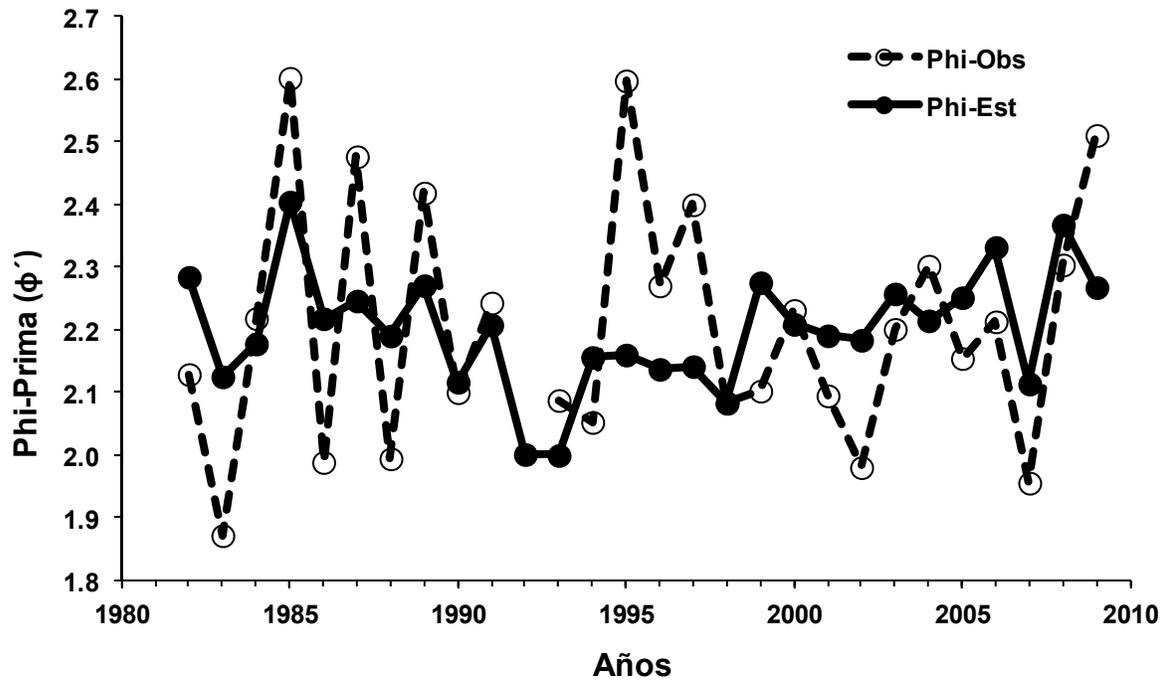


Figura 8. Variación de phi-prima observada (línea punteada) y phi-prima estimada (línea solida) usando el modelo de regresión múltiple para el stock templado en Bahía Magdalena, durante 1982 a 2009.

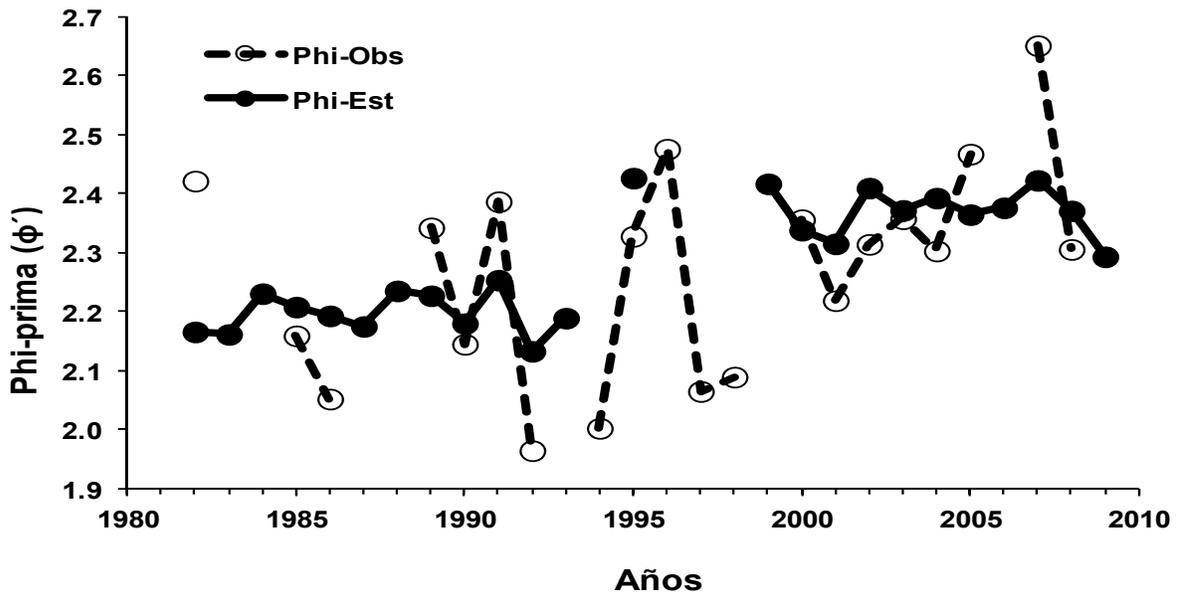


Figura 9. Variación de phi-prima observada (línea punteada) y phi-prima estimada (línea solida) usando el modelo de regresión múltiple para el stock cálido Bahía Magdalena, durante 1982 a 2009.

8. DISCUSIÓN

8.1 Muestreo

La estacionalidad de las capturas de sardina del Pacífico en Bahía Magdalena se asocia a las condiciones particulares de cada año; sin embargo, se mantiene un patrón general. La captura presenta un incremento a principios de primavera con un máximo en el verano, para luego descender y tener un segundo pico a fin de año (Melo-Barrera *et al.* 2010). Félix-Uraga *et al.* (2005) identificaron tres stocks de sardina en el Pacífico noroccidental de México y sus preferencias térmicas. Un stock parece estar adaptado a temperaturas mayores a 22°C (stock cálido) y su área de distribución se localiza al sur de Bahía Magdalena; un segundo stock que prefiere temperaturas entre los 17°C y 22°C (templado), se ubica al norte y al sur de Punta Eugenia; y un tercero, que habita en ambientes con temperaturas menores a 17°C (frío) se localiza al sur de California, EUA. Sin embargo, la distribución de los stocks es muy dinámica interanualmente, en invierno los tres se desplazan hacia el sur, por lo que durante la primavera alcanzan su ubicación más sureña, que es favorecida por la corriente de California; por lo contrario, durante el verano las sardinias retornan al norte y la migración coincide con el debilitamiento de la corriente de California y la aparición de la contracorriente; en otoño los tres stocks alcanzan el límite norte de su área de distribución. Este patrón de desplazamientos de los stocks podría modificarse de acuerdo a las condiciones del ambiente, principalmente en los años donde se presenta el ENSO o La Niña. En el presente estudio al separar los stocks (cálido y templado) se tomo como base las preferencias térmicas de cada uno y en cada año se seleccionaron las muestras recolectadas en los tres meses con mayor y menor TSM para así tratar de reducir en la mayor medida la posible mezcla de stocks.

8.2 Estructura de tallas y edades

Las tallas de la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena variaron de 105-225 mm LE y más del 85% fueron sardinias mayores a la talla mínima legal de 150 mm LE, establecida en la norma oficial mexicana (NOM-003-PESC-1993). Este intervalo de tallas en la captura comercial de sardina fue similar al reportado por Melo-Barrera *et*

al. (2010) analizando información de 2006-2008 para la misma zona (108-206 mm LE), donde señalan una disminución en el número de sardinas menores a 150 mm LE en la captura. Cota-Villavicencio *et al.* (2010) reportaron durante la temporada 2007-2008 una estructura de tallas para la sardina en el área de Ensenada entre los 105 y 245 mm y mencionan que más del 87% fueron por arriba de los 150 mm LE. Martínez-Zavala *et al.* (2010) reportaron para la misma temporada pero para el área del Golfo de California una estructura de talla para la sardina entre 83 y 213 mm LE y mencionan que 44.2% estuvo por debajo de la talla mínima de captura. Considerando todo el rango de distribución de la especie, se ha observado que existe un gradiente latitudinal en la estructura de tallas de la sardina del Pacífico, alcanzándose mayores tallas al norte. Frente a las costas de Baja California y California se registran tallas entre 140-260 mm LE (Félix-Uraga 2006; Hill *et al.* 2010), en las costas de Oregón y Washington se capturan sardinas hasta de 300 mm LE (Emmett *et al.* 2005).

En el presente estudio se encontró una estructura poblacional integrada por nueve grupos de edad (0-8), sin embargo las sardinas predominantes fueron de los grupos de edad 1 y 2. La estructura de edades comúnmente descrita para Bahía Magdalena es de 6 grupos de edad (0-5) (Félix-Uraga 1990; Melo-Barrera *et al.* 2010). Cabe mencionar que los organismos de los grupos de edad 7 y 8 estuvieron presentes solo en el año 1999 y las condiciones TSM fueron anómalamente frías. Esta composición por edades de la captura es muy similar en la mayor parte del rango de distribución de la especie, la cual cambia hacia edades mayores en la zona de Oregón-Washington, donde predominan las sardinas de los grupos de edad entre 2 a 5 (Emmett *et al.* 2005; Hill *et al.* 2010). Tanto en el presente trabajo como en otras investigaciones sobre *S. sagax*, no se encontraron diferencias significativas en la estructura de tallas y edades debidas al sexo (Félix-Uraga 2006; Melo-Barrera *et al.* 2010).

8.3 Variación de la talla promedio anual del grupo edad-1 y su relación con la TSM, NM y PDO.

Se sabe que las poblaciones de sardina constituyen recursos de gran volumen, que se explotan con artes de captura masiva (redes de cerco), lo que resulta en que las capturas pueden suponerse razonablemente proporcionales a la abundancia de la población (Lluch-Belda 2004). El tamaño de la población influye fuertemente en el reclutamiento y este a su vez se asocia con cambios en la longitud durante su primer año de vida (Iles 1973; Quiñonez-Velázquez *et al.* 2002; Cury *et al.* 2008; Houde 2008). Si se compara la longitud a una misma edad de manera espacial o temporal es posible evidenciar cambios en el patrón ontogénico del crecimiento (González-Ochoa *et al.* 2004).

González-Ochoa *et al.* (2004), encontraron una correlación negativa entre el tamaño de la clase anual con la LE del primer año de vida, lo que indica que a mayor tamaño de la clase anual, la longitud de los organismos tiende a disminuir. MacGregor (1958) menciona que a niveles de población elevados, los individuos tienen un factor de condición bajo debido a una menor disponibilidad de alimento por pez, mientras que con niveles de población bajos se cuenta con una mayor cantidad de alimento y en consecuencia una mejor condición, lo cual se puede ver reflejado en algunos parámetros del desarrollo de los peces.

Existe información en la literatura de que además de la abundancia de la población, las condiciones ambientales pueden influir en el reclutamiento para la sardina (Yatsu *et al.* 2005; De Anda-Montañez *et al.* 2010), por ejemplo durante condiciones ENSO la sardina presenta migraciones hacia el norte desapareciendo prácticamente de la costa occidental de Baja California e incrementando las capturas de especies pelágicas mas tropicales; y en condiciones La Niña se presenta un incremento en las capturas de sardina en Bahía Magdalena, así como se observa un fuerte reclutamiento en el área (Félix-Uraga *et al.* 2004; De Anda-Montañez *et al.* 2010). En el presente estudio los años donde se observan las tallas promedios igual o por debajo de los 150 mm LE fueron años donde se presentó el fenómeno del ENSO (1992 y 1993, excepto en el 1985 pero este año viene precedido de años donde se

presenta este fenómeno. Los años ENSO, se han relacionado con disminuciones drástica de la biomasa de fitoplancton y zooplancton (Palomares-García *et al.* 2003). Esto podría transformarse en condiciones de alimentación desfavorables para la sardina. En cambio las tallas promedios mayores se registraron en años con temperaturas anómalamente frías (1987 y 1999). En estas condiciones las surgencias se intensifican y la disponibilidad de alimento aumenta.

La disminución de la talla promedio observada de 1999 hasta el 2009, coincidió con un aumento en las capturas en Bahía Magdalena (Hill *et al.* 2010) y podría ser un reflejo de fuertes reclutamientos en el área. Aunque esta variación en la talla también podría ser un reflejo de cambios ambientales importantes en la Corriente de California, ya que durante este periodo se registraron 6 años donde el PDO fue negativo, además que justo después del ENSO del 1998 se señala en la literatura que se puede estar presentando un cambio de régimen (régimen frío) el cual en principio genera cambios importante en los ecosistemas de la corriente de California (Peterson y Schwing 2003).

Una posible causa de no haber detectado una relación significativa entre los cambios de la talla promedio del grupo de edad 1 (LE1) sin considerar una estructura por stock con la TSM, NM y PDO, es que los stocks responden de manera diferente al mismo estímulo ambiental. Los cambios de la talla LE1 para el stock templado se relacionaron significativamente con el NM y PDO, mientras que para el stock cálido se relacionaron significativamente con el NM. Esto probablemente se deba a que el PDO es una representación de la variabilidad climática en el Océano Pacífico Norte, en cuyo margen oriental se encuentra el stock templado y este índice no refleja las condiciones ambientales del Golfo de California, origen del stock cálido.

8.4 Crecimiento individual

La evaluación de las variaciones en la tasa de crecimiento resulta una forma útil para valorar la dinámica de la población (González-Ochoa *et al.* 2004). En el presente estudio el modelo utilizado para describir el patrón de crecimiento individual de la sardina del Pacífico fue el de von Bertalanffy. Este modelo ha mostrado ser útil en representar el crecimiento de peces que fueron muestreados a través de la pesca

comercial o peces adultos. Los parámetros de crecimiento difieren de una población a otra y dentro de una misma especie, es decir los parámetros de crecimiento de una especie en particular pueden tener valores diferentes dependiendo de su área de distribución. También cohortes sucesivas pueden crecer de forma diferente según las condiciones del hábitat (Sparre & Venema 1997) y afectar los valores de los parámetros de crecimiento. Una forma útil de comprobar si los parámetros de crecimiento (L_{∞} y k) para una misma especie generados a partir de un nuevo juego de datos son adecuados, es el índice phi-prima (ϕ') desarrollado por Pauly (1980). El índice refleja la relación entre los parámetros L_{∞} y k , el valor de la pendiente entre estos dos parámetros debe de ser cercano a 2 entre miembros de una misma especie. De Anda-Montañez *et al.* (1999) se apoyaron en este índice para comparar el crecimiento de la sardina del Pacífico en el Golfo de California, para las temporadas de pesca del 1972-73 a 1989-90, encontrando valores de 2.3 a 2.7. En ese mismo trabajo, también incluyeron estimaciones de phi-prima para el área de Estados Unidos y Canadá donde los valores variaron de 2.4 a 2.7. En el presente estudio los valores obtenidos de phi-prima fueron de 2.0 a 2.7, por lo cual los valores estimados para los parámetros del modelo de von Bertalanffy pueden considerarse como adecuados para la especie. Aunque los valores de phi-prima son similares se puede notar que en las latitudes norteñas (Estados Unidos) su variación es menor que en el sur de la corriente de California (Bahía Magdalena) (Fig. 10). Esto es resultado de la menor variación en el coeficiente de crecimiento en las sardinas de Estados Unidos que en las de Magdalena (Fig. 10), esto podría ser porque las variaciones en las condiciones oceanográficas son más fuertes en el sur de la corriente de California que en la parte norte. Los parámetros de crecimiento encontrados para la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena presentan una variación interanual significativa, lo cual podría ser en parte consecuencia de la incorporación de nuevas cohortes en la población. Ya que se ha señalado que cambios en el reclutamiento son una forma de incorporar variabilidad anual en el crecimiento individual.

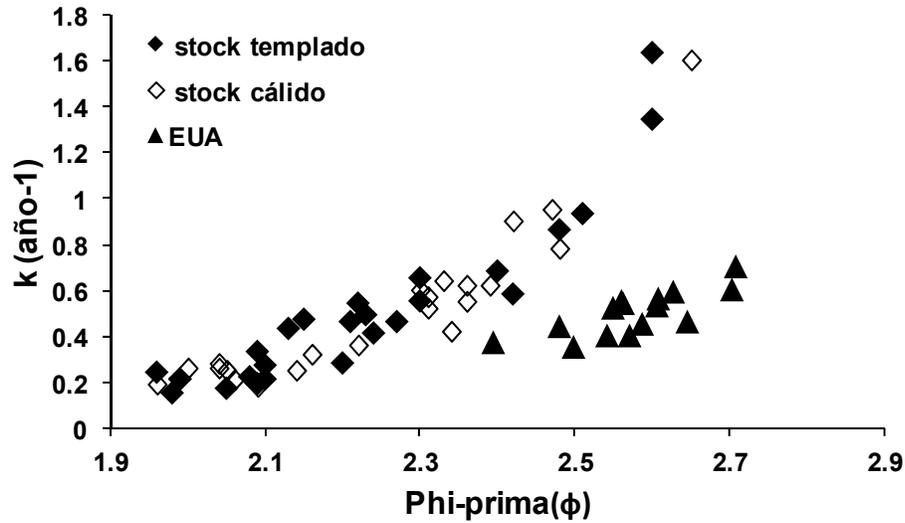


Figura 10. Variación espacio-temporal de phi-prima (ϕ) para la sardina del Pacífico. La comparación anual de los parámetros de crecimiento para cada stock, nos indicó diferencias significativas en la mayoría de los años del periodo de estudio, a excepción de cuatro años (1998, 2000, 2004 y 2008). Pero al evaluar el crecimiento entre stocks para todo el periodo de estudio, la curva de crecimiento del stock templado ($LE= 223.4 [1- \exp^{-0.2 (edad-3.36)}]$) difiere significativamente del stock cálido ($LE= 217.4 [1- \exp^{-0.3 (edad-2.85)}]$) ($F=7.15 P<0.05$) (Fig. 11).

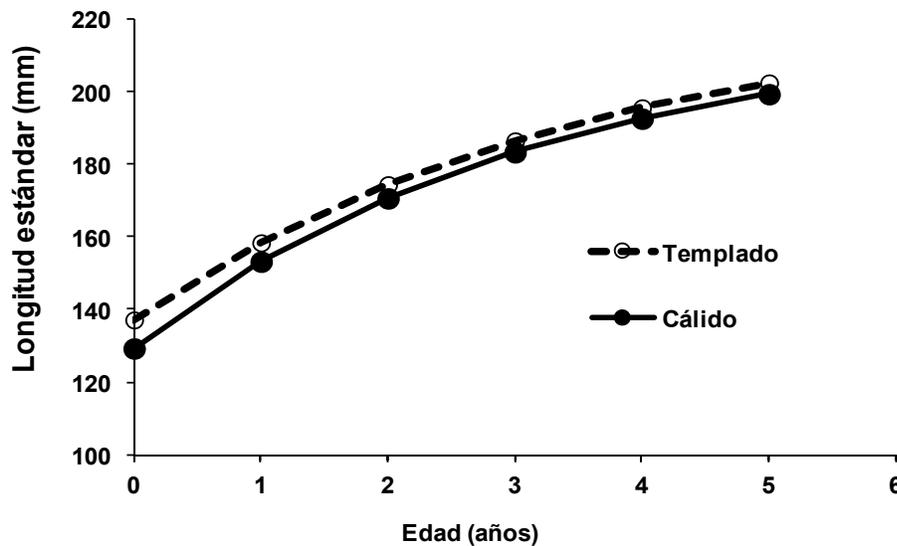


Figura 11. Curvas de crecimiento individual de la sardina del Pacífico por stock durante en Bahía Magdalena, durante 1982 a 2009. Stock cálido (línea sólida) y el templado (línea punteada).

El menor valor de L_{∞} fue para el stock cálido y el valor mayor para el stock templado, el valor de k se comporto de manera inversa. La presente respuesta encontrada era la esperada ya que cada stock en principio se desarrolla en ambientes diferentes. Lo anterior ha sido señalado por Félix-Uraga *et al.* (2007) donde argumentan que probablemente indique una tendencia natural de separación de grupos poblacionales y/o también incorporación importantes de sardinas de tallas pequeñas (grupo 1) como consecuencia del reclutamiento. Felin (1954) señala que una heterogeneidad en las tasas de crecimiento de la sardina del Pacífico a lo largo del área de su distribución, podría representar una respuesta fenotípica de un genotipo plástico el cual responde a las variaciones ambientales y puede ser utilizado para separar poblaciones homogéneas en una misma área.

Para evaluar el efecto de las condiciones ambientes en el crecimiento se utilizó el índice de crecimiento phi-prima (ϕ), el índice además de evaluar la relación entre L_{∞} y k , puede ser útil como indicador en la relación del crecimiento individual y las variables ambientales (TSM, NM y PDO). Considerando todo el periodo analizado, ninguna variable se relaciono significativamente con el crecimiento individual de la sardina en Bahía Magdalena. Esta respuesta podría deberse a la preferencia a diferentes temperaturas de parte de los stocks que se presentan en Bahía Magdalena. Ya que se ha observado preferencias térmicas en la estacionalidad en el desove y en su presencia en la captura, lo cual ha hecho suponer distintos grupos poblacionales a lo largo del amplio rango de distribución de la sardina del Pacífico (Félix-Uraga *et al.* 1996; Lluch-Belda *et al.* 1991; Funes-Rodríguez *et al.* 2012).

Al evaluar la relación para cada stock (templado y cálido), se encontró que la TSM fue significativa en ambos stocks. Es decir, el stock cálido y templado responde negativamente a la TSM. La cual se sabe que puede influir en la tasa metabólica de los organismos y juega un papel importante en la fisiología de los organismos, ya sea retardando o acelerando alguno de sus procesos biológicos (De Anda-Montañez *et al.* 1999; Quiñonez-Velázquez *et al.* 2002; Takahashi y Checkley 2008). Dentro del intervalo de TSM en el hábitat de la sardina del Pacífico, las temperaturas frías favorecen el crecimiento individual de la sardina, esto podría ser en principio que la termoclina se hace más superficial y la actividad de surgencias se intensifica

provocando un florecimiento en los nutrientes. Gaughan *et al.* (2001) analizaron la tasa de crecimiento de larvas de *S. sagax* en regiones con diferentes niveles de productividad, encontrando que la menor tasa de crecimiento se encuentra en las regiones donde los niveles de productividad son menores, y esto podría ser la causa de una mayor tasa de mortalidad y un menor reclutamiento al stock. También se señala que la abundancia de las clases anuales se relaciona positivamente con la TSM en Bahía Magdalena (González-Ochoa *et al.* 2007). Takasuka *et al.* (2007) al intentar explicar la alternancia entre el régimen de *Sardinops melanostictus* y *Engraulis japonicus*, propusieron la hipótesis de temperatura óptima de crecimiento, encontrando que a la anchoveta la favorecen las temperaturas de 22°C y a la sardina temperaturas de los 16°C para el área de la corriente de Kuroshio.

Los resultados encontrados en el presente trabajo coinciden con la hipótesis de Félix-Uraga *et al.* (2004; 2005) de la presencia estacional de dos stocks (cálido y templado) en el área de Bahía Magdalena, los cuales presentan diferencias significativas en las tasas de crecimiento que puede deberse a que cada stock está respondiendo diferente a la presión del ambiente. El stock templado tiene preferencias entre las temperaturas de 16.9° a 21.4° C, mientras que al stock cálido se identificó en temperaturas de 22.4° a 31.0° C. El stock templado se ve favorecido por los cambios negativos en el PDO. Mientras que para el stock cálido, el cual en principio proviene de la parte sur del Golfo de California, no se detectó ninguna influencia.

9. CONCLUSIONES

- La estructura de tallas y edades de la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena no difieren significativamente debidas al sexo.
- Las variaciones en la talla promedio LE1 del stock templado de la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena, pueden ser descritas mediante la información del NM y PDO, mientras que las del stock cálido pueden ser descritas con datos del NM.
- El crecimiento individual de la sardina del Pacífico del stock templado presentó diferencias significativas con las sardinas del stock cálido.
- La temperatura superficial de mar afecta de significativa al crecimiento individual de sardina del Pacífico. Temperaturas frías favorecen al crecimiento y en condiciones cálidas los disminuyen.
- Los stocks de Bahía Magdalena presentaron una mayor variabilidad en el crecimiento individual que los valores obtenidos para latitudes más norteñas a lo largo del periodo de estudio. Esto podría ser consecuencia de las diferencias en las fluctuaciones de la TSM que existen en las diferentes zonas.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-Borrogo, S., A. Galindo-Bect & A. Chee-Barragan. 1975. Características hidroquímicas de Bahía Magdalena, Baja California Sur. Cien. Mar. 2: 94-100.
- Baumgartner, T.R., A. Soutar & V. Ferreira-Bartrina. 1992. Reconstruction of the history of pacific sardine and northern anchovy populations over the past two millennia from sediments of the Santa Barbara basin, California. CalCOFI Rep. 33:25-40.
- Butler, J.L., P.E. Smith & N. Chyan-Huello. 1993. The effect of natural variability of life-history parameters on anchovy and sardine population growth. CalCOFI Rep. 34:104-111.
- Cadrin, S.X., K.D. Friedland & J.R. Waldman. 2005. Stock identification methods: Applications in fishery science. Burlington, Mass. Elsevier, 735 p.
- Chávez, P.F., J. Ryan, S.E. Lluch-Cota & M.C. Ñiquen. 2003. From Anchovies to Sardine and Black: Multidecadal Change in the Pacific Ocean. Science 299:217-221.
- Chen, Y., D. A. Jackson & H. H. Harvey. 1992. A comparison of von Bertalanffy and polynomial functions in modeling fish growth data. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49: 1228-1235.
- Cota-Villavicencio, A., R. Troncoso-Gaytán, M. Romero-Martínez & M.O. Nevárez-Martínez. 2010. Situación de la pesquería de pelágicos menores en la costa noroccidental de Baja California durante las temporadas de pesca 2007 y 2008. Ciencia Pesquera. 18 (2): 19-32.
- Cury, P.M., Y. Shin. B. Planque. J.M. Durant. J.M. Fromentin. S. Kramer-Schadt. N.C. Stenseth. M. Travers, & V. Grimm. 2008. Ecosystem Oceanography for global change in fisheries. Trends in Ecology and Evolution. 23.6.
- De Anda-Montañez, A., F. Arreguín-Sánchez & S. Martínez-Aguilar. 1999. Length-based growth estimates for pacific sardine (*Sardinops sagax*) in the Gulf of California, Mexico. CalCOFI Rep. 40: 179-183

- De Anda-Montañez, J.A., A. Ramos-Rodríguez & S. Martínez-Aguilar. 2010. Effects of environmental variability on the recruitment and bioeconomic modelling in the Pacific sardine (*Sardinops sagax caerulea*) fishery from Magdalena Bay, Baja California Sur, Mexico. Sci. Mar. 74: 25-35.
- Degens E.T., W.G. Deuser & R.L. Haedrich. 1969. Molecular structure and composition of fish otoliths. Marine Biol. 2: 105-113
- Emmett, R. L., R. D. Brodeur, T. W. Miller, S.S. Pool, G.K. Krutzikowsky, P.J. Bentley & J. McCrae. 2005. Pacific sardine (*Sardinops sagax*) abundance, distribution and ecological relationships in the Pacific Northwest. CalCOFI Rep.46. 112-143.
- Etnoyer, P., D. Canny, B. Mate & L. Morgan. 2004. Persistent pelagic habitats in the Baja California to Bering Sea (B2B) ecoregion. Oceanogr. 17: 90-101
- Felin, F. E. 1954. Population heterogeneity in the Pacific pilchard. Fish Wildl. Serv.Fish. Bull. 54: 201–225.
- Félix-Uraga, R. 1986. Edad, Crecimiento y Estructura poblacional de *Sardinops sagax caerulea* en Bahía Magdalena, durante 1981-1984. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de ciencias marinas-IPN. 103 p.
- Félix-Uraga, R. 1990. Crecimiento de *Sardinops sagax caerulea* en Bahía Magdalena, México. Investigaciones Marinas CICIMAR 5: 27-31
- Félix-Uraga, R. 2006. Dinámica poblacional de la sardina del Pacífico *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) (Clupeiformes: Clupeide) en la costa oeste de la Península de Baja California y Sur de California. Tesis de Doctorado. CICIMAR. 86 p
- Félix-Uraga, R., R.M. Alvarado-Castillo y R. Carmona-Piña.1996. The sardine fishery along the western coast of Baja California, 1981 to 1994. CalCOFI. Rep. 37: 188-192
- Félix-Uraga, R., V. M. Gómez-Muñoz, C. Quiñones-Velázquez, F.N. Melo-Barrera & W. García-Franco. 2004. On the existence of pacific sardine groups off the

west coast of Baja California and southern California. CalCOFI Rep. 45:146-151.

Félix-Uraga, R., V. M. Gómez-Muñoz, C. Quiñones-Velázquez, F.N. Melo-Barrera, K. Hill & W. García-Franco. 2005. Pacific Sardine (*Sardinops sagax*) stock discrimination off the west Coast of Baja California and Southern California using otolith morphometry. CalCOFI Rep. 46: 113-121.

Félix-Uraga, R., F.N. Melo-Barrera & C. Quiñones-Velázquez. 2007. Parámetros poblacionales de la sardina del Pacífico *Sardinops sagax* y su contribución a la pesquería de Bahía Magdalena: enfoques de stocks. En Funes-Rodríguez, R., J. Gómez-Gutiérrez & R. Palomares-García. (Edit). Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN. 221-230.

Funes-Rodríguez, R., R. Cervantes-Duarte, S. López-López, A. Hinojosa-Medina, A. Zárate-Villafranco & G. M. Esqueda-Escárcega. 2012. Abundance patterns of early stages of the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) during a cooling period in a coastal lagoon south of the California Current. Scientia Marina. 1-11.

Funes-Rodríguez, R., J. Gómez-Gutiérrez & R. Palomares-García. 2007. Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN.

García-Rodríguez F.J., S.A. García-Gasca, J. De la Cruz-Agüero & V. M. Cota-Gómez. 2011. A study of the population structure of the Pacific sardine *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) in Mexico based on morphometric and genetic analyses. Fisheries Research. 107: 169-176

Gaughan D.J., W.J. Fletcher & K.V. White. 2001. Growth rate of larval *Sardinops sagax* from ecosystems with different levels of productivity. Marine Biology. 139: 831-837.

González-Ochoa, O.A., C. Quiñones-Velázquez, R. Félix-Uraga & R.M. Alvarado-Castillo. 2004. Relación entre la temperatura, el crecimiento y el tamaño de la clase anual de la sardina del Pacífico *Sardinops caeruleus* (Girard, 1856) en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. En Quiñones-Velázquez C. &

- Elorduy Garay J.F. (Edit). Ambiente y pesquería de pelágicos menores en el noroeste de México. Instituto Politécnico Nacional. 6: 87-105.
- Gudiño-González, N. 2001. Variabilidad del crecimiento de la sardina monterrey, *Sardinops caeruleus* (Pisces: Clupeidae)(Girard, 1856) en isla de Cedros, Baja California, México. Tesis de Maestría. CICIMAR. 66 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, *Engaulis mordax*. Fishery Bulletin. 87: 653-671.
- Hill, K. T., N.C.H. Lo, B. J. Macewicz, P.R. Crone & R. Félix-Uraga. 2010. Assessment of the pacific sardine resource in 2010 for U.S. Management in 2011. National Oceanic and Atmospheric Administration Technical Memorandum NMFS-SWFSC-469 (US Department of commerce, Washington D.C.).
- Holden, M. J. & D .F. S. Raitt. 1975. Manual de ciencia pesquera. Parte 2. Métodos para investigar los recursos y su aplicación. Doc. Tec. FAO. Pesca. (115) Rev. 1: 211 pp.
- Houde, E. D. 2008. Emerging from Hjort's Shadow. J. Northw. Atl. Fish. Sci. 41: 53–70.
- Iles, T. D. 1973. Interaction of environmental and parent stock size in determining recruitment in the pacific sardine as revealed by analysis of density dependent O-group growth. Rapp. P. v. Réun. Cons. Int. Explor. Mer, 164:228-240.
- Lloris, D. 2007. Glosario de Ictiología. Generalitat de Catalunya. 922 p.
- Lluch-Belda, D. 2004. Sardinas y clima (¿o clima y sardinas?). En Quiñonez-Velázquez, C. & Elorduy Garay J.F. (Edit). Ambiente y pesquería de pelágicos menores en el noroeste de México. Instituto Politécnico Nacional. 8: 121-144
- Lluch-Belda, D., S. Hernández-Vázquez, D. Lluch-Cota, C. Salinas-Zavala & R. Schwartzlose. 1991. Sardine and Anchovy spawning as related to temperature and upwelling in the California current system. CalCOFI Rep. 32: 105-110.

- LLuch-Belda, D., S. Hernández-Vázquez, D. LLuch-Cota, C. Salinas-Zavala & R. Schwartzlose. 1992. The Recovery of the California Sardine as related to global change. CalCOFI Rep. 33: 50-59.
- MacGregor, J. S. 1958. Relation between fish condition and population size in the sardine, *Sardinops caerulea*. Fishery Research Biologist. 166: 215-230.
- Mantua, N.J. & S.R. Hare. 2002. The Pacific Decadal Oscillation. Journal of Oceanography. 58; 35-44.
- Martínez-Zavala, M.A., M.O. Nevárez-Martínez, M. L. Anguiano-Carrasco, J. P. Santos-Molina & A. R. Godínez-Cota. 2010. Captura de peces pelágicos menores en el golfo de California, temporada de pesca 2007-2008. Ciencia Pesquera. 18 (2): 5-18.
- Melo-Barrera, F.N., R. Félix-Uraga & C. Quiñonez-Velázquez. 2010. Análisis de la pesquería de *Sardinops Sagax* en la costa occidental de Baja California Sur, México, durante 2006-2008. Ciencia Pesquera. 18: 33-46.
- Morales-Nin, B. 1991. Determinación del crecimiento de peces óseos en base a la microestructura de los otolitos. FAO, No. 322, 58 p.
- Moser, H.G., R.L. Charter, P.E. Smith, D.A. Ambrose, S.R. Charter, C.A. Meyer, E.M. Sandknop & W. Watson. 1993. Distributional atlas of fish larvae and eggs in the California Current region: taxa with less than 1000 total larvae, 1951 through 1984. CalCOFI Atlas 32: 181.
- Palomares-García, R., A. Martínez-López, R. De Silva-Dávila, R. Funes-Rodríguez, M.A. Carballido-Carranza, R. Avendaño-Ibarra, A. Hinojosa-Medina & G.A. López-Ibarra. 2003. Biological effects of El Niño 1997-98 on a shallow subtropical ecosystem: Bahía Magdalena, Mexico. Geofísica internacional. 43: (3). 455-466.
- Pauly D. 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stocks. J. Cons. Int. Explor. Mer. 39(2): 175-192.

- Pauly, D. & L. Munro. 1984. Once more on growth comparison in fish and invertebrates. Fishbyte. 2:21
- Peterson, W. & F. B. Schwing. 2003. A new climate regime in northeast pacific ecosystems. Geophys. Res. Lett. 30:17.
- Plaistow, S.T., C.T. Lapsley, A.P. Beckerman & T.G. Benton. 2004. Age and size at maturity: Sex, environmental variability and developmental thresholds. The Royal Society. 271: 919-924.
- Quiñonez-Velázquez, C., R. Alvarado-Castillo, & R. Félix-Uraga R. 2002. Relación entre el crecimiento individual y la abundancia de la población de la sardina del Pacífico *Sardinops caeruleos* (Pisces: Clupeidae) (Girard 1856) en isla cedros, Baja California. México. Biología Marina y Oceanografía 37: 1-8.
- Ramírez-Pérez, J.S., C. Quiñonez-Velázquez, F.J. García-Rodríguez, R. Félix-Uraga & F.N. Melo-Barrera. 2010. Using the shape of sagita otoliths in the discrimination of phenotypic stocks in *Scomberomorus sierra* (Jordan y Starks, 1895). Journal of Fisheries and Aquatic Science, 5(2): 82-93.
- Rodríguez-Sánchez, R., D. Lluch-Belda, H. Villalobos & S. Ortega-García. 2002. Dynamic geography of small pelagic fish population in the California Current System on the regime time scale (1931-1997). Can J. Fish. Aquat. Sci. 59: 1980-1988.
- Smith, P.E. 1990. Monitoring interannual changes in spawning area of pacific sardine (*Sardinops sagax*). CalCOFI Rep. 31: 145-151.
- Sparre, P. & S.C. Venema. 1997. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual. FAO Documento Técnico de pesca N°. 306. 420 pp.
- Takahashi, M., & D. M. Checkley, Jr. 2008. Growth and survival of Pacific sardine (*Sardnops sagax*) in the California current region. J. Northw. Atl. Fish. Sci. 41: 129–136.

- Takasuka, A., Y. Ooseki & I. Aoki. 2007. Optimal growth temperature hypothesis: Why do anchovy flourish and sardine collapse or vice versa under the same ocean regime? Can. J. Fish Aquat. Sci. 64: 768-776.
- Wolf, P. 1992. Recovery of the Pacific sardine and the California sardine fishery. CalCOFI. Rep. 33: 76-86.
- Yatsu, A., T. Watanabe, M. Ishida, H. Sugisaki & L. D. Jacobson. 2005. Environmental effects on recruitment and productivity of Japanese sardine *Sardinops melanostictus* and chub mackerel *Scomber japonicus* with recommendations for management. Fish. Oceanogr. 14:4, 263-278.
- Zar, J.H. 1996. Biostatistical Analysis. Prentice Hall, New Jersey, 662 p.
- Zaytsev, O., R. Cervantes-Duarte, O. Sánchez-Montante & A. Gallegos-García. 2003. Coastal upwelling activity of the Pacific shelf of Baja California peninsula. J. Oceanogr. 59:489-502