



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

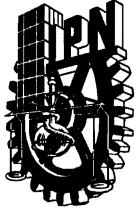


**ESTRUCTURA DE TALLAS Y EDADES DE LA  
SARDINA DEL PACÍFICO (*Sardinops sagax*)  
EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA  
CALIFORNIA SUR, MÉXICO**

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

**PRESENTA**  
**BIOL. CINTHIA KARELY GRIJALVA CALDERÓN**

**LA PAZ, B.C.S., DICIEMBRE DEL 2017**



**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 07 del mes de Noviembre del 2017 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:

**“ESTRUCTURA DE TALLAS Y EDADES DE LA SARDINA DEL PACÍFICO (*Sardinops sagax*)  
EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO”**

Presentada por el alumno:

**GRIJALVA**

Apellido paterno

**CALDERÓN**

materno

**CINTHIA KARELY**

nombre(s)

Con registro: 

A	1	6	0	9	7	9
---	---	---	---	---	---	---

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**

Director(a) de Tesis

**DR. CASIMIRO QUIÑONEZ VELÁZQUEZ**

**DR. VÍCTOR MANUEL GÓMEZ MUÑOZ**

**M en C. FELIPE GEROMELO BARRERA**

**DR. HÉCTOR VILLALOBOS ORTIZ**

**DR. JOSÉ LUIS CASTRO ORTIZ**

**PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES**

**DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO**



**I.P.N.  
CICIMAR  
DIRECCIÓN**



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

## CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 21 del mes de Noviembre del año 2017

El (la) que suscribe BIÓL. CINTHIA KARELY GRIJALVA CALDERÓN Alumno (a) del Programa

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro A160979 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DR. CASIMIRO QUIÑONEZ VELÁZQUEZ

y cede los derechos del trabajo titulado:

"ESTRUCTURA DE TALLAS Y EDADES DE LA SARDINA DEL PACÍFICO (*Sardinops sagax*)

EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO"

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: karely\_grijalva@hotmail.com - cquinone@ipn.mx

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

BIÓL. CINTHIA KARELY GRIJALVA CALDERÓN

Nombre y firma del alumno

## DEDICATORIA

*Quiero dedicar esta tesis a mis padres Isabel y Rito porque ellos han dado razón a mi vida, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, su paciencia, pero más que nada, por su amor, los amo.*

*A mis hermanos Abraham e Isabel por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.*

*A mis sobrinos Alexander y Ximena por darme momentos de alegría, los adoro pequeños.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) permitiéndome realizar esta investigación en sus instalaciones.*

*Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al programa de Fonación de Investigadores (PIFI) del IPN por el apoyo otorgado a través de las becas, para la realización de esta investigación.*

*Le doy gracias a mis compañeros del Laboratorio de Dinámica de Poblaciones y a mis amigos del CICIMAR por el apoyo, su ayuda, sus consejos, pero sobre todo por brindarme su amistad y hacerme pasar momentos muy agradables.*

*A mi director de tesis, el Dr. Casimiro Quiñonez Velázquez, por su apoyo, sus regaños, sus valiosos consejos y sobre todo por su paciencia brindada a lo largo de mi estancia.*

*A los miembros del comité: M.C. Felipe Neri Melo Barrera, Dr. Víctor Manuel Gómez Muñoz, Dr. José Luis Castro Ortiz, Dr. Héctor Villalobos Ortiz, Dr. Agustín Hernández Herrera, por los acertados comentarios y sugerencias que enriquecieron el presente trabajo.*

*A todos los profesores que me instruyeron y formaron a lo largo de la maestría, por la disposición, comprensión y paciencia mostrada.*

*¡Gracias por todo!*

## ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS .....	I
ÍNDICE DE TABLAS .....	IV
GLOSARIO.....	V
RESUMEN .....	VII
ABSTRACT .....	VIII
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
3. JUSTIFICACIÓN .....	11
4. OBJETIVOS .....	12
4.1. General .....	12
4.2. Específicos.....	12
5.1. MATERIALES Y MÉTODOS .....	13
5.1. Área de estudio .....	13
5.2. Muestreo .....	14
5.3. Estructura de la captura por stocks.....	15
5.4. Factores ambientales.....	15
5.4.1. Temperatura superficial del mar .....	15

5.4.2. Índice de surgencias .....	15
5.4.3. Índice de la oscilación decadal del Pacífico (PDO) .....	16
5.4.4. Oscilación del Sur “El Niño” (ONI) .....	16
5.5. Proporción sexual .....	16
5.6. Estructura de tallas .....	17
5.7. Determinación de edad .....	17
5.7.1. Precisión de las lecturas .....	17
5.7.2. Periodicidad de marcas .....	19
5.7.3. Indicador de la estructura de edad.....	19
5.8. Análisis secuencial (STARS).....	20
5.9. Relación entre las variables biológicas y las variables ambientales. ....	21
5.9.1. Análisis de coordenadas principales (ACoP) .....	22
6. RESULTADOS .....	24
6.1. Muestreos .....	24
6.2. Capturas .....	25
6.3. Proporción sexual .....	27
6.4. Estructura de tallas .....	29
6.5. Estructura de edad.....	31

6.6. Periodicidad de la formación de marcas de crecimiento .....	32
6.7. Precisión de lecturas de otolitos.....	33
6.8. Cambios interanuales en la estructura de talla y edad.....	34
6.9. Relación entre las variables biológicas y las variables ambientales .....	39
6.9.1. Análisis de Coordenadas Principales (ACoP) .....	44
7. DISCUSIÓN .....	51
7.1. Capturas .....	51
7.2. Estructura poblacional.....	54
7.3. Efecto del ambiente en los cambios de talla y edad .....	58
8. CONCLUSIONES.....	61
9. BIBLIOGRAFÍA .....	63
10. ANEXOS .....	79



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sardina del Pacífico ( <i>Sardinops sagax</i> ) (Jenyns, 1842).....	3
Figura 2. Sistema Bahía Magdalena-Bahía Almejas y Golfo de Ulloa, representan la zona de pesca de la flota sardinera con base en los puertos de San Carlos y Adolfo López Mateos en Bahía Magdalena, B.C.S. ....	13
Figura 3. Variación anual de la captura de la sardina del Pacífico en la costa occidental de B.C.S. Las barras representan la captura anual. La línea negra muestra los periodos detectados por STARS. La línea roja representa el acumulado de la anomalía del PDO. ....	26
Figura 4. Importancia relativa anual de la captura de sardina del Pacífico estructurada por stock. Las barras rojas representan el stock cálido y las verdes al stock templado. La línea negra representa el promedio de TSM.....	27
Figura 5. Proporción sexual por año de la captura de sardina del Pacífico en la costa occidental de B.C.S.; a) población no estructurada, b) stock templado, c) stock cálido. La línea discontinua representa una proporción igual al 50%, (*) Diferencias significativas respecto a 1H:1M. ....	28
Figura 6. Estructura de tallas de la captura de la sardina del Pacífico desembarcada en Bahía Magdalena B.C.S., de 1981 a 2015. La línea discontinua señala la talla mínima legal (150 mm LE) para la pesca.....	29
Figura 7. Estructura de tallas por stocks de la sardina del Pacífico, desembarcada en Bahía Magdalena, B.C.S., de 1981 a 2015. ....	30
Figura 8. Estructura de edad de la sardina del Pacífico, desembarcada en Bahía Magdalena, B.C.S de 1981 a 2015. ....	31
Figura 9. Estructura de edad por stock de la sardina del Pacífico, desembarcada en Bahía Magdalena B.C.S., de 1981 a 2015. ....	32

Figura 10. Porcentaje mensual de otolitos con borde opaco (barras) y organismos maduros (línea continua) de la sardina del Pacífico desembarcada en Bahía Magdalena, B.C.S.....33

Figura 11. Cambios interanuales de la talla y del indicador de la estructura de edad (ID) de la sardina del Pacífico, descargada en Bahía Magdalena, B.C.S., durante 1981 a 2015, para datos no estructurados. La línea gris representa la variación anual de la talla promedio, en rojo la variación del ID. La línea discontinua representa los periodos detectados por el análisis secuencial. ....35

Figura 12. Cambios interanuales de la talla y del indicador de la estructura de edad (ID) de la sardina del Pacífico, descargada en Bahía Magdalena, B.C.S., durante 1981 a 2015, para el stock templado. La línea gris representa la variación anual de la talla promedio, en rojo la variación del índice de diversidad. La línea discontinua representa los periodos detectados por el análisis secuencial. ....37

Figura 13. Cambios interanuales de la talla y del indicador de la estructura de edad (ID) de la sardina del Pacífico, descargada en Bahía Magdalena, B.C.S., durante 1981 a 2015, para el stock cálido. La línea gris representa la variación anual de la talla promedio, en rojo la variación del índice de diversidad. La línea discontinua representa los periodos detectados por el análisis secuencial. ....38

Figura 14. Tendencia de la correlación de Spearman entre la talla (LE), la edad (ID), la captura (CAP) y las variables ambientales: Temperatura superficial del mar (TSM), “El Niño” (ONI), índice de la oscilación decadal del Pacífico (PDO), surgencias (SURG). Datos no estructurados. En azul las correlaciones significativas. En rojo correlaciones no significativas. ....40

Figura 15. Tendencia de la correlación de Spearman entre la talla (LE), la edad (ID), la captura (CAP) y las variables ambientales: Temperatura superficial del mar (TSM), “El Niño” (ONI), índice de la oscilación decadal del Pacífico (PDO), surgencias (SURG). Stock templado. En azul las correlaciones significativas. En rojo correlaciones no significativas .....42

Figura 16. Tendencia de la correlación de Spearman entre la talla (LE), la edad (ID), la captura (CAP) y las variables ambientales: Temperatura superficial del mar (TSM), “El Niño” (ONI), índice de la oscilación decadal del Pacífico (PDO), surgencias (SURG). Stock cálido. En azul las correlaciones significativas. En rojo correlaciones no significativas .....44

Figura 17. ACoP para los datos no estructurados. En rojo los grupos de edad: E0 (edad 0), E1(edad 1), E2 (edad 2), E3 (Edad 3), E4 (edad 4), E5 (edad 5), E6 (edad 6). En azul las variables: talla (LE), la edad (ID), la captura (CAP) temperatura superficial del mar (TSM), “El Niño” (ONI), índice de la oscilación decadal del Pacífico (PDO), surgencias (SURG). Los números en negro representan los años analizados, de 1981 a 2015, representados en la figura con sus últimos dos dígitos .....46

Figura 18. ACoP para el stock templado. En rojo los grupos de edad: E0 (edad 0), E1(edad 1), E2 (edad 2), E3 (Edad 3), E4 (edad 4), E5 (edad 5), E6 (edad 6). En azul las variables: talla (LE), la edad (ID), la captura (CAP) temperatura superficial del mar (TSM), índice de la oscilación decadal del Pacífico (PDO), surgencias (SURG). Los números en negro representan los años analizados, de 1981 a 2015, representados en la figura con sus últimos dos dígitos .....48

Figura 19. ACoP para el stock cálido. En rojo los grupos de edad: E0 (edad 0), E1(edad 1), E2 (edad 2), E3 (Edad 3), E4 (edad 4), E5 (edad 5), E6 (edad 6). En azul las variables: talla (LE), la edad (ID), la captura (CAP) temperatura superficial del mar (TSM), índice de la oscilación decadal del Pacífico (PDO), surgencias (SURG). Los números en negro representan los años analizados, de 1981 a 2015, representados en la figura con sus últimos dos dígitos.....50

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Número de ejemplares de la sardina del Pacífico en la muestra biológica, recolectados de los desembarques en Bahía Magdalena, B.C.S., durante 1981 a 2015. ST: stock templado. SC: stock cálido .....	24
Tabla 2. Correlación de Spearman entre la talla, la edad (ID), la captura y las variables ambientales (Temperatura superficial del mar (TSM), “El Niño” (ONI), índice de la oscilación decadal del Pacífico (PDO), surgencias). Datos no estructurados. ....	39
Tabla 3. Correlación de Spearman entre la talla, la edad (ID), la captura y las variables ambientales (Temperatura superficial del mar (TSM), “El Niño” (ONI), índice de la oscilación decadal del Pacífico (PDO), surgencias). Stock templado. ....	41
Tabla 4. Correlación de Spearman entre la talla, la edad (ID), la captura y las variables ambientales (Temperatura superficial del mar (TSM), “El Niño” (ONI), índice de la oscilación decadal del Pacífico (PDO), surgencias). Stock cálido.....	43

## GLOSARIO

**Anomalías de temperatura-** Desviaciones con respecto a un promedio. En este trabajo se refiere a la serie de temperaturas anuales en el mar. Permiten establecer los periodos más cálidos o más fríos.

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

**“El Niño” Southern Oscillation (ENSO)** Es una perturbación del sistema acoplado océano – atmósfera en el Océano Pacífico Tropical que tiene importantes consecuencias en la circulación atmosférica global. Consiste en una interacción compleja entre el Océano Pacífico Tropical y la atmósfera. En este fenómeno la componente oceánica es “El Niño” y la atmosférica es la Oscilación del Sur.

**El Niño (ONI):** Es una serie de tiempo de las anomalías de la temperatura superficial marina calculadas a partir de mediciones in situ efectuadas en la región El Niño 3.4 (5 °N - 5 °S, 120 - 170 °O).

**Grupo de Edad:** Conjunto de peces con la misma edad y/o mismo número de marcas de crecimiento en sus estructuras duras.

**Marca de crecimiento:** Marca concéntrica formada por una banda opaca y una banda translúcida completamente depositada sobre una estructura dura que permite interpretar el crecimiento en términos de edad.

**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 *sagitta*.

**Pacific Decadal Oscillation (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 cálida y fría 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 a nivel del mar.

**Pelágicos:** Así se llama a los peces que viven en las capas superficiales del mar, los cuales limitan al máximo su contacto con la costa y el fondo marino. Los pelágicos menores son capaces de formar grandes cardúmenes y constituyen los principales recursos pesqueros en todo el mundo.

**Reclutamiento:** Desde el punto de vista pesquero, es la cantidad de individuos que cada año se agrega a la población explotada.

**Stock:** Una unidad de stock es un grupo de organismos que pueden tratarse independientemente, porque puede responder singularmente a la explotación o a las perturbaciones medioambientales. 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.

**Surgencias:** Movimientos ascendentes mediante los cuales las aguas de los niveles subsuperficiales son llevadas hasta la superficie, desde profundidades generalmente mayores de 100-200 metros, remplazando a la masa de agua superficial desplazada horizontalmente por acción de viento, produciéndose así una renovación de nutrientes en las aguas superficiales empobrecidas por el consumo biológico.

**Temperatura Superficial del Mar (TSM):** La TSM en el presente trabajo de tesis hace referencia a la temperatura radiométrica y no a la temperatura termodinámica de la capa superficial del océano. Esta temperatura puede ser medida mediante radiometría infrarroja, una de las técnicas de la teledetección que se realiza desde satélites.

## RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó el efecto del ambiente y de la pesca a través de los cambios en la estructura de tallas y edades de la población de sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*), en la costa occidental de B.C.S. Los datos biológicos y de captura provienen de la pesca de la flota sardinera, durante 1981 a 2015. Los cambios en la estructura poblacional se relacionaron con la temperatura superficial del mar (TSM), el índice de surgencias, “El Niño” (ONI), la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) y los rendimientos de la pesquería, empleando la correlación de Spearman. Como indicador de la heterogeneidad interanual de la estructura de edad se usó el índice Shannon Wiener (ID). Para identificar cambios significativos en el tiempo en la estructura de tallas y edades de la sardina se utilizó un análisis secuencial (STARS). Se obtuvo una representación gráfica de las correlaciones mediante el Análisis de Coordenadas Principales. La talla varió entre 85-235 mm y se detectó una disminución de la talla promedio ( $\overline{LE}$ ) y de los rendimientos de la pesquería asociados con “El Niño”. Se identificaron siete grupos de edad (0-6 años), predominado los grupos de edad 1 y 2. Se detectaron cambios en las estructuras de talla y edad (STARS,  $\overline{LE}$  1987, 1992, 2011, 2015, y para la edad (ID) 1988, 1992, 1996, 1999, 2011). Se detectaron relaciones significativas ( $p < 0.05$ ) directas entre la  $\overline{LE}$  e ID, y una relación inversa entre la captura y “El Niño”, el PDO y la TSM. Además, se detectaron correlaciones significativas entre la  $\overline{LE}$  a la edad 0 con los cambios en el ambiente con un año de retraso. Los resultados sugieren que la variabilidad ambiental influye en la dinámica poblacional de la sardina reflejándose en la captura y en la estructura de tallas y edades en la población.

### Palabras clave:

Población estructurada por stocks, cambios interanuales, Bahía Magdalena, Golfo de Ulloa.

## **ABSTRACT**

The effect of the environment and the fisheries on the size and age structure of the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) off the western coast of B.C.S. were evaluated. Biological and catch data from the sardine fishery during 1981 to 2015 were obtained. Changes in population structure were compared with sea surface temperature (SST), upwelling index, “El Niño” (ONI), the Pacific Decadal Oscillation (PDO), and fishery performance using Spearman’s correlation. The interannual heterogeneity in age structure was estimated using Shannon Wiener’s index (ID). A sequential analysis (STARS) was used to identify significant changes in size and age structure over time in Pacific sardine catches. A graphical representation of correlation was obtained using Principal Coordinates Analysis. The size ranged between 85 and 235 mm; decreases in average size ( $\overline{LE}$ ) and in fishery performance associated with “El Niño” were detected. Seven age groups between 0 and 6 years were identified; the 1 and 2 years age groups were dominant. STARS detected changes in both structures: in 1987, 1992, 2011, and 2015 for  $\overline{LE}$ , and in 1988, 1992, 1996, 1999, and 2011 for ID. There were direct significant relationships ( $p < 0.05$ ) between  $\overline{LE}$  and ID, and an inverse relationship between catches and “El Niño”, PDO, and SST. There were also significant correlations between  $\overline{LE}$  at age 0 and environmental changes, with a one year lag. Results suggest that environmental variability influences the population dynamics of Pacific sardine, which is reflected in the catches and in the size and age structure of the population.

### **Keywords:**

Population structured by stocks, interannual changes, Magdalena Bay, Gulf of Ulloa.



## 1. INTRODUCCIÓN

La actividad pesquera tiene repercusiones económicas, sociales y alimentarias. La pesca forma parte de una cadena productiva donde se generan empleos directos e indirectos, valor agregado, divisas y materia prima para otras industrias. La creciente demanda de alimento, consecuencia del aumento de la población humana, ha generado un incremento del esfuerzo pesquero y de las tasas de aprovechamiento de los recursos pesqueros, generalmente superiores a las que pueden soportar (Nevárez-Martínez *et. al.*, 2006).

El interés en el estudio de las poblaciones de pelágicos menores (sardinias, anchovetas, macarelas y arenques) y de sus pesquerías, se debe en parte a las grandes capturas que se obtienen de este grupo de peces (FAO, 2014). La principal característica que distingue a las poblaciones de estas especies es la amplia fluctuación en su abundancia al grado que algunas de sus pesquerías se han colapsado (Cushing, 1981).

La sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*) es una de las especies más importantes en el mundo por su contribución al ecosistema y a la pesca. Algunas características de esta especie en el Pacífico nororiental son: una distribución extensa, desde el Golfo de California hasta el Sureste de Alaska (COSEWIC, 2002; Smith, 2005); afinidad a el Sistema de la Corriente de California (SCC) (Félix-Uraga, 2006); y presenta grandes fluctuaciones en abundancia, las cuales se han asociado con cambios en el ambiente (Lluch-Belda *et. al.*, 1991; Chávez *et. al.*, 2003), a la presión de pesca y a la gran variación interanual del reclutamiento (Radovich, 1982; Quiñonez-Velázquez *et. al.*, 2002). Algunos estudios reportaron que tanto los factores dependientes de la densidad, como los factores ambientales son importantes para el éxito del reclutamiento (Quiñonez-Velázquez *et. al.*, 2002; Chávez *et. al.*, 2003; Zwolinski & Demer, 2012).

El crecimiento individual 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). La mayoría de los trabajos han relacionado estas variaciones con el efecto denso-dependiente de la población (Gudiño-González, 2001; Quiñonez-Velázquez *et. al.*, 2002), y con la temperatura superficial del mar (TSM) (González-Ochoa *et. al.*, 2004).

Por otro lado, la determinación de la edad y la tasa de crecimiento en peces son aspectos poblacionales básicos en el manejo de los recursos, son primordiales en las decisiones para el manejo racional de las pesquerías, puesto que proporcionan información sobre la composición del stock, ciclo de vida, edad de primera madurez, rendimiento óptimo, entre otras (Tesch, 1971; Ehrhardt, 1981).

A la fecha, existe una abundante literatura sobre la sardina del Pacífico en el SCC, la mayor parte enfocada en analizar los cambios en abundancia y distribución asociados con el ambiente (Holt, 1959; MacCall, 1979; Félix-Uraga *et. al.*, 1996; Quiñonez-Velázquez *et. al.*, 2002; Chávez *et. al.*, 2003; Félix-Uraga *et. al.*, 2004; 2005; Félix-Uraga, 2006, Hill *et. al.*, 2006; Zwolinski *et. al.*, 2011; Demer *et. al.*, 2012; Zwolinski & Demer, 2012; Félix-Uraga, 2015; Valencia-Gasti *et. al.*, 2015). Los cambios en la dinámica poblacional de esta especie se traducen en importantes fluctuaciones en la estructura de tallas, edades y biomasa (Chávez *et. al.*, 2003; Gluyas-Millán & Quiñonez-Velázquez, 2010).

Por lo tanto y con base en lo anterior, la finalidad de esta investigación fue evaluar la relación de los cambios en la estructura de tallas y edades de la sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*) en la costa occidental de B.C.S., con los cambios en las capturas de la pesquería y del ambiente (TSM, PDO, “El Niño”, índice de surgencias), considerando tanto una sola población como estructurada por stocks, durante el periodo 1981 a 2015.

## 2. ANTECEDENTES

La pesquería de la sardina del Pacífico (*S. sagax*) (Fig. 1) inició a principios de 1900 en las costas de Monterey, California, E.U.A., alcanzando un máximo de 700,000 t durante la temporada 1936-1937, y 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 durante 1958-1959 con 115,000 t, posteriormente el rendimiento de la pesquería declinó drásticamente obligando a establecer una moratoria a la pesca a partir de 1967 (Wolf, 1992).

Al inicio de la pesquería de sardina en California, se capturaban individuos de hasta once años y 270 mm de longitud estándar (LE), aunque predominaban los de dos a cuatro años, con tallas entre 196-235 mm (Clark & Marr, 1955).

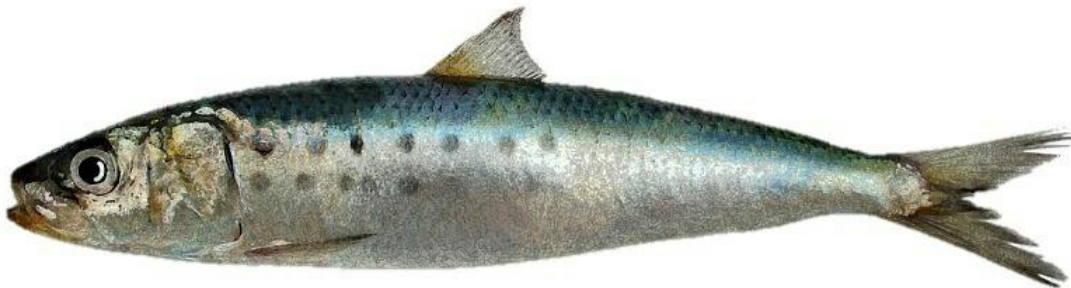


Figura 1. Sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*) (Jenyns, 1842).

En México, la pesquería de sardina inició en Ensenada, Baja California en 1929, registrándose niveles de captura bajos, debido a la poca demanda y escasa capacidad de acarreo de la flota. A mediados de la década de 40's, ocurrió un desplome en los rendimientos de la pesquería en California (Arenas *et. al.*, 1996), como consecuencia de cambios bruscos en el ambiente y la aplicación de un esfuerzo de pesca excesivo, provocando con ello una crisis económica severa en la industria estadounidense. Este desplome en los rendimientos repercutió en las costas mexicanas, lo cual ocasionó la

desaparición de la pesquería, con excepción en Isla de Cedros y Bahía Magdalena, B.C.S. (Félix-Uraga, 1986; Cisneros-Mata *et. al.*, 1995).

Debido a las pobres capturas reportadas por la flota de Ensenada y al descubrimiento de otras zonas de pesca al sur de la península, parte de la flota pesquera fue desplazada hacia las aguas del Golfo de California, sentando así las bases de lo que hoy es la pesquería de sardina más importante del Pacífico nororiental, cuyos puertos base se ubican en Guaymas y Yavaros, Sonora, donde se ha asentado una flota numerosa y una planta industrial muy importante (Lluch *et. al.*, 1986).

La pesquería de pelágicos en B.C.S. inició alrededor de 1960, pero se comenzaron a obtener registros fiables a partir de 1981, las capturas eran marginales y poco frecuentes previo a ese año. La zona de pesca, hasta el año 2000, básicamente era el interior del Sistema Lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas; posteriormente la flota amplió su zona de pesca hasta el norte del Golfo de Ulloa. Las especies más importantes en la captura son: la sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*), la sardina crinuda (*Ophistomena libertate*), la anchoveta (*Cetengraulis mysticetus*), la macarela (*Scomber japonicus*), y la japonesa (*Etrumeus teres*) (Quiñónez-Velázquez & Grijalva-Calderón, en prensa).

La captura total de pelágicos menores y particularmente la de la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena, se incrementó de 12,000 t en 1981-1982 a 47,500 t en 2002, con una disminución importante durante los eventos de “El Niño”, particularmente de 1997-1998, con niveles de capturas menores a las 3,000 t (Quiñónez-Velázquez *et. al.*, 2000). En el periodo del 2000-2012, se capturó un promedio de 43,869 t anuales, con un mínimo de 23,578 t en 2010 y un máximo de 57,078 t en 2006 (Félix-Uraga, 2015), sin embargo, las capturas disminuyeron a 27,000 t en el 2015 a consecuencia de “El Niño” (Quiñónez-Velázquez & Grijalva-Calderón, en prensa).

En la costa occidental de la península de Baja California Sur se registraron reclutamientos importantes de la sardina del Pacífico en 1984, 1993 y 1999, después de los eventos “El Niño” de 1983-1984, 1992-1993, y 1997-1998 (Félix-Uraga, 2006), y en consecuencia la talla promedio y la edad de la sardina presentaron anomalías negativas. En el 2004 se registró el reclutamiento más fuerte en la historia de la pesquería de Bahía Magdalena, por lo que las capturas en los años 2006-2007 se incrementaron a más de 56,000 t anuales. En el 2008 se registró otro reclutamiento elevado que mantuvo la captura anual promedio por encima de 40,600 t en los años 2009-2012 (Félix-Uraga, 2015);

En la zona de pesca de jurisdicción mexicana, la talla mínima de captura de la sardina del Pacífico es de 150 mm de LE. Además, se ha establecido que el esfuerzo pesquero para la captura de todas las especies de sardina, anchoveta y macarela, no podrá incrementarse en las aguas de jurisdicción federal del Océano Pacífico comprendidas al norte del paralelo de los 20° de latitud Norte, incluido el Golfo de California (NOM-003-PESC-1993), sin embargo, el Plan de Manejo para la Pesquería de Pelágicos Menores del Noroeste de México en 2012 propone una modificación a la norma, permitiendo hasta un 30% de organismos por debajo de esta talla por temporada.

Se conoce que la población de la sardina del Pacífico en el SCC está constituida por distintos stocks, lo cual ha sido apoyado por la presencia de varias áreas de desove separadas geográficamente (Marr, 1960; Parrish *et. al.*, 1989; Smith, 2005), por información de marcado y recaptura (Clark & Janssen, 1945), conteo de vértebras (Clark, 1947; Wisner, 1960), grupos sanguíneos (Sprague & Vrooman, 1962; Vrooman, 1964), datos morfométricos (Wolf & Daugherty, 1964; De La Cruz-Agüero & García-Rodríguez, 2004; Félix-Uraga *et. al.*, 2005) y análisis genéticos (Hedgecock *et. al.*, 1989; Lecomte *et. al.*, 2004; Gutiérrez-Flores, 2007; García-Rodríguez *et. al.*, 2011).

Una de las hipótesis más aceptadas sobre la estructura de la población de sardina a lo largo del SCC (Smith, 2005) fue propuesta por Félix-Uraga *et. al.* (2004) quienes establecieron un modelo conceptual de distribución con base en datos de captura y la TSM, concluyendo que desde el sur de California hasta Bahía Magdalena existen tres stocks separados por barreras térmicas.

Así, se sugirió la existencia del stock frío que habita en la zona de California (al norte de los 32° N; entre 13-17°C de temperatura), un stock templado a lo largo de la Península de Baja California (entre 32-24° N y 17-22°C) y stock cálido al sur de la península de Baja California (al sur de 23° N; > 22 °C) y el Golfo de California.

Según este modelo, durante el invierno los tres stocks se desplazan hacia el sur, coincidiendo con la intensificación del flujo de la corriente de California. Esta época del año es un periodo de transición, debido a que el stock cálido sale de Bahía Magdalena, y el stock templado entra. En primavera, con la plena influencia de la corriente de California, todos los stocks alcanzan su distribución más sureña, por tal motivo, el stock templado se posiciona en la costa occidental de B.C.S., y el stock cálido en el Golfo de California. 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, al igual que en invierno, es una época de transición, debido a que el stock cálido entra a Bahía Magdalena y el templado sale. En otoño, con la influencia plena de la contra corriente norecuatorial, los tres stocks alcanzan su distribución más norteña, en esta época del año, el stock cálido es el que se encuentra en la costa occidental de B.C.S. (Félix-Uraga *et. al.*, 2004, 2005; Félix-Uraga, 2006).

*S. sagax* presenta hábitos alimentarios omnívoros y su dieta se basa principalmente en copépodos, huevos de peces y diatomeas (McFarlane *et. al.*, 2005). Suele habitar zonas costeras de alta productividad biológica (López-Martínez *et. al.*, 1999), y el crecimiento individual de esta especie es acelerado, alcanzando más del 70% de su longitud asintótica ( $L_{\infty}$ ) en el primer año de vida (Félix-Uraga, 1990;

Quiñónez-Velázquez *et. al.*, 2002). Estos organismos pueden alcanzar, al norte de su distribución, una talla de hasta 41 cm y una edad de 14 años; sin embargo, rara vez sobrepasan los 30 cm y los 5 años, debido a la presión de depredadores y a la actividad pesquera (Hill *et. al.*, 2006). A pesar de lo anterior, y de manera general, se ha establecido que la sardina del Pacífico tiene un ciclo de vida corto.

Las tasas de crecimiento durante la fase temprana del desarrollo están relacionadas con la supervivencia y reclutamiento de los peces juveniles a la población explotada (Takahashi & Checkley, 2008). A bajos niveles de biomasa, la sardina madura al primer año mientras que a altos niveles de biomasa la edad de primera madurez se incrementa (MacCall, 1979). Aunque existe evidencia que la sardina desove durante todo el año, la mayor actividad reproductiva se presenta de febrero a agosto entre San Francisco, California y Bahía Magdalena; y de enero a abril en el Golfo de California (Allen *et. al.*, 1990). En Bahía Magdalena se recolectan organismos maduros durante todo el año, aunque el mayor porcentaje se presenta en febrero-abril (Félix-Uraga, 1986; García-Alberto, 2010). La reproducción de la sardina del Pacífico en el Golfo de California ocurre de diciembre a abril con un pico en enero-febrero (Wong, 1973).

En la costa occidental de B.C.S., la sardina del Pacífico presenta tasas anuales de crecimiento ( $k$ ) de 0.99 a 1.19 (Félix-Uraga, 1990). 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 estimaciones con los reportados en la literatura para las costas de Canadá, E.U.A. y Baja California, México, observando una gran variación latitudinal en los valores de los parámetros de crecimiento. Los valores más pequeños de  $L_{\infty}$  fueron para sardinias del Golfo de California lo cual interpretaron como una consecuencia de los cambios en el medio ambiente.

Gudiño-González (2001) analizó la variabilidad del crecimiento de la sardina del Pacífico en Isla de Cedros, durante 1985-1986, sugirió que los cambios en la talla al primer año de vida eran consecuencia de la abundancia de la población. 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, de 1981 a 1996; encontrando una relación inversa entre el tamaño de la clase anual y la tasa de crecimiento, aunque 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.

La sardina del Pacífico en el SCC presenta un gradiente latitudinal en el crecimiento individual, alcanzando en la parte norte de su distribución tallas más grandes que en la parte sur, mientras que la tasa de crecimiento tiende a aumentar de norte a sur (Clark, 1931; Torres-Villegas *et. al.*, 1995; García-Franco *et. al.*, 2001; Emmett *et. al.*, 2005). Por otro lado, la variabilidad ambiental es reconocida como un componente importante en los cambios observados en la abundancia de las poblaciones y en la estructura de los ecosistemas marinos (Harley *et. al.*, 2006).

Las estimaciones de la concentración de clorofila-*a* (*chl-a*) y de la TSM son muy importantes en oceanografía biológica y pesquera, ya que éstas variables son referencia obligada en estudios orientados al entendimiento de las fluctuaciones de las poblaciones y su efecto en la estructura del ecosistema. La primera es considerada como un indicador grueso de la abundancia del fitoplancton (Lluch-Cota, 2002), mientras que la segunda ha sido considerada como una variable importante para el pronóstico del reclutamiento, la supervivencia larval las capturas y los cambios espacio-temporales en la distribución de especies (Lluch-Belda *et. al.*, 1991).

Zwolinski *et. al.* (2011), realizaron un análisis para predecir el hábitat de desove en el SCC del stock norteño de *S. sagax* utilizando datos de presencia ausencia de huevos, capturas comerciales y variables oceanográficas. Reportaron que los huevos se distribuyeron principalmente en temperaturas de 11.5 a 15.5 °C y a concentraciones



de *Cl-a* de 0.18 a 3.2 mg/m<sup>3</sup>. Las temperaturas < 11.5 °C en conjunto con *Cl-a* mayores de 3.2 mg/m<sup>3</sup> definen sus límites de distribución. En aguas fuera de la costa, los huevos de sardina se restringen a aguas más cálidas, con temperaturas superiores a 15.5 °C y 0.18 mg/m<sup>3</sup> de concentración de *Cl-a*. El modelo también indicó que el máximo probable de presencia de sardina adulta ocurre a 13.5 °C de TSM y a una concentración de *Cl-a* de 0.5 mg/m<sup>3</sup>.

Las poblaciones biológicas se encuentran sujetas a diversas escalas de variación ambiental. Más allá de las variaciones interanuales, la escala asociada con “El Niño” es la más importante respecto a los cambios que introduce al promedio de variación en la TSM. Los cambios de la TSM en el Océano Pacífico nororiental que ocurren en periodos aproximados de 3 a 7 años, han sido identificados en su conjunto como parte del evento de “El Niño” (Parés-Sierra *et. al.*, 1997).

Generalmente “El Niño” es reconocido como un evento de latitudes bajas, sin embargo, se ha demostrado que contribuye de manera significativa a la energía total del margen nororiental del océano Pacífico. Seguido de un periodo de restauración de condiciones normales en transición a un periodo de anomalías negativas de salinidad y temperatura, asociadas con el fenómeno “La Niña” (Lluch *et. al.*, 1986; Zwolinski & Demer, 2012; Valencia-Gasti *et. al.*, 2015).

“El Niño” afecta la producción primaria y la disponibilidad de alimento, agregaciones de especies, reproducción y dispersión larval, barreras fisiológicas extremas a la migración y cambios en la composición e interacción de especies. En el ecosistema del SCC, “El Niño” causa principalmente una reducción en los vientos favorables para las surgencias y produce un hundimiento de la capa de mezcla, reduciéndose el aporte de nutrientes hacia las capas superficiales y por ende una biomasa de plancton baja (Kahru & Mitchell, 2000; Bograd & Lynn, 2001), alterando la distribución de numerosas especies de peces, aves y mamíferos marinos (Sette & Isaacs, 1960; Wooster & Fluharty, 1985; Chávez *et. al.*, 2002).

Otro factor que influye sobre la dinámica poblacional de la sardina es el índice de Oscilación Decadal del Pacífico (PDO por sus siglas en inglés), ha sido descrito como un índice que representa la variabilidad en el Pacífico Norte generada por el balance entre los centros de baja y alta presión atmosférica. Las fluctuaciones en el PDO se han asociado con variaciones en salinidad, nutrientes y *Cl-a*, con consecuencias en todos los niveles tróficos. Este fenómeno tiene una variabilidad decadal y se ha asociado con los cambios de régimen (Mantua *et al.*, 1977; Mantua & Hare, 2002).

El cambio de régimen se representa con una fase negativa y otra positiva, cada una tiene una duración entre 25 y 30 años. Por ejemplo, en la fase fría del cambio régimen predominan los valores negativos de las anomalías del PDO. Durante el régimen negativo la TSM en la costa del Golfo de Alaska y el SCC tiende a ser fría, mientras que durante el régimen positivo la temperatura se vuelve cálida (Mantua *et al.*, 1997). La fase cálida se asocia con la intensificación del centro de baja presión de las Aleutianas y un debilitamiento del flujo del SCC hacia el ecuador. También se observa un debilitamiento de los vientos favorables para surgencias, y un aumento anómalo de la TSM y del nivel del mar (Zwolinski *et al.*, 2011; Valencia-Gasti *et al.*, 2015).

La población de la sardina del Pacífico experimenta fuertes cambios de abundancia asociados a los cambios de régimen (Lluch-Belda *et al.*, 1991; Chávez *et al.*, 2003; Rodríguez-Sánchez *et al.*, 2002; Valencia-Gasti *et al.*, 2015). Durante la fase cálida del régimen su abundancia se incrementa y su distribución va desde el sureste de Alaska (57°N) hasta el sur de la península de Baja California, incluyendo el Golfo de California. Por el contrario, durante la fase fría la abundancia de la población disminuye y su distribución se restringe desde el sur de California al Golfo de California (Radovich, 1982; Chávez *et al.*, 2003).

### 3. JUSTIFICACIÓN

Fundado en los estudios realizados sobre los cambios en abundancia de la sardina del Pacífico en el SCC, se prevé un colapso en la abundancia poblacional de este recurso en el mediano plazo (5-10 años) en toda su área de distribución donde posiblemente solo prevelezcan las pesquerías más sureñas como Bahía Magdalena y el Golfo de California (Zwolinski & Demer, 2012; Saldívar-Lucio *et. al.*, 2015).

Después del colapso de la sardina del Pacífico en California, E.U.A, en el siglo pasado, se han realizado numerosos trabajos sobre las potenciales causas ecológicas que lo generaron, también, se comenzó a investigar de manera más profunda la dinámica poblacional de la sardina, ya que este conocimiento es pieza clave para la formulación de programas adecuados de manejo de sus pesquerías, de esa manera evitar la sobrepesca y un recurrente posible colapso.

La variabilidad de las poblaciones de peces pelágicos, especialmente de la sardina del Pacífico, no depende únicamente de las variaciones en los niveles de captura, también los cambios en el ambiente representan una gran influencia sobre estas poblaciones. Estos recursos, son altamente imprevisibles y de difícil manejo debido a su fuerte dependencia del ambiente. Por tal razón, es difícil predecir las respuestas biológicas ante cambios en el ecosistema. Por lo tanto, es necesario conocer el efecto de la variabilidad ambiental sobre la dinámica poblacional de la sardina del Pacífico, ya que esto genera modificaciones sobre la distribución y abundancia de la especie, reflejándose principalmente en la estructura de tallas y edades.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. General**

Evaluar el efecto del ambiente en los cambios en la captura, talla y edad de la sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*) en la costa occidental de B.C.S., considerando tanto una sola población como estructurada por stocks, durante 1981 a 2015.

### **4.2. Específicos**

- Analizar los cambios interanuales de la estructura de talla y de edad de la sardina del Pacífico en la costa occidental de B.C.S., con un enfoque de una población estructurada y no estructurada.
- Evaluar el efecto del ambiente en los cambios del rendimiento de la pesquería (captura), de la talla y edad de la sardina del Pacífico en la costa occidental de B.C.S., con un enfoque de una población estructurada y no estructurada.

## 5.1. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Área de estudio

La pesquería de pelágicos menores en la costa occidental de B.C.S. se desarrolla al interior del Sistema Bahía Magdalena-Bahía Almejas hasta el norte del Golfo de Ulloa, con base en los puertos de San Carlos y Adolfo López Mateos en Bahía Magdalena (Fig. 2).

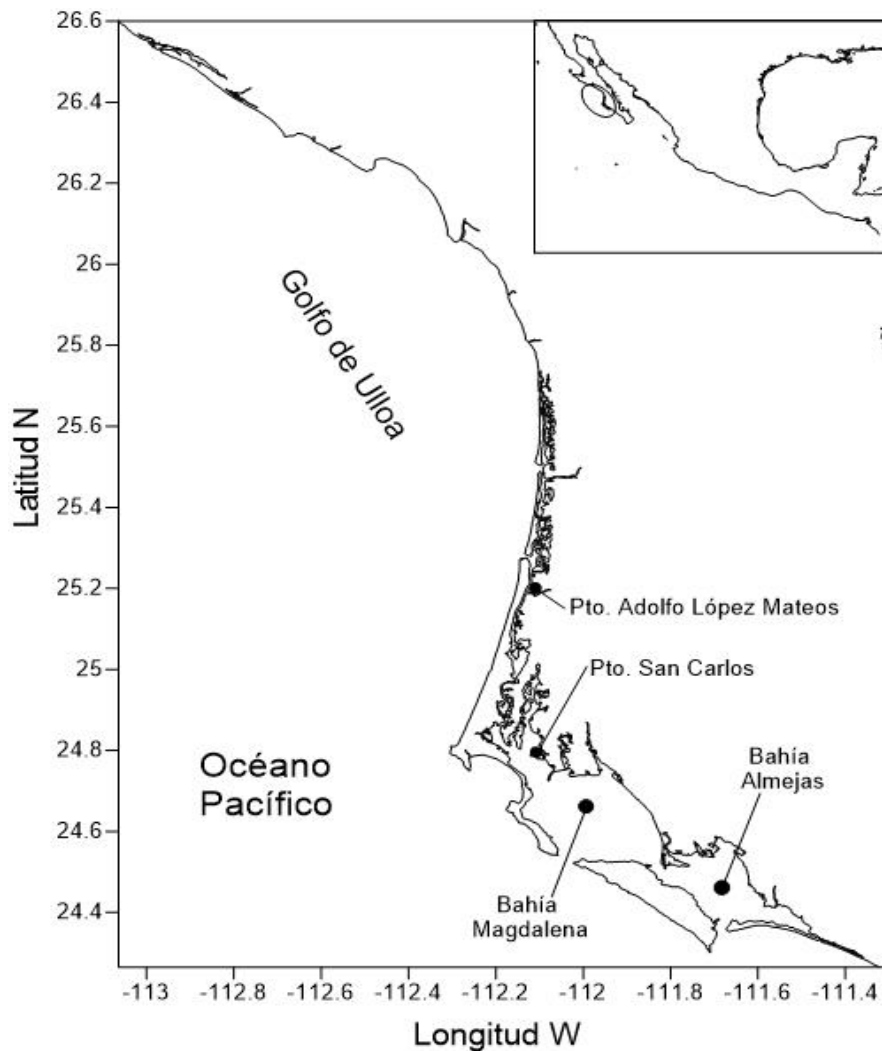


Figura 2. Sistema Bahía Magdalena-Bahía Almejas y Golfo de Ulloa, representan la zona de pesca de la flota sardinera con base en los puertos de San Carlos y Adolfo López Mateos en Bahía Magdalena, B.C.S.

El sistema Bahía Magdalena-Bahía Almejas se localiza en la costa oeste de B.C.S., entre los 24.3°15'-25°20' N y entre 112°30'-112°12' W. Este sistema lagunar (~1500 km<sup>2</sup>) altamente productivo que depende del abastecimiento de nutrientes de las aguas oceánicas circundantes. No obstante, durante el reflujo aporta elevadas concentraciones de material orgánico y fitoplancton hacia el océano adyacente. La dinámica de zona está bajo la influencia del SCC y la presencia estacional de procesos de surgencias favorece una elevada productividad biológica.

Al Golfo de Ulloa (25°-26° N/112°-113° W, ~10,000 km<sup>2</sup>) se le considera como una zona de transición templado-tropical, ya que en ella convergen las masas de agua del Norte, Central y Tropical del Océano Pacífico Oriental, además, de que las condiciones ambientales en esta zona de transición están fuertemente influenciadas por el SCC que aporta aguas con temperatura y salinidad bajas (<18° C y 34.4) y alta concentración de nutrientes (Hernández-Trujillo *et. al.*, 2004).

## **5.2. Muestreo**

Los datos para esta investigación provienen de la base de datos del programa sardina (CICIMAR-Laboratorio Dinámica de Poblaciones) que incluye información desde 1981 a la fecha. La base de datos se alimenta con muestreos mensuales de la captura de pelágicos menores en la costa occidental de B.C.S.

En cada muestreo, se recolectaron al azar aproximadamente 100 individuos de la banda de desembarque o directamente de la bodega del barco (muestreo masivo), a los cuales se les mide la LE y su frecuencia de aparición se agrupa en intervalos de 5 mm de LE. De cada intervalo, se eligen al azar hasta cinco peces para integrar la muestra biológica, a estas sardinas se les registra la LE ( $\pm 1$  mm), el peso total (PT  $\pm 1$  g), se les extrae el par de otolitos *sagitta* para determinar la edad, se les determina el sexo y el estadio de madurez, mediante apreciación visual de las gónadas con base en la escala propuesta por Holden & Raitt (1975).

### **5.3. Estructura de la captura por stocks**

Las capturas se agruparon por stocks (templado y cálido), con base en el planteamiento propuesto por Félix-Uraga *et. al.* (2004), de este modo las capturas que se realizaron entre 18-22 °C formaron parte del stock templado, mientras que las superiores a 22 °C al stock cálido.

### **5.4. Factores ambientales**

#### **5.4.1. Temperatura superficial del mar**

Los datos de la TSM fueron promedios mensuales obtenidos de los sensores remotos, *Pathfinder*, 0.0417° (1981-2001) y *Aqua MODIS*, 0.0125° (2002-2015, (<http://coastwatch.pfel.noaa.gov/erddap>). Se obtuvieron datos para Bahía Magdalena (24.2-25.2° N y 112.5-113.5° W) de 1981 a 2015 y del Golfo de Ulloa (25.22-26.27° N y 112.5-113.5° W) de 2000 a 2015. Se evaluaron las diferencias de la TSM entre zonas/años/meses mediante pruebas de Kruskal-Wallis, y al no encontrar diferencias significativas se obtuvo un promedio de ambas zonas para el periodo 2000-2015.

#### **5.4.2. Índice de surgencias**

El índice de surgencia fue obtenido de la base de datos de *la National Oceanic And Atmospheric Administration* (NOAA): <http://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/erdUI24mo.graph>. Fueron promedios mensuales obtenido del sensor remoto *Upwelling Index*. El índice se calcula en cuadrantes de 3°, la zona de donde se obtuvieron los datos fue 24-27° N-113-117° W, dados en m<sup>3</sup>/s/100 m costa, por lo que abarca la zona de Bahía Magdalena y el Golfo de Ulloa.

### **5.4.3. Índice de la oscilación decadal del Pacífico (PDO)**

Los datos del PDO se obtuvieron del sitio de internet de *Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean* (<http://research.jisao.washington.edu/pdo>), los cuales corresponden a promedios mensuales de 1950 a 2015.

### **5.4.4. Oscilación del Sur “El Niño” (ONI)**

Los datos de “El Niño” fueron obtenidos de la página de la NOAA ([http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)). Los cuales corresponden al índice de oscilación de “El Niño” (ONI), que es definido como el promedio trimestral de las desviaciones de TSM del estado normal en la región de “El Niño” 3.4 (5° S–5° N, 170° W–120° W).

## **5.5. Proporción sexual**

La proporción sexual de la sardina del Pacífico se calculó por año y por stock. Se aplicó la prueba de ji cuadrada ( $\chi^2$ ) para evaluar las diferencias respecto de la proporción teórica 1M:1H (Zar, 1996).

Los tamaños de muestra por año presentaron una gran variación (183 a 1,332 organismos, solamente en tres años el  $n$  fue inferior a 300 organismos), la  $\chi^2$  es muy sensible al número de datos ( $n$ ) y para reducir el sesgo interanual debido al tamaño de muestra se estandarizó a un  $n = 300$ , se mantuvo la proporción sexual original. Para evaluar esto último, se realizaron 100 remuestreos al azar ( $n = 300$ ) del total de datos ( $n = 20,673$ ) y se evaluó la proporción sexual respecto a la proporción teórica, esperando un mayor número de casos con resultados no significativos. De los 100 remuestreos realizados en el 83% las diferencias no fueron significativas respecto a la proporción teórica, sugiriendo que mantener la proporción sexual original con el tamaño estándar de muestra no sesga las comparaciones.



## **5.6. Estructura de tallas**

Se evaluó la normalidad de los datos, utilizando la prueba de Anderson-Darling. Esta prueba supone una modificación del test de Cramer-von Mises, que se basa en la diferencia de cuadrados entre las distribuciones, pero, en su caso, otorga una mayor relevancia a los datos existentes en las colas de la distribución (Farrel & Rogers-Stewart, 2006). Así, diferentes autores han señalado esta prueba como la más potente estadísticamente (Arshad *et. al.*, 2003).

Para analizar los cambios en la estructura de tallas de la captura de *S. sagax* se utilizó la LE, debido a que presenta menor variación que la longitud total y ha sido frecuentemente utilizada en otros estudios, lo que permite hacer comparaciones. La estructura de tallas se analizó agrupando la LE en intervalos de 10 mm, de manera general y estructurada por stocks. Para evaluar las diferencias en longitud por sexos y por stocks, se empleó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney contenida en el software Statistica 7.

## **5.7. Determinación de edad**

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 las bandas opacas se observaron blancas y las translúcidas oscuras. El conjunto de una banda opaca y una translúcida conforman una marca de crecimiento. En este trabajo la estimación de la edad se asignó contando el número de bandas translúcidas (Quiñonez-Velázquez *et. al.*, 2002). Los otolitos fueron leídos por dos personas en forma independiente.

### **5.7.1. Precisión de las lecturas**

Para realizar la evaluación de la precisión de las lecturas de las marcas de crecimiento entre lectores se relevaron las muestras de 2013 y 2014. Las lecturas se compararon por medio del método de porcentaje de acuerdo (PA) (Cailliet & Goldman,

2004), el cual se utiliza para evaluar el porcentaje de concordancia entre lectores, mediante la fórmula:

$$PA = \frac{LI}{TL} \times 100$$

Donde:  $LI$  = Número de lecturas iguales,  $TL$  = Total de lecturas realizadas para cada otolito.

Para verificar la precisión de las lecturas por lector y entre lectores, se calculó el Índice de Porcentaje de Error Promedio (IAPE, por sus siglas en inglés) (Beamish & Fournier, 1981), que evalúa la diferencia de las lecturas entre lectores y el Coeficiente Variación (CV) (Chang, 1982), expresado como la proporción del promedio y de la desviación estándar, respectivamente.

$$IAPE_j = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left[ \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|X_{ij} - X_j|}{X_j} \right] \times 100 \quad CV = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left[ \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij} - X_j)^2}{R - 1}}}{X_j} \right] \times 100$$

Donde:  $N$  = número de peces cuya edad ha sido determinada,  $R$  = número de lecturas por otolito,  $X_{ij}$  = la  $i$ -ésima lectura del  $j$ -ésimo otolito,  $X_j$  = promedio de marcas de crecimiento para el  $j$ -ésimo otolito.

Los índices IAPE y CV, proveen una medida directa de la consistencia en el conteo y entre más pequeño ( $< 10\%$ ) sea el valor de cada índice, existe mayor reproducibilidad y precisión en las lecturas.

### 5.7.2. Periodicidad de marcas

Los trabajos de estimación de edad basados en lecturas de otolitos requieren de pruebas que validen la periodicidad asignada a la formación de las bandas de crecimiento. Quiñonez-Velázquez *et. al.* (2002) reportan que la sardina del Pacífico de Isla de Cedros, B.C.S., deposita cada año una zona opaca y una zona translúcida, el mismo patrón estacional ha sido validado para la sardina del Pacífico en el sur de California (Barnes & Foreman, 1994).

Para validar la naturaleza temporal de la formación de las bandas de crecimiento de la sardina del Pacífico que se descarga en Bahía Magdalena, se graficó de manera general (todos los grupos de edad) el porcentaje de otolitos con margen opaco. Esto con el fin de determinar si se presenta el mismo patrón estacional con lo antes reportado.

### 5.7.3. Indicador de la estructura de edad

Con la finalidad de analizar los cambios en la estructura de edad en la captura de la sardina del Pacífico, se utilizó el índice de diversidad (ID) de Shannon- Wiener (Shannon, 1948), este índice ha sido utilizado para conocer la importancia del stock reproductor (número de grupos de edad) sobre los reclutas (stock-reclutamiento), en el cual se mostró que una mayor estructura de edades ( $> ID$ ) tiene un efecto significativo en el tamaño de la clase anual (Marteinsdottir & Thorarinsson, 1998; Houde, 2008).

En este trabajo, se empleó este índice para describir el número de grupos de edad presentes anualmente y la importancia relativa de estos grupos. El índice se define como:

$$ID = \sum_{j=1}^S P_j \ln P_j \quad P_j = \frac{n_j}{N}$$

Donde:  $S$  es el número de grupos de edad,  $P_j$  la importancia relativa (peces por edad),  $n_i$  el número de individuos por grupo de edad,  $N$  el número de todos los individuos de todos los grupos de edad.

### **5.8. Análisis secuencial (STARS)**

Para identificar temporalmente los cambios en las variables biológicas y físicas, se aplicó un análisis secuencial (STARS, <http://www.beringclimate.noaa.gov/regimes/>), desarrollado por Rodionov (2004). STARS utiliza un algoritmo secuencial para detectar los cambios en una serie de tiempo y emplea la prueba *t-Student* para evaluar si los cambios son estadísticamente significativos respecto a los valores medios observados durante un periodo con una duración determinada. La variación en el nivel de confianza de un cambio se refleja en el valor del índice de cambio ( $IC$ ), que representa la suma acumulada de las anomalías normalizadas. Los resultados se determinan por la longitud de corte ( $l$ ), y el parámetro de peso Huber ( $H$ ).

Para seleccionar las longitudes de corte, se consideraron los cambios de la TSM asociados a “El Niño” que ocurren en periodos aproximados de 3 a 7 años, se probaron diferentes longitudes de corte, pero las que más explicaron fueron; en el caso de la estructura de tallas y edades fue una  $l = 3$  y un  $H = 0.1$  y para las capturas  $l = 5$  y un  $H = 0.1$ .

STARS se desempeña de la siguiente manera: supongamos que los valores de  $x_1, \dots, x_i$  representan una serie de tiempo, a la cual se le añaden datos regularmente. Cuando un dato se añade, se realiza una evaluación para determinar si genera una desviación estadísticamente significativa respecto del valor medio que se tenía. Si un cambio es detectado, ese periodo se marca como un punto de cambio  $c$ , y las observaciones posteriores se utilizan para aceptar o rechazar la hipótesis, la cual se basa en el índice de cambio ( $IC$ ), que se calcula para cada  $c$ :

$$IC_c = \sum_{i=c}^{c+m} \frac{x_i *}{l\sigma_l}$$

Donde  $m= 0, \dots, l-1$  (es decir, número de años desde el inicio de un nuevo cambio), siendo  $l$  la longitud de corte de los cambios y  $\sigma_l$  es la desviación estándar promedio para todos los intervalos de un año en la serie temporal.

$IC$  representa una suma acumulada de las desviaciones normalizadas  $x_i *$  desde el nivel medio hipotético para el nuevo régimen ( $\bar{x}_{new}$ ), para los cuales la diferencia ( $diff$ ), desde el nivel medio para el régimen actual ( $\bar{x}_{act}$ ) es estadísticamente significativa según la prueba t-Student.

$$diff = \bar{x}_{new} - \bar{x}_{act} = t \sqrt{2 \sigma_l^2 / l}$$

donde  $t$  es el valor teórico con  $2l - 2$  grados de libertad en el nivel de probabilidad dada  $p$ .

Si, en cualquier momento desde el inicio del nuevo régimen, el  $IC$  se vuelve negativo, la prueba falla y se le asigna un valor de cero. Si  $IC$  sigue siendo positivo a lo largo de  $l - 1$ , entonces  $c$  es declarado como el momento de un cambio en el nivel  $p$ . La búsqueda para el próximo cambio de régimen comienza con  $c + 1$  para asegurarse de que se detectará a tiempo, incluso si la duración real del nuevo régimen es  $< l$  años. STARS está disponible para su descarga en [www.BeringClimate.noaa.gov](http://www.BeringClimate.noaa.gov).

### **5.9. Relación entre las variables biológicas y las variables ambientales.**

Para el análisis de la relación entre las variables biológicas y las ambientales, se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman (Rho), prueba de asociación de dos variables cuantitativas discretas (o dos continuas sin distribución normal).

Según Aguayo-Canela & Lora-Mongue (2007) la correlación es una técnica matemática que evalúa el grado de relación entre dos variables cuantitativas, tanto en términos de direccionalidad como de fuerza o intensidad proporcionado por un coeficiente. El coeficiente de correlación puede tener valores que oscilan entre -1 y 1, considerando el cero. Cuando el valor se acerca a 1 se considera que ambas variables se relacionan de manera muy estrecha, esto quiere decir que, si se analiza la correlación entre dos variables  $X$  y  $Y$ , existe una correlación positiva tal que cuando se incrementa el valor de  $X$ , también se incrementa el de  $Y$ . Del mismo modo, cuando el valor se acerca a -1 refleja que existe una relación de forma inversa, es decir que cuando hay un decremento en el valor de  $X$ , hay un incremento en el valor de  $Y$ .

Partiendo de lo anteriormente expuesto, en este estudio se calculó el coeficiente de correlación de Rho Spearman debido a que los datos analizados no reflejan una distribución semejante a la normalidad. El coeficiente de correlación de Rho Spearman, es la versión no paramétrica del coeficiente de correlación lineal de Pearson.

Considerando que la captura es un indicador de la abundancia de la sardina del Pacífico se considerara como una variable biológica. En este estudio, las variables analizadas fueron: variables biológicas (capturas, indicador de la estructura de edades, la talla promedio de la captura) y variables ambientales (TSM, “El Niño”, PDO, surgencias). Para realizar la prueba de Rho Spearman se utilizó el lenguaje R (R Core Team, 2017), en este caso, se estableció un nivel de confianza del 95 % ( $\alpha=0.05$ ).

### **5.9.1. Análisis de coordenadas principales (ACoP)**

El ACoP es una técnica estadística multivariante que crea un gráfico a partir de una matriz de similitud de un conjunto de variables. De la representación espacial es posible descifrar la estructura subyacente de complejas colecciones de datos donde la relación entre los estímulos (sujetos, objetos o variables), están medidos en términos de proximidad (González-Galán *et. al.*, 2008).

Aunque el fundamento del ACoP es esencialmente geométrico, su utilidad alcanza aspectos importantes y variados de la inferencia estadística. Por un lado, el ACoP pertenece a las técnicas de reducción factorial, partiendo de  $n$  estímulos en un espacio de  $n-1$  dimensiones y llegando a una representación de los  $n$  estímulos en un espacio de una dimensionalidad fácilmente interpretable. En este sentido, el ACoP facilita la interpretación de dichas dimensiones mediante el peso (coordenadas) de cada estímulo sobre cada dimensión. Por otro lado, ya que la distancia entre los estímulos representa la mayor o menor similitud entre ellos, el ACoP se convierte en una herramienta útil para concluir sobre estructuras de semejanza subyacente, de forma similar a como se realiza en el Análisis de Clusters.

Se aplicó el ACoP para representar las afinidades y diferencias interanuales los datos (no estructurados y estructurados por stocks) de abundancia por grupo de edad en función de la TSM, “El Niño”, PDO, surgencias, captura, LE e ID. El análisis transforma los datos utilizando la varianza para relacionarla con el menor número posible de factores o coordenadas principales.

Posteriormente, se construye un gráfico en el que asume que los valores que se encuentran en el mismo cuadrante son aquellos que presentan un vínculo, el cual puede ser positivo o negativo (dependiendo de la ubicación del cuadrante en el plano cartesiano) e inverso o directo (al conectarse dicho dato linealmente con el origen del plano); así mismo la distancia al origen indica su grado de acercamiento con el factor más cercano. El tamaño de cada vector indica el grado de correlación, mientras que el ángulo de cada vector con respecto a cada eje de ordenación, indica la correlación con ellos (Ter Braak, 1986). La ordenación multivariada y el gráfico del ACoP fueron obtenidos mediante el lenguaje R (R Core Team, 2017).

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Muestras

En el estudio se analizaron muestras de *S. sagax* recolectadas mensualmente durante 1981 a 2015. Incluyeron un total de 23,803 organismos, de los cuales 14,706 representaron al stock templado y 9,097 al stock cálido (Tabla 1). El stock templado representó el 62% de las muestras, mientras que el stock cálido el 38%. Considerando los datos no estructurados, se colectaron 680 organismos promedio por año, cuando estructuramos por stocks encontramos para el templado un promedio de 420 organismos, mientras que para el cálido 260 organismos en promedio.

Tabla 1. Número de ejemplares de la sardina del Pacífico en la muestra biológica, recolectados de los desembarques en Bahía Magdalena, B.C.S., durante 1981 a 2015. ST: stock templado. SC: stock cálido

Año	ST	SC	Total anual	Año	ST	SC	Total anual
1981	150	250	400	1999	102	167	269
1982	323	171	494	2000	651	390	1,041
1983	111	198	309	2001	598	364	962
1984	413	303	716	2002	683	248	931
1985	277	270	547	2003	442	312	754
1986	591	291	882	2004	378	474	852
1987	234		234	2005	371	272	643
1988	629	38	667	2006	190	376	566
1989	858	150	1,008	2007	752	180	932
1990	632	784	1,416	2008	490	166	656
1991	1,032	397	1,429	2009	347	30	377
1992	22	511	533	2010	158	210	368
1993	307	225	532	2011	201	207	408
1994	354	535	889	2012	387	117	504
1995	674	485	1,159	2013	338	188	526
1996	496	461	957	2014	418	142	560
1997	580	17	597	2015	281	107	388
1998	236	61	297	<b>Total</b>	<b>14,706</b>	<b>9,097</b>	<b>23,803</b>



Se observa que en el año de 1987 no hubo datos para el stock cálido debido a que las muestras corresponden al primer semestre del año, el cual está caracterizado por presentar temperaturas que van desde los 18.3 a 20.5° C, por tal motivo todas las capturas realizadas ese año pertenecieron al stock templado.

En la mayoría de los años las muestras del stock templado fueron dominantes en comparación con el stock cálido, con excepción de ciertos años (1983, 1990, 1992, 1994, 1999, 2004, 2006, 2010, 2011) donde se capturó principalmente el stock cálido. Estos años estuvieron influenciados por el efecto de “El Niño”, registrándose un incremento en la TSM, lo cual fue más favorable para el stock cálido.

## **6.2. Capturas**

Los rendimientos de la pesquería muestran un promedio de 25,000 t anuales de sardina del Pacífico durante el periodo de estudio, con un mínimo en 1983-1984 de 2,242 t y un máximo en el año 2006 de más de 57,000 t.

El análisis secuencial (STARS) detectó cuatro etapas en las capturas de sardina, la primera de 1981 a 1993 cuando las capturas fueron relativamente bajas con un promedio de 9,500 t anuales; otra de 1994 a 1999 con un promedio de alrededor de 20,000 t anuales; el tercer periodo se presentó del 2000 a 2014 cuando se registraron las mayores capturas (2006, 2007 y 2011) y se obtuvo un promedio mayor a las 40,000 t. En el 2015 se presentó una disminución en las capturas, esta disminución drástica podría estar relacionada con “El Niño” que se presentó ese año.

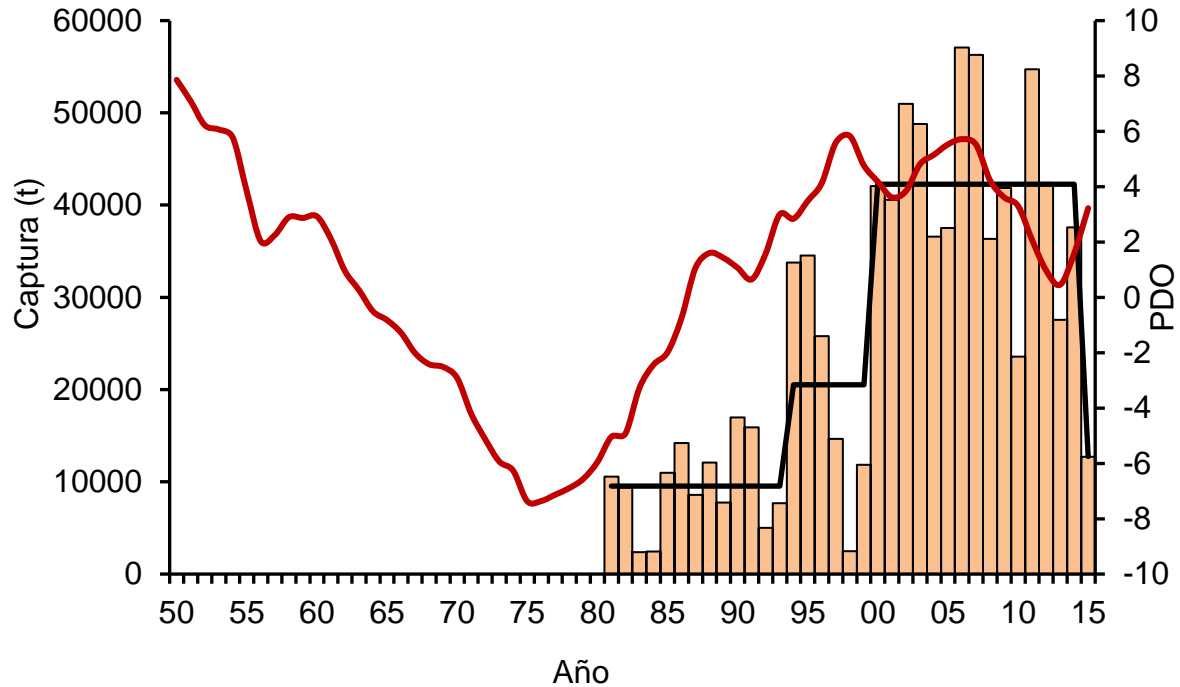


Figura 3. Variación anual de la captura de la sardina del Pacífico en la costa occidental de B.C.S. Las barras representan la captura anual. La línea negra muestra los periodos detectados por STARS. La línea roja representa el acumulado de la anomalía del PDO.

El inicio de la pesquería en Bahía Magdalena coincide con la fase cálida del cambio de régimen. Las capturas y la anomalía acumulada del PDO cambian aceleradamente desde 1981 hasta el 2000, posteriormente los cambios en las anomalías del PDO se estabilizan hasta el 2009, periodo en que se obtienen las mayores capturas (Fig.3).

La captura de la sardina del Pacífico desembarcada en Bahía Magdalena estructurada por stocks (Fig. 4), ha presentado cambios interanuales importantes. Se observa que la flota pesca principalmente el stock templado, representando en promedio 60% de las capturas. En algunos años donde el stock cálido fue más abundante, coinciden con los años donde se han reportados incrementos anómalos en temperatura influenciados por el evento de “El Niño”, con excepción de los eventos de 1986-1987 y 1997-1998 donde el stock templado fue más representativo, sin embargo, la captura tuvo una disminución muy importante después de esos eventos.

También, se aprecia que el stock templado ha sido proporcionalmente más importante que durante los primeros 18 años de la pesquería (1981 a 1998), con excepción de 1992, donde el stock cálido represento más del 90% de la captura.

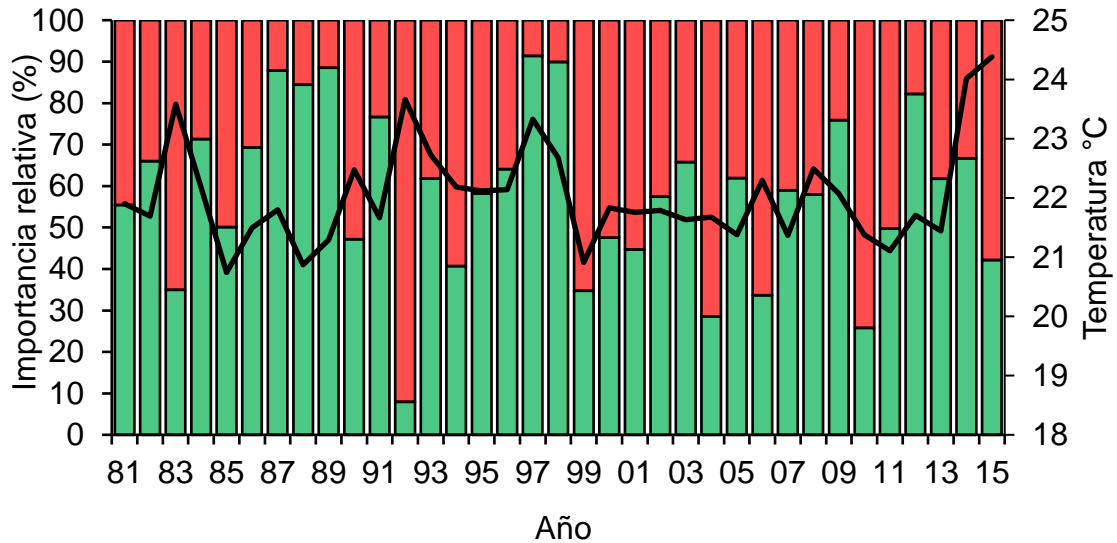


Figura 4. Importancia relativa anual de la captura de sardina del Pacífico estructurada por stock. Las barras rojas representan el stock cálido y las verdes al stock templado. La línea negra representa el promedio de TSM.

### 6.3. Proporción sexual

Las estimaciones anuales de la proporción por sexos de la captura de sardina del Pacífico, se realizó utilizando los datos no estructurados y estructurados por stocks (Fig. 5). Considerando una población no estructurada (Fig. 5a) no se encontraron diferencias significativas durante el periodo de estudio (1M: 1.21H,  $x^2 = 2.94$ ;  $p > 0.05$ ), excepto en 17 de los 35 años analizados las diferencias fueron significativa, donde la proporción de hembras fue mayor.

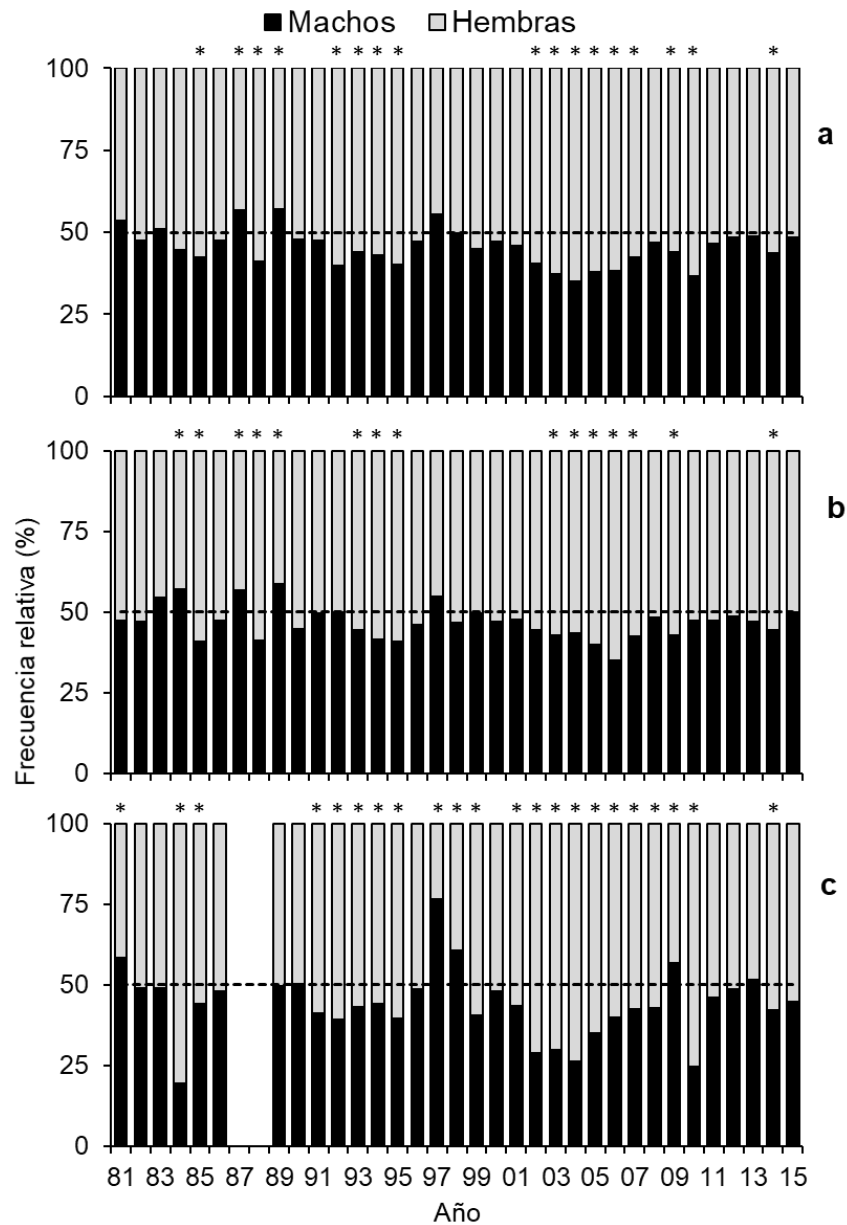


Figura 5. Proporción sexual por año de la captura de sardina del Pacífico en la costa occidental de B.C.S.; a) población no estructurada, b) stock templado, c) stock cálido. La línea discontinua representa una proporción igual al 50%, (\*) Diferencias significativas respecto a 1H:1M.

En el stock templado, de manera similar, no se presentaron diferencias significativas durante el periodo de estudio (1M: 1.14H,  $x^2 = 1.349$ ;  $p > 0.05$ ), excepto en 15 años y en general coinciden con los de la población no estructurada (Fig.5b).

Para el stock cálido, a diferencia del stock templado, las diferencias durante el total del periodo fue significativa (1M: 1.36H,  $\chi^2 = 7.013$ ;  $p = 0.008$ ), y al analizarse por año, en 22 de 35 se observaron diferencias significativas (Fig. 5c).

#### 6.4. Estructura de tallas

Durante el periodo de estudio, las tallas de la sardina del Pacífico variaron entre 85-235 mm LE y tuvieron un promedio de 165.6 mm LE. La mayor frecuencia de tallas de la muestra se presentó entre 155-195 mm LE, representando el 75%, mientras que el 22% de los organismos presentaron una talla menor a la talla mínima legal de 150 mm LE (Fig. 6).

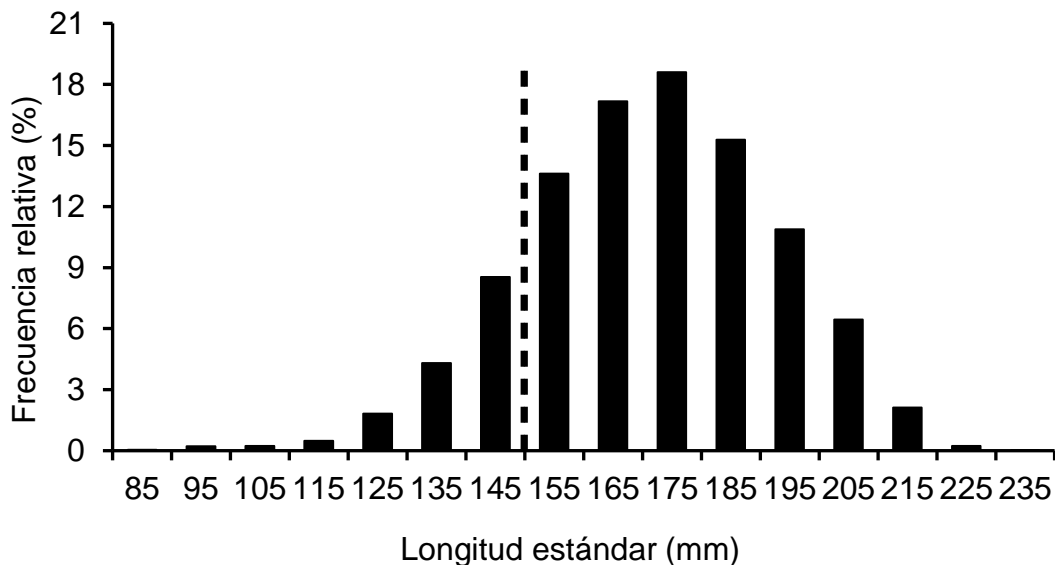


Figura 6. Estructura de tallas de la captura de la sardina del Pacífico desembarcada en Bahía Magdalena B.C.S., de 1981 a 2015. La línea discontinua señala la talla mínima legal (150 mm LE) para la pesca.

La distribución de tallas difirió de la normalidad de acuerdo con la prueba Anderson-Darling ( $A^2 = 14.92$ ,  $p = 0.00$ ), presentó una asimetría negativa (-0.26, los datos están cargados a la izquierda de la media) y una forma leptocúrtica (0.04, más apuntada y con colas menos anchas que una normal). No se detectó un efecto del

sexo en la estructura de tallas (Anexo 1) (Mann-Whitney,  $Z = -1.56$ ,  $p > 0.05$ ), por lo que en el resto de los análisis no se hizo la separación por sexos.

Las distribuciones de tallas de los stocks fueron similares (Fig. 7), el intervalo de tallas coincidió en ambos grupos. Pero para el stock templado las mayores frecuencias se presentaron entre 145-205 mm LE, representando alrededor del 94%, el mismo intervalo de tallas en el stock cálido representó un 86%. Sin embargo, en el stock cálido un 22% de las sardinas estuvieron por debajo de la talla mínima legal, a comparación con el stock templado donde fueron menos abundantes, ya que representaron un 11%.

El promedio de LE para el stock templado fue de 168.4 mm y en el stock cálido de 161.2 mm. Las diferencias en las estructuras de tallas por stock fueron significativas (Mann-Whitney,  $Z=23.01$ ;  $p = 0.001$ ).

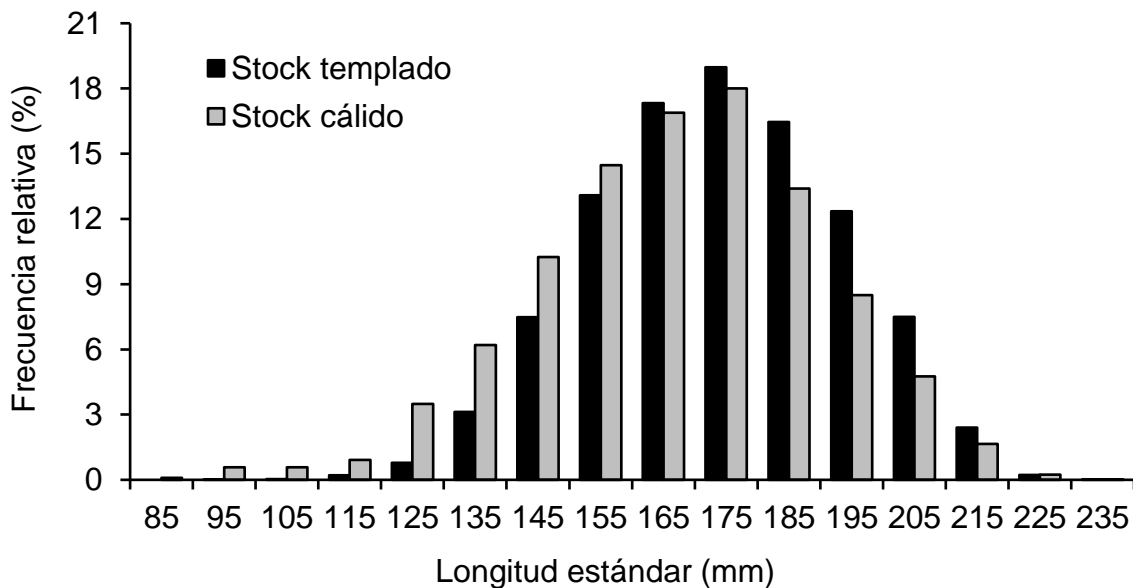


Figura 7. Estructura de tallas por stocks de la sardina del Pacífico, desembarcada en Bahía Magdalena, B.C.S., de 1981 a 2015.

## 6.5. Estructura de edad

Del total de sardina del Pacífico en la muestra biológica, al 89.3% se les recolectaron los otolitos ( $n = 21,254$ ). Una cantidad muy pequeña ( $n = 10$ ) resultaron ilegibles debido a que se cristalizaron, mientras que al resto fue posible asignarles un grupo de edad (Fig. 8). Se identificaron siete grupos de edad (0-6); predominando los individuos del grupo de edad 1 con el 33.7%, seguido en orden de importancia por los grupos de edad 2 (25.3%), el grupo de edad 0 (14.3%), el grupo de edad 3 (13.7%), y el resto de los grupos de edad (entre 4-6) representaron el 12.8% de la muestra (Fig. 8).

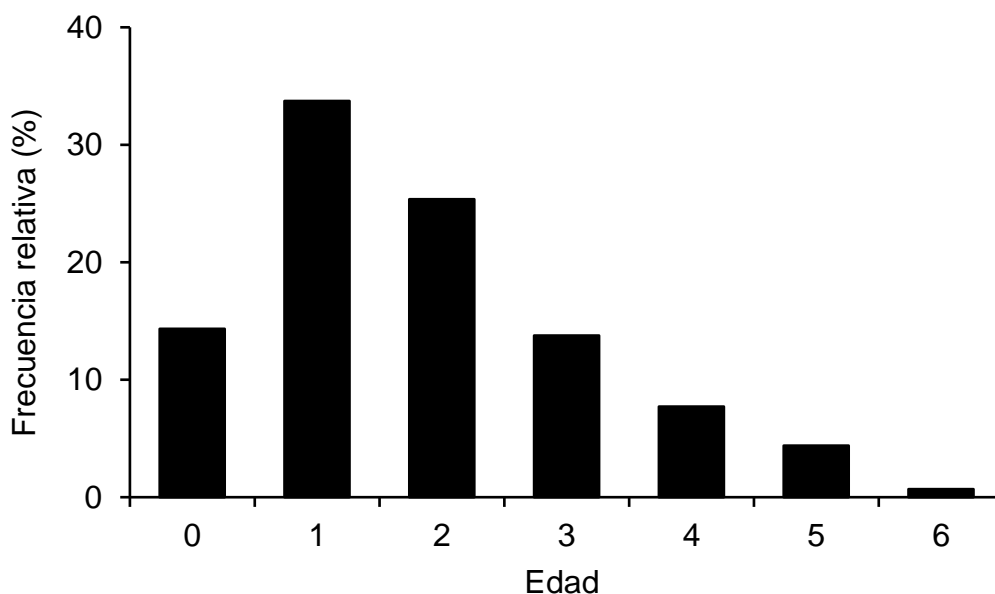


Figura 8. Estructura de edad de la sardina del Pacífico, desembarcada en Bahía Magdalena, B.C.S de 1981 a 2015.

El mismo número de grupos de edad se presentaron en ambos stocks, pero con diferente frecuencia (Fig. 9). El grupo que predominó, en ambos stocks, fue el grupo de edad 1, en el stock templado represento alrededor del 35%, mientras que en el stock cálido el 30%, seguidos por el grupo de edad 2, representando alrededor del 25% en ambos stocks. Sin embargo, el grupo de edad 0 fue más importante en el stock

cálido en comparación con el stock templado, lo cual coincide con la estructura de tallas, donde las sardinas < 150 mm LE estuvieron mejor representadas en el stock cálido a comparación del stock templado.

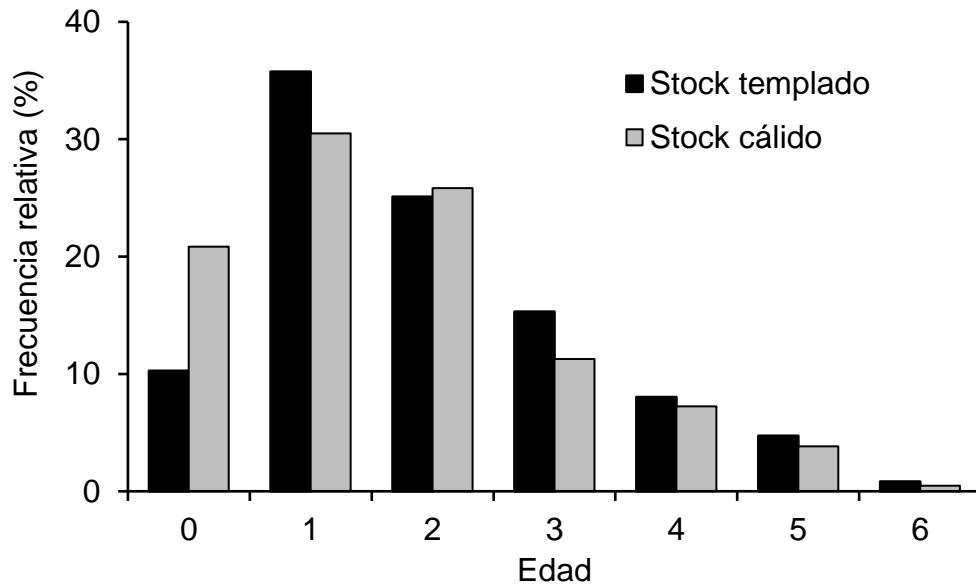


Figura 9. Estructura de edad por stock de la sardina del Pacífico, desembarcada en Bahía Magdalena B.C.S., de 1981 a 2015.

### 6.6. Periodicidad de la formación de marcas de crecimiento

Para observar la periodicidad de las marcas de crecimiento en los otolitos de *S. sagax*, se construyó un año tipo con el porcentaje mensual de otolitos con borde opaco, la decisión de utilizar los porcentajes fue la gran variación en el número de ejemplares muestreados, el cual varió entre 234 - 1,429 por año.

De acuerdo con el seguimiento mensual del porcentaje de otolitos con el borde opaco, es posible observar que el porcentaje máximo, ocurrió en los meses de abril a septiembre, mientras que el mínimo se presentó a principio y final de año (Fig. 10). Esta tendencia sugiere que la periodicidad de formación de una marca de crecimiento (el conjunto de una banda opaca y banda translúcida) es anual.



Este patrón asociado al tipo de borde coincidió con el porcentaje mensual de organismos maduros (gónadas en fase de madurez, desovando y post desove), ya que el mayor porcentaje de organismos maduros se presentaron a principio y a final del año, coincidiendo con la menor frecuencia de bordes opacos.

No se encontró una relación significativa entre el porcentaje de bordes opacos y porcentaje de organismos maduros (Coeficiente de Pearson,  $r = -0.341$ ,  $p > 0.05$ ); sin embargo, esta relación fue significativa al desfasar un mes el porcentaje de bordes opacos (Coeficiente de Pearson  $r = -0.631$ ,  $p = 0.027$ ).

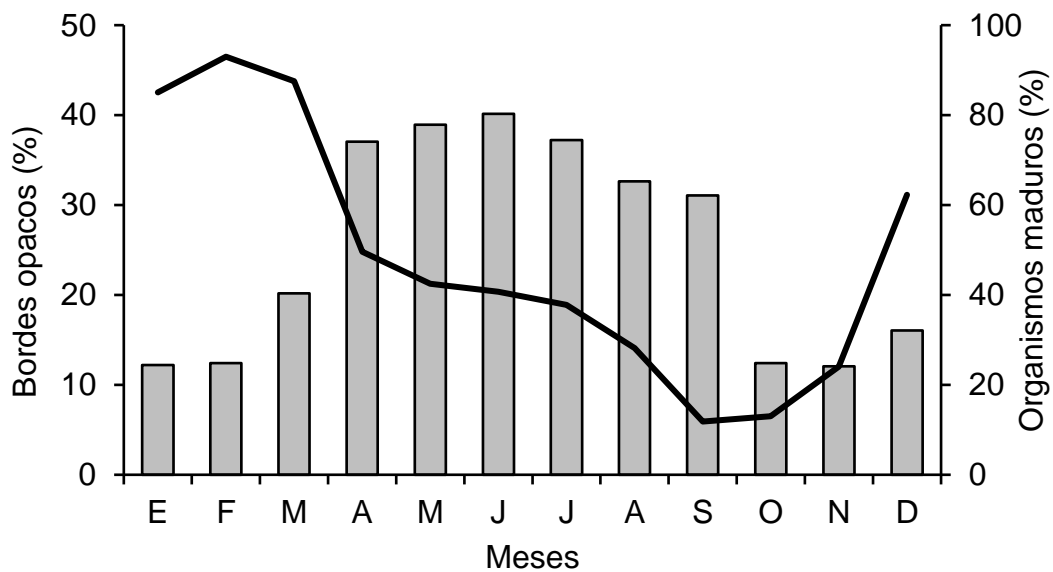


Figura 10. Porcentaje mensual de otolitos con borde opaco (barras) y organismos maduros (línea continua) de la sardina del Pacífico desembarcada en Bahía Magdalena, B.C.S.

### 6.7. Precisión de lecturas de otolitos

Se relejeron un total de 1,086 otolitos los cuales pertenecieron a los años de 2013 y 2014. El porcentaje de acuerdo entre lectores fue 93%, mientras que se obtuvo un valor del IAPE de 0.9% y del CV fue de 1.28%; de acuerdo con los valores de precisión de las lecturas, se puede decir, que las lecturas de los lectores fueron precisas.

## **6.8. Cambios interanuales en la estructura de talla y edad**

Al analizar los cambios interanuales en las tallas y edades de la sardina del Pacífico, a través del análisis secuencial para los datos no estructurados (Fig. 11), se encontró que los descensos en la talla promedio coinciden con eventos “El Niño” (1986-1987, 1992-1993, 2009-2010, 2015). Se detectaron cuatro periodos: el primero de 1981-1986 (158.6 mm LE); el segundo de 1987-1991 (177.9 mm LE); el tercero fue un periodo prolongado de 1992 a 2010 con tallas relativamente menores, alrededor de 160 mm LE; el último periodo con un aumento en talla hasta 183.7 mm LE durante 2011-2014, la más alta registrada durante el estudio. En 2015 se presentó una disminución considerable (162.9 mm LE) lo que pudiera señalar otro periodo.

Este patrón de cambio es muy similar al que se presentó en la estructura de edad, sin embargo, a diferencia de los cambios en la LE, el análisis secuencial detectó un cambio significativo en 1996-1997 en la estructura de edad (incremento en el ID). Ambas variables (talla y edad) varían en fase, cuando la LE promedio disminuye el indicador de la estructura de edad también.

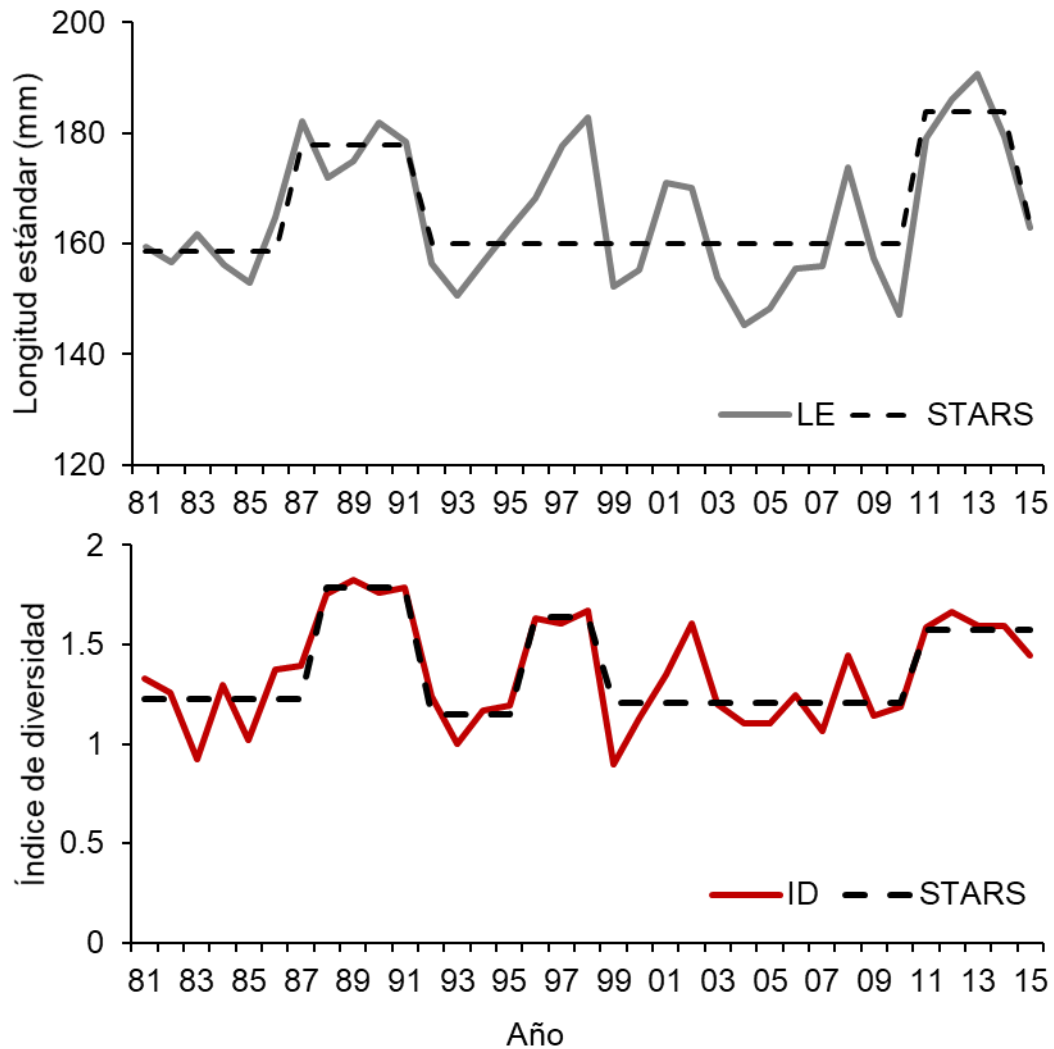


Figura 11. Cambios interanuales de la talla y del indicador de la estructura de edad (ID) de la sardina del Pacífico, descargada en Bahía Magdalena, B.C.S., durante 1981 a 2015, para datos no estructurados. La línea gris representa la variación anual de la talla promedio, en rojo la variación del ID. La línea discontinua representa los periodos detectados por el análisis secuencial.

Los cambios interanuales en talla y edad del stock templado presentaron un patrón muy similar a los datos no estructurados (Fig. 12). El primer periodo que detectó el secuencial para la LE fue en 1981-1991 (170.16 mm LE); el segundo periodo 1992-1995 (152.48 mm LE), esta disminución en la talla pudiera estar relacionada con el fenómeno de “El Niño” que se presentó en el periodo 1991-1992; un aumento en la

talla 179.5 mm LE durante 1996-1998, después la talla promedio disminuyó a 160.03 mm LE, este periodo fue el más prolongado que se presentó, desde 1999 hasta el 2011; durante 2012 al 2014 la talla aumenta (184.47 mm LE), pero en el 2015 vuelve a presentarse una disminución (160 mm LE), al igual que en los datos no estructurados pudiera señalar el inicio de un periodo, el cual podría estar influenciado con “El Niño” que se presentó en el año 2015. A diferencia del cambio positivo detectado en talla, STARS detectó para la edad un periodo durante 1988-1991 (Fig. 12), el cual no fue identificado en la estructura de tallas. Debido a que en ese periodo las tallas presentaron aumentos y disminuciones, a diferencia del ID que se mantuvo alto (1.73), lo cual indica que el número de grupos de edad incremento y se mantuvo homogénea.

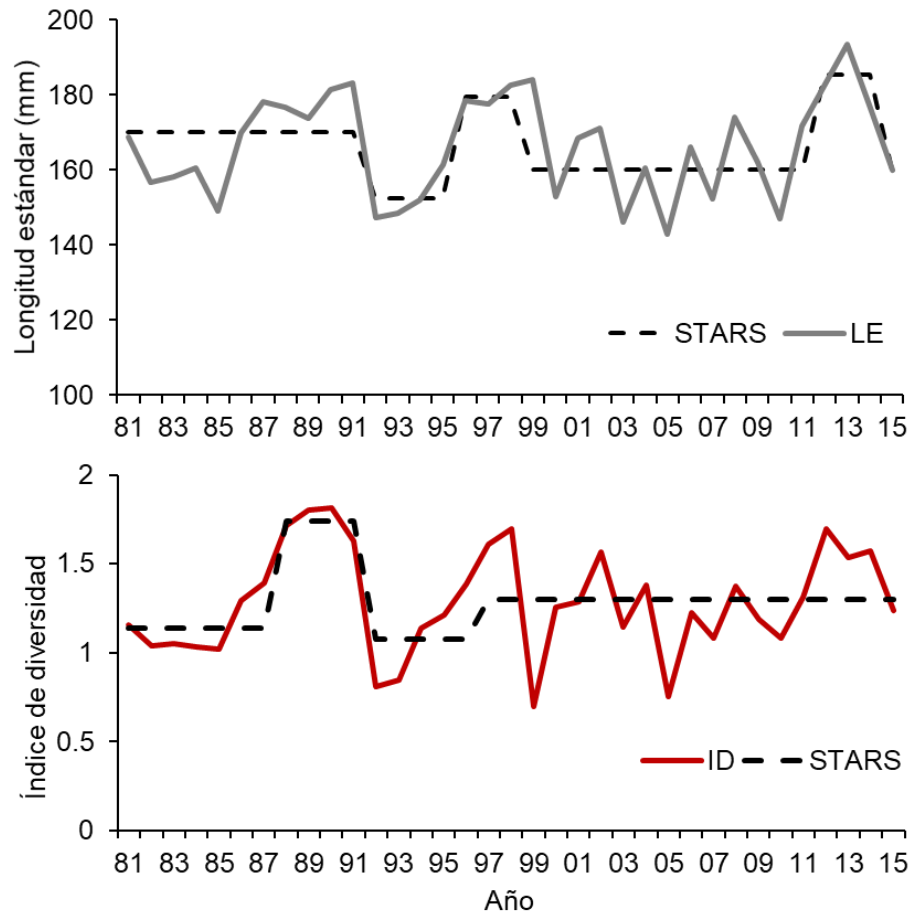


Figura 12. Cambios interanuales de la talla y del indicador de la estructura de edad (ID) de la sardina del Pacífico, descargada en Bahía Magdalena, B.C.S., durante 1981 a 2015, para el stock templado. La línea gris representa la variación anual de la talla promedio, en rojo la variación del índice de diversidad. La línea discontinua representa los periodos detectados por el análisis secuencial.

Para el stock cálido (Fig. 13) no se detectó ningún patrón en los cambios interanuales de talla y edad. Los cambios para este stock fueron altamente variables, presentando aumentos y disminuciones muy marcadas, motivo por el cual no fue posible detectar algún patrón de cambio. Sin embargo, en 1988 se presentó una disminución drástica en la talla promedio (90.18 mm LE), dicha disminución también se vio reflejada en el ID, observamos que el para ese año se obtuvo un valor de 0,

debido a que solamente se presentó un grupo de edad en la captura, el único grupo de edad que se presentó fue el grupo de edad 0.

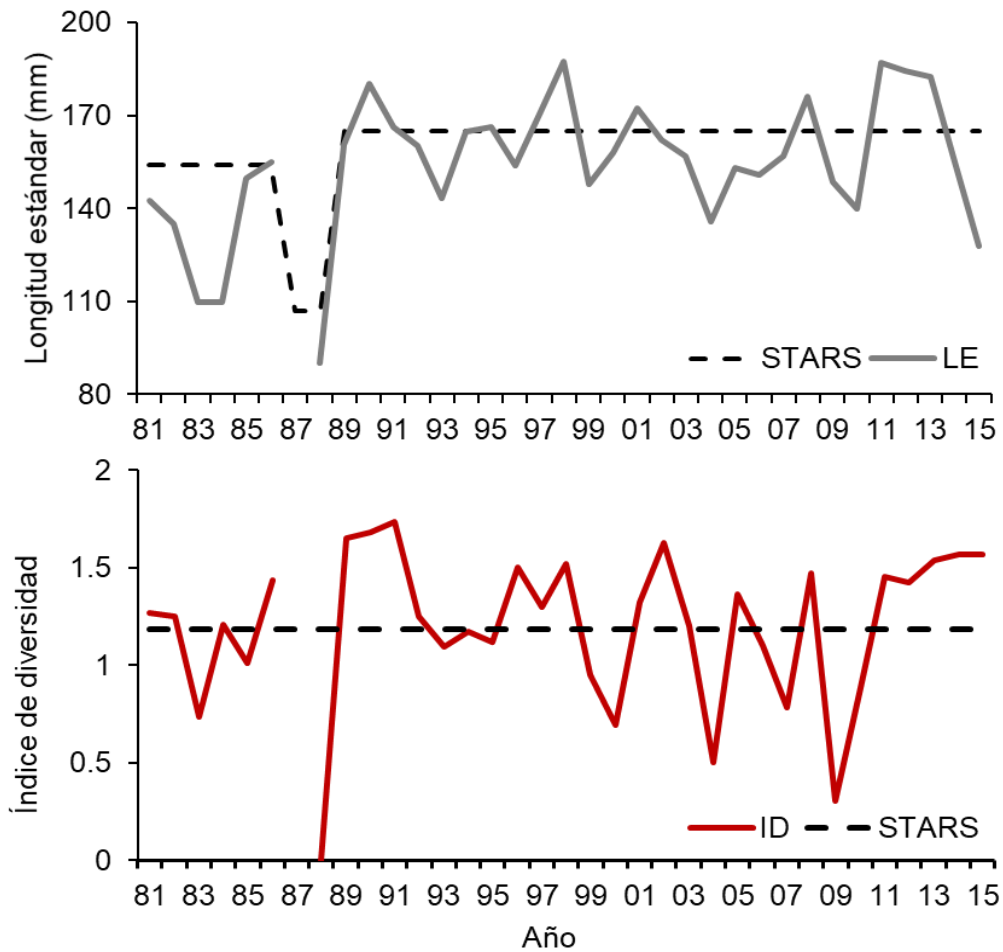


Figura 13. Cambios interanuales de la talla y del indicador de la estructura de edad (ID) de la sardina del Pacífico, descargada en Bahía Magdalena, B.C.S., durante 1981 a 2015, para el stock cálido. La línea gris representa la variación anual de la talla promedio, en rojo la variación del índice de diversidad. La línea discontinua representa los periodos detectados por el análisis secuencial.

## 6.9. Relación entre las variables biológicas y las variables ambientales

Para evaluar la fuerza y dirección de la relación entre las variables biológicas y del ambiente, se realizó un análisis de correlación de Rho-Spearman. Las estimaciones se realizaron considerando los datos no estructurados y estructurados por stocks.

Con los datos no estructurados (Tabla 2), se encontraron relaciones directas entre la talla promedio e ID, entre la captura y las surgencias, y como era de esperarse entre el PDO y “El Niño” con la TSM. Mientras que el PDO se relacionó de manera inversa, con las surgencias y las capturas.

Tabla 2. Correlación de Spearman entre la talla, la edad (ID), la captura y las variables ambientales (Temperatura superficial del mar (TSM), “El Niño” (ONI), índice de la oscilación decadal del Pacífico (PDO), surgencias). Datos no estructurados.

$r^{\text{Spearman}}$	<i>Talla</i>	<i>ID</i>	<i>Captura</i>	<i>TSM</i>	<i>“El Niño”</i>	<i>PDO</i>	<i>SURG</i>
Talla	1						
ID	<b>0.832</b>	1					
Captura	-0.035	-0.032	1				
TSM	0.172	0.072	-0.257	1			
“El Niño”	0.057	0.015	-0.205	<b>0.494</b>	1		
PDO	-0.108	-0.104	<b>-0.508</b>	<b>0.408</b>	<b>0.508</b>	1	
SURG	-0.057	-0.167	<b>0.562</b>	-0.161	-0.305	<b>-0.480</b>	1
$\rho$	Talla	I.D.	Captura	TSM	“El Niño”	PDO	SURG
Talla	0						
ID	<b>0.000</b>	0					
Captura	0.843	0.857	0				
TSM	0.323	0.680	0.136	0			
“El Niño”	0.744	0.931	0.238	<b>0.003</b>	0		
PDO	0.537	0.549	<b>0.002</b>	<b>0.016</b>	<b>0.002</b>	0	
SURG	0.746	0.337	<b>0.001</b>	0.354	0.074	<b>0.004</b>	0

Con el fin de observar de una manera más clara la tendencia de las correlaciones se procedió a graficar los valores de los coeficientes de correlación (Fig. 14) contenidos en la tabla 2. Sobresale la relación directa entre una mayor estructura de edad y un incremento en la talla promedio de la captura.

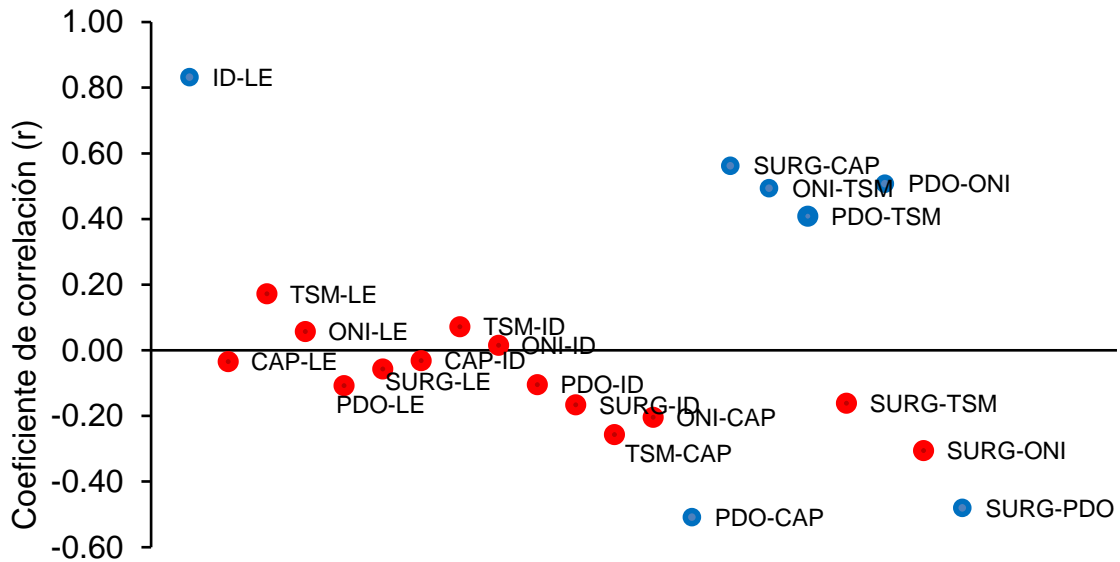


Figura 14. Tendencia de la correlación de Spearman entre la talla (LE), la edad (ID), la captura (CAP) y las variables ambientales: Temperatura superficial del mar (TSM), “El Niño” (ONI), índice de la oscilación decadal del Pacífico (PDO), surgencias (SURG). Datos no estructurados. En azul las correlaciones significativas. En rojo correlaciones no significativas.

Para evaluar el efecto potencial de las variables ambientales sobre la talla promedio de los reclutas (organismos del grupo de edad 0), las variables ambientales se retrasaron un año y se estimó el Rho de Spearman, por el efecto del retraso el  $n$  disminuyó ( $n=34$ ). Se identificó una relación directa entre la LE de los reclutas con surgencias, de manera inversa con el PDO y el “El Niño” (Anexo 2).

En el stock templado (Tabla 3), se detectó una cuasi relación que con la población no estructurada. Se observa una relación directa de la LE promedio con la estructura de edades (ID); las capturas se relacionaron negativamente con el PDO y “El Niño”, de manera directa con las surgencias. Entre las variables ambientales, el



PDO se relacionó de manera directa con la TSM y el “El Niño” y de manera negativa con las surgencias. La representación gráfica de los coeficientes de correlación se muestra en la figura 15.

Tabla 3. Correlación de Spearman entre la talla, la edad (ID), la captura y las variables ambientales (Temperatura superficial del mar (TSM), “El Niño” (ONI), índice de la oscilación decadal del Pacífico (PDO), surgencias). Stock templado.

$r_{\text{Spearman}}$	<i>Talla</i>	<i>ID</i>	<i>Captura</i>	<i>TSM</i>	<i>“El Niño”</i>	<i>PDO</i>	<i>SURG</i>
Talla	1						
ID	<b>0.869</b>	1					
Captura	0.171	0.274	1				
TSM	-0.113	-0.113	<b>-0.359</b>	1			
“El Niño”	-0.004	-0.001	-0.151	0.325	1		
PDO	-0.142	-0.154	<b>-0.424</b>	<b>0.454</b>	<b>0.508</b>	1	
SURG	0.022	0.001	<b>0.545</b>	-0.079	-0.245	<b>-0.462</b>	1
$p$	Talla	ID	Captura	TSM	“El Niño”	PDO	SURG
Talla	0						
ID	<b>0.000</b>	0					
Captura	0.326	0.112	0				
TSM	0.517	0.517	<b>0.035</b>	0			
“El Niño”	0.980	0.995	0.385	0.057	0		
PDO	0.414	0.377	<b>0.012</b>	<b>0.007</b>	<b>0.002</b>	0	
SURG	0.901	0.995	<b>0.001</b>	0.653	0.156	<b>0.005</b>	0

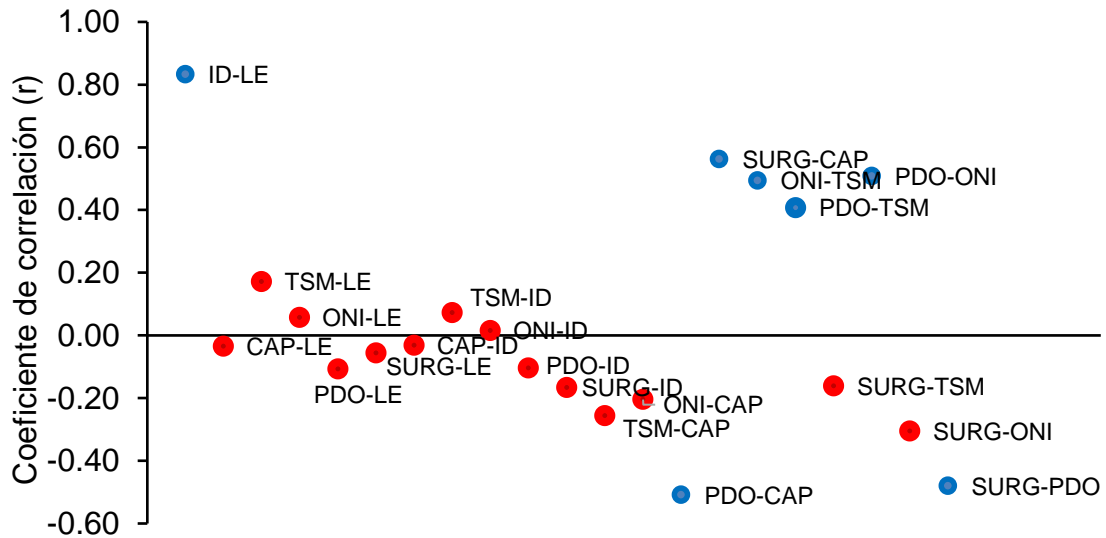


Figura 15. Tendencia de la correlación de Spearman entre la talla (LE), la edad (ID), la captura (CAP) y las variables ambientales: Temperatura superficial del mar (TSM), “El Niño” (ONI), índice de la oscilación decadal del Pacífico (PDO), surgencias (SURG). Stock templado. En azul las correlaciones significativas. En rojo correlaciones no significativas

Cuando se retrasaron las variables ambientales un año, solo se encontró una relación inversa significativa del “El Niño” sobre la LE promedio del grupo de edad 0 del stock templado (Anexo 3).

En el stock cálido (Tabla 4), la LE promedio se relacionó de manera directa con la estructura de edades (ID); también, se presentó una relación negativa entre la LE y el PDO; además, el PDO se relacionó de manera directa con “El Niño”. En la figura 16, se observa la representación gráfica de los coeficientes de correlación entre las variables biológicas y ambientales del stock cálido, donde llama la atención la relación significativa de la TSM-LE la cual fue significativa solo para este stock.

Tabla 4. Correlación de Spearman entre la talla, la edad (ID), la captura y las variables ambientales (Temperatura superficial del mar (TSM), “El Niño” (ONI), índice de la oscilación decadal del Pacífico (PDO), surgencias). Stock cálido.

<i>r</i> <sub>Spearman</sub>	Talla	ID	Captura	TSM	“El Niño”	PDO	SURG
Talla	1						
ID	<b>0.716</b>	1					
Captura	-0.016	-0.179	1				
TSM	<b>0.383</b>	0.269	-0.254	1			
“El Niño”	0.015	0.166	-0.232	<b>0.444</b>	1		
PDO	-0.192	-0.052	<b>-0.489</b>	0.231	<b>0.508</b>	1	
SURG	-0.051	-0.224	<b>0.522</b>	<b>-0.366</b>	-0.328	<b>-0.400</b>	1
<i>p</i>	Talla	ID	Captura	TSM	“El Niño”	PDO	SURG
Talla	0						
ID	<b>0.000</b>	0					
Captura	0.927	0.311	0				
TSM	<b>0.026</b>	0.123	0.140	0			
“El Niño”	0.934	0.347	0.181	<b>0.007</b>	0		
PDO	0.275	0.769	<b>0.003</b>	0.182	<b>0.002</b>	0	
SURG	0.776	0.202	<b>0.001</b>	<b>0.031</b>	0.055	<b>0.017</b>	0

La LE de los reclutas en el stock cálido, presentó una relación negativa con el “El Niño” y el PDO; y una relación directa con las surgencias (Anexo 4).

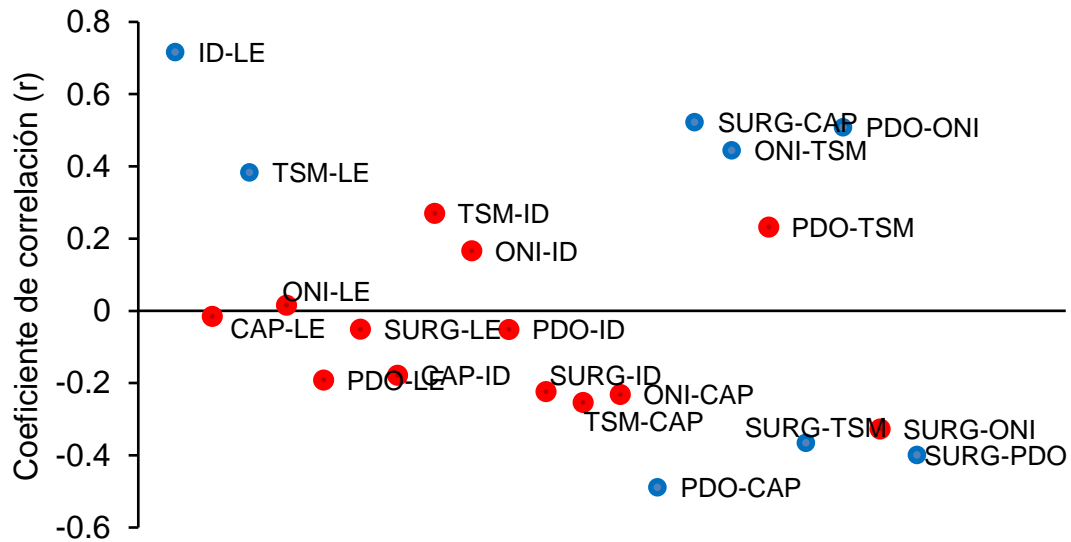


Figura 16. Tendencia de la correlación de Spearman entre la talla (LE), la edad (ID), la captura (CAP) y las variables ambientales: Temperatura superficial del mar (TSM), “El Niño” (ONI), índice de la oscilación decadal del Pacífico (PDO), surgencias (SURG). Stock cálido.  
 En azul las correlaciones significativas. En rojo correlaciones no significativas

### 6.9.1. Análisis de Coordenadas Principales (ACoP)

Para el ACoP con base en la importancia relativa de los grupos de edad (estructura de edad), se consideraron los primeros dos componentes principales. La distribución de los años de muestreo en el plano bidimensional define cuatro grandes grupos, los cuales se relacionan con las variables más afines y señala cuáles grupos de edad fueron dominantes en cada grupo de años.

Los primeros dos componentes del ACoP para los datos no estructurados explicaron el 64.43% de la variación de la estructura de edad; el primer componente representa el 37.51% de la variación entre las variables y el segundo el 26.92% (Fig. 13).

Tomando como referencia la coordenada PCoA1, se definen dos grupos de acuerdo con la línea vertical discontinua anclada en el valor 0 del PCoA1. Los grupos de edad más jóvenes (0-2 años) se relacionan con años donde las capturas e índices de surgencia fueron relativamente mayores (izquierda del PCoA1), esos años podrían estar asociados a fuertes reclutamientos. Por ejemplo, en los años: 1999, 2004 y 2010, el grupo de edad cero fue muy importante (Anexo V), teniendo impacto en las capturas de sardina del Pacífico de uno a tres años después (2002, 2006, 2011). Los grupos de mayor edad (3-6 años) se relacionan con la LE, ID, TSM y ONI (derecha del PCoA1), en algunos de esos años se presentaron tanto condiciones “El Niño” (1982-83, 1992-93, 1997-98, 2004-05, 2009-10, 2015), así como condiciones relativamente normales que promovieron una estructura de edad con mayor número de cohortes lo cual se vio reflejado en la talla (LE) y la edad (ID).

Las agrupaciones anuales definidas por el PCoA2 están relacionadas con la edad (ID), la talla (LE) y la captura en la parte superior del PCoA2, esos años la estructura de edades estuvo bien representada, lo cual se vio reflejada en la talla (LE) y las capturas, la otra agrupación se relaciona exclusivamente con el ambiente (índice de surgencias, TSM, PDO y ONI), parte inferior del PCoA2. En esta parte se agrupan aquellos años que tuvieron relación con los calentamientos anómalos en temperatura, también que observa que el grupo de edad dominante fue el grupo de edad 0, debido a que durante o después de los eventos “El Niño” se presentan fuertes reclutamientos.

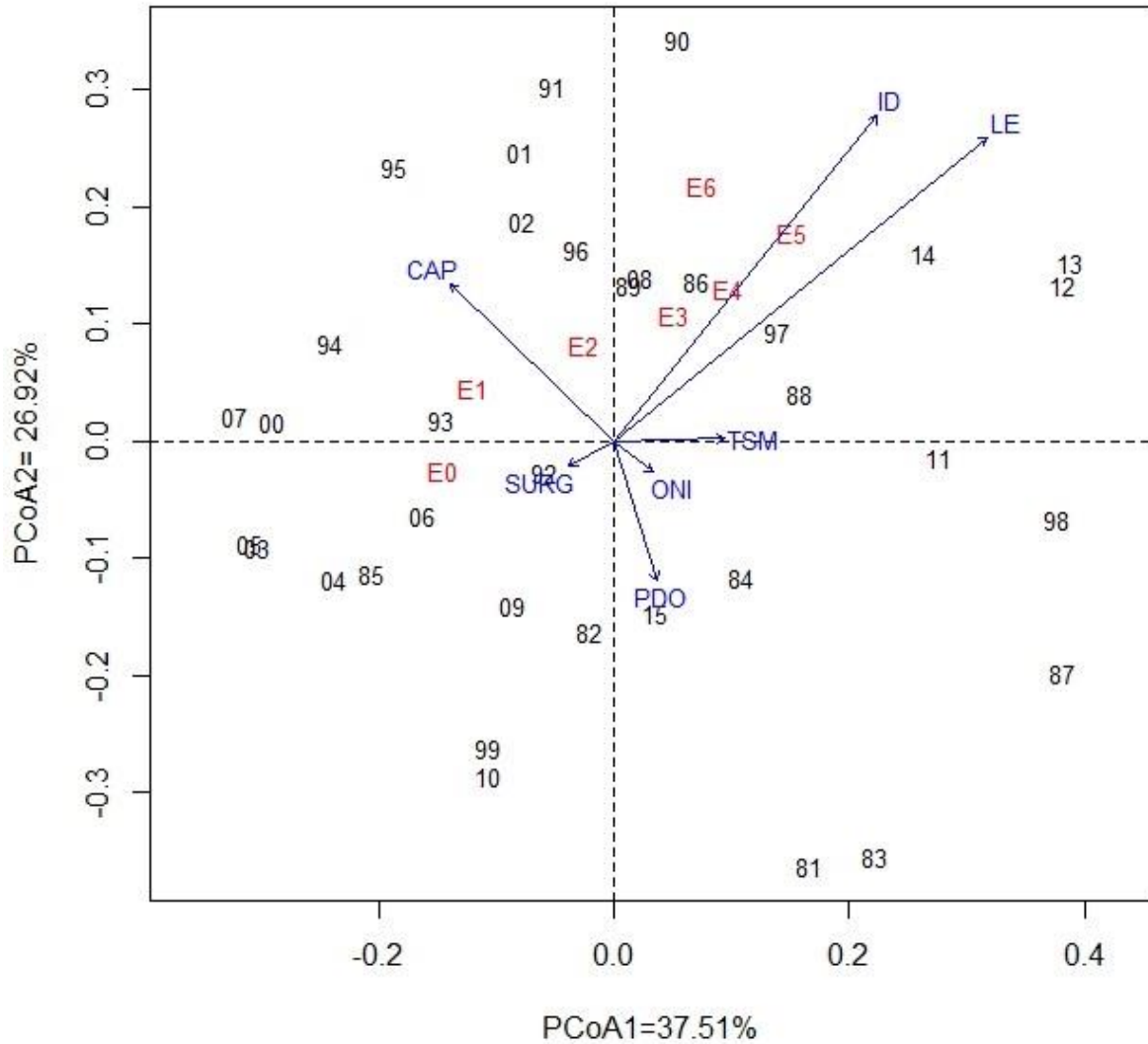


Figura 17. ACoP para los datos no estructurados. En rojo los grupos de edad: E0 (edad 0), E1(edad 1), E2 (edad 2), E3 (Edad 3), E4 (edad 4), E5 (edad 5), E6 (edad 6). En azul las variables: talla (LE), la edad (ID), la captura (CAP) temperatura superficial del mar (TSM), “El Niño” (ONI), índice de la oscilación decadal del Pacífico (PDO), surgencias (SURG). Los números en negro representan los años analizados, de 1981 a 2015, representados en la figura con sus últimos dos dígitos

Las primeras dos coordenadas del ACoP para el stock templado explicaron 64.08% de la variación; el primero de ellos explica 33.68% y el segundo el 30.4% (Fig. 14). Algo muy similar a lo descrito para los datos no estructurados, se presentó en el stock templado, a pesar de que la dispersión de los años fue diferente.

El PCoA1 separa los años en dos grupos, la parte izquierda se asoció al ambiente, el cual presentó condiciones relativamente cálidas (PDO, TSM) las cuales afectaron negativamente a las capturas (1983, 1992, 1998, 2010 y 2015), debido a los eventos “El Niño”; mientras que el segundo grupo de años (derecha del PCoA1), se caracterizaron por condiciones ambientales relativamente normales, lo cual fue favorable para surgencias, reclutamientos y las capturas, lo cual se vio reflejado en la estructura de edades, la cual estuvo bien representada.

El PCoA2 separa al stock en dos grupos, en la parte superior, la captura del stock está integrada por varias cohortes repercutiendo positivamente en LE e ID; en la parte inferior, la captura se caracteriza por importantes reclutamientos asociados a condiciones positivas de surgencias, beneficiando principalmente a los reclutas (grupo de edad 0 y 1).

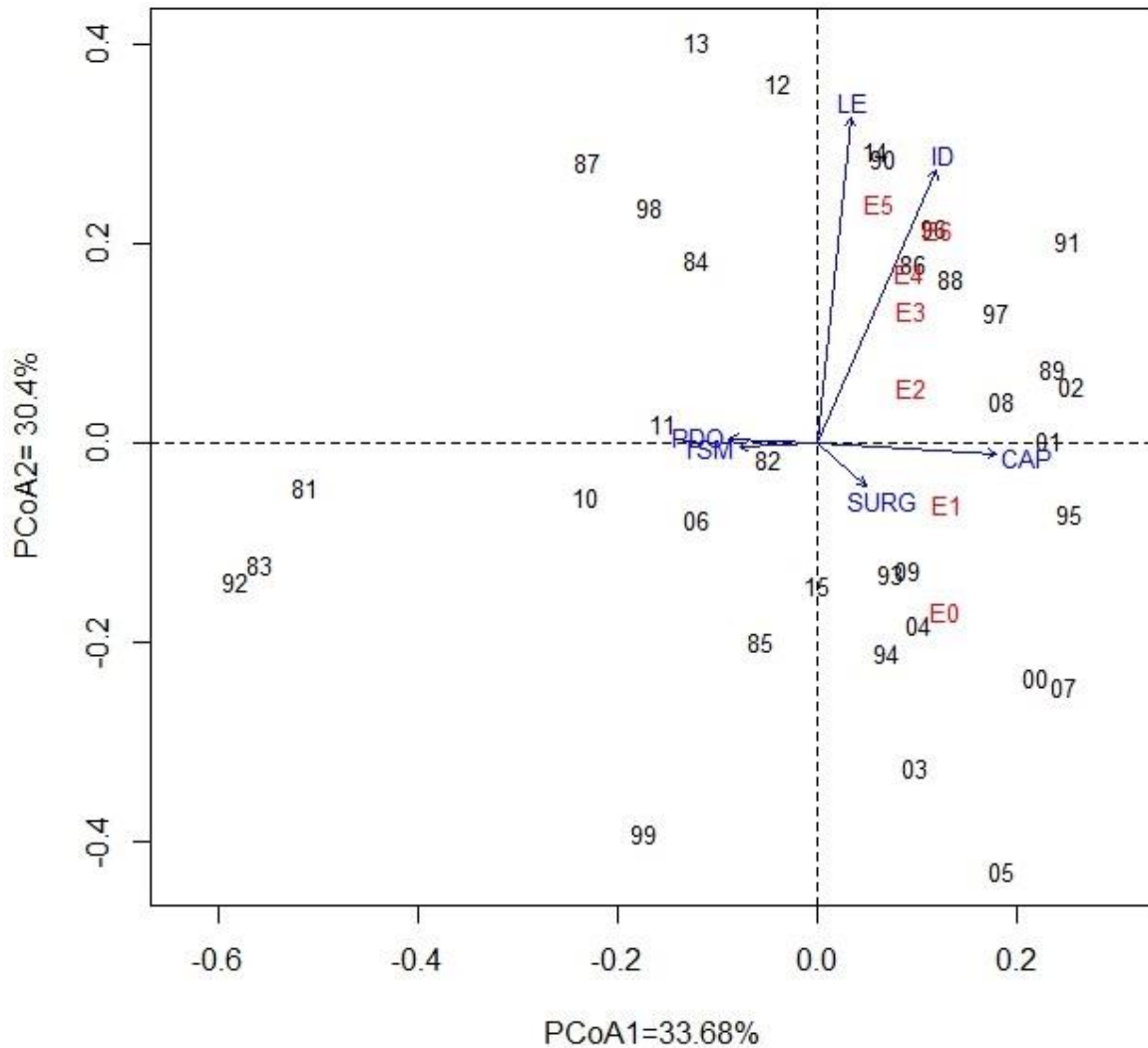


Figura 18. ACoP para el stock templado. En rojo los grupos de edad: E0 (edad 0), E1 (edad 1), E2 (edad 2), E3 (Edad 3), E4 (edad 4), E5 (edad 5), E6 (edad 6). En azul las variables: talla (LE), la edad (ID), la captura (CAP) temperatura superficial del mar (TSM), índice de la oscilación decadal del Pacífico (PDO), surgencias (SURG). Los números en negro representan los años analizados, de 1981 a 2015, representados en la figura con sus últimos dos dígitos

Para el stock cálido, los primeros dos componentes del ACoP explicaron 50.17% de la variación (PCoA1 = 26.23%; PCoA2 = 23.87%). En este caso la dispersión de los años fue muy diferente a los anteriores (Fig. 15).



Para este stock, en la parte izquierda de la coordenada PCoA1, la ordenación ésta dada con base en las capturas, observamos dos grandes grupos, en la parte superior del PCoA1, se presentaron los años donde las capturas fueron relativamente altas, debido a que la estructura de edades estuvo bien representada, predominando los grupos de edad 1, 2, 3 y 6. Sin embargo, en la parte superior, se encuentran aquellos años donde las capturas fueron altas, pero estas estuvieron asociadas a fuertes reclutamientos en donde el grupo de edad 0 fue el más dominante.

El ACoP2 separa al stock en dos grupos, de acuerdo con la estructura de edad. En la parte superior se presentaron los años caracterizados por valores de ID mayores, siendo ID altos producto de un mayor número de cohortes presentes en la captura, en la parte inferior se presentaron los años con ID bajos resultado de fuertes reclutamientos, asociados a surgencias.

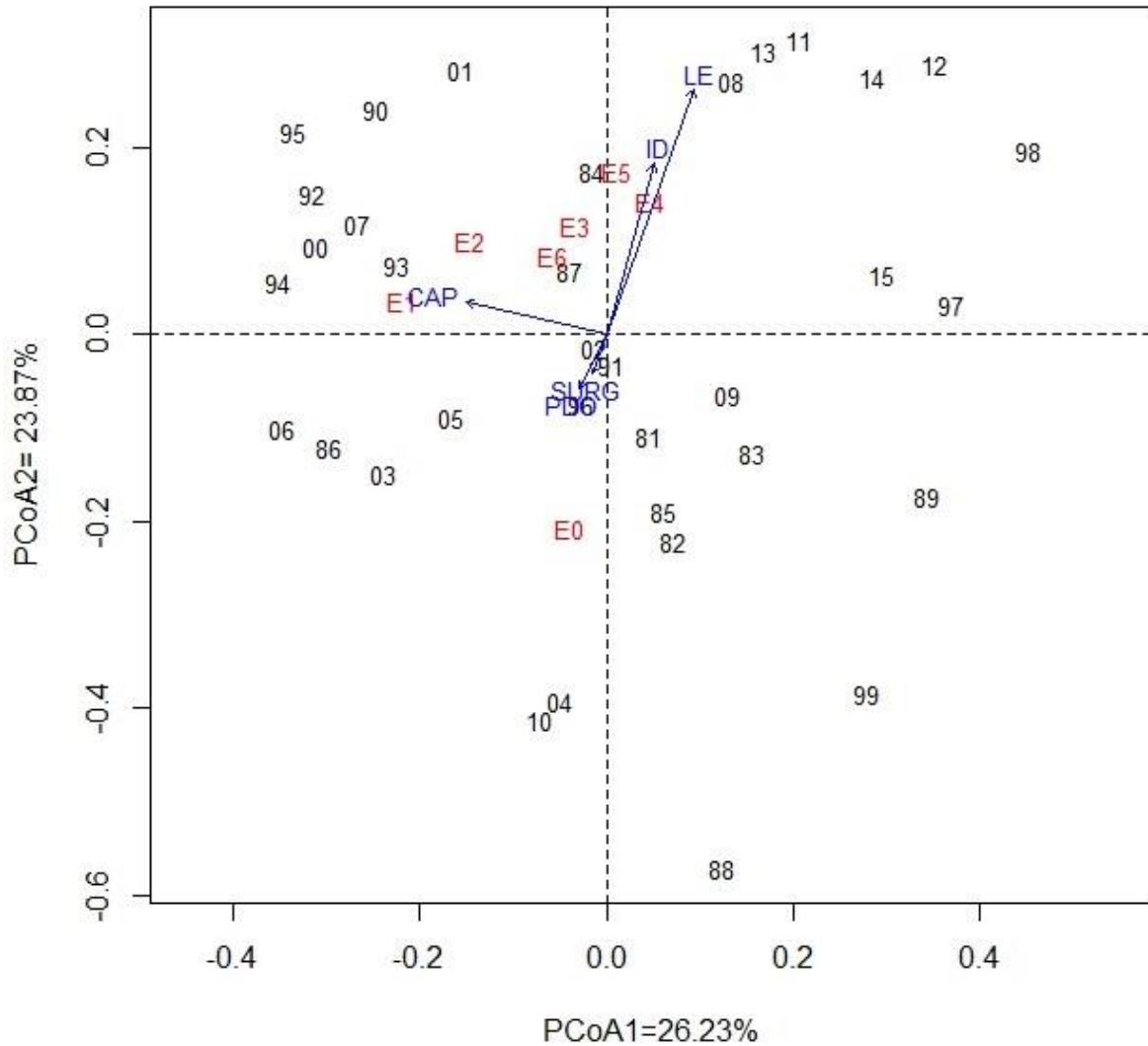


Figura 19. ACoP para el stock cálido. En rojo los grupos de edad: E0 (edad 0), E1(edad 1), E2 (edad 2), E3 (Edad 3), E4 (edad 4), E5 (edad 5), E6 (edad 6). En azul las variables: talla (LE), la edad (ID), la captura (CAP) temperatura superficial del mar (TSM), índice de la oscilación decadal del Pacífico (PDO), surgencias (SURG). Los números en negro representan los años analizados, de 1981 a 2015, representados en la figura con sus últimos dos dígitos

## 7. DISCUSIÓN

### 7.1. Capturas

Para identificar los cambios en las capturas de la sardina del Pacífico en la costa occidental de Baja California Sur, se examinó una serie histórica de 1981 a 2015 y se analizaron las características ambientales que pudieron estar relacionadas con dichos cambios. Los periodos en las capturas de sardina de la serie analizada se identificaron utilizando un análisis secuencial.

Encontramos que, la fase cálida del cambio de régimen tuvo un efecto positivo sobre la población de *S. sagax*, la cual al incrementar su abundancia fue capturada en mayor medida por la flota que opera en la zona. Este incremento, reflejado en las capturas fue detectado por el análisis secuencial, esta fase del cambio de régimen se asocia a incrementos en la biomasa de la sardina del Pacífico en el SCC (Chávez *et al.*, 2003; Zwolinski & Demer, 2012). Sin embargo, a partir del año 2000 (fase fría) las capturas comenzaron a disminuir; Radovich (1982) y Chávez *et al.* (2003), señalan que durante la fase cálida del régimen la abundancia de la sardina del Pacífico incrementa, por el contrario, sucede durante la fase fría del cambio de régimen.

Según los indicadores ambientales, durante 1950 a 1975 se presentó la fase fría del cambio de régimen, aunque para la zona no existen datos de captura, se sabe que a finales de la década de los años 40's la pesquería en la parte central de California, empezó a colapsarse (Wolf, 1992; Arenas *et al.*, 1996), se cree que dicho colapso pudo estar relacionado con los cambios bruscos en el ambiente los cuales pudieron estar asociados con la fase fría del cambio de régimen y la aplicación de un esfuerzo de pesca excesivo.

Según el índice ONI, en el periodo de estudio analizado se han presentado nueve eventos “El Niño”, pero solamente durante los eventos “El Niño” 1982-1983, 1991-1992, 1994-1995, 1997-1998, 2009-2010 y 2014-2015, presentaron repercusiones importantes, provocando disminuciones en las capturas de peces

pelágicos, principalmente a la sardina del Pacífico. El comportamiento de las capturas de sardina desembarcada en Bahía Magdalena presenta una gran variación, la cual pudiera estar asociada a los cambios en el ambiente.

La combinación de “El Niño” y de las anomalías positivas del PDO, generan un aumento en la TSM, reducción de vientos, fuerte estratificación vertical reduciendo el aporte de nutrientes y por ende una baja biomasa fitoplanctónica (Kahru & Mitchell, 2000; Bograd & Lynn, 2001); lo anterior afectando negativamente la producción marina por la disponibilidad de alimento (Chelton *et. al.*, 1982; Emery & Hamilton, 1985; Wooster & Fluharty, 1985; Mysak, 1986; Chavez *et. al.* 2002).

De acuerdo con el promedio mensual de capturas para la zona (Anexo VII), se observa que las capturas más elevadas se presentaron entre marzo-agosto con un promedio de 30,000 t y un segundo pico a finales del año con alrededor de 19,000 t, algo similar a lo reportado por Félix-Uraga *et. al.* (2004), quienes mencionan que la mayor parte de los desembarques de esta especie en Bahía Magdalena suceden en el primer semestre, pero un segundo pico de menor importancia ocurre al final del año. Por otro lado, Melo-Barrera *et. al.* (2010) reportaron que 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.

Para conocer los cambios en la importancia de los stocks en las capturas de la sardina del Pacífico en la costa occidental de B.C.S., fue necesario estructurar los datos de la captura con base a lo propuesto por Félix-Uraga *et. al.* (2004). Se observó que el stock templado fue el más significativo en las capturas descargadas en Bahía Magdalena. El primer semestre del año es más importante en las capturas realizadas en la zona de estudio (Félix-Uraga *et. al.*, 2004; Melo-Barrera *et. al.*, 2010); durante este semestre se presentaron temperaturas que van desde 18.3 a 20.5 °C, por lo tanto, todas las capturas realizadas este semestre pertenecieron al stock templado, lo cual justificaría su importancia, algo similar a lo reportado por Félix-Uraga (2006), quien

menciona que el stock templado representa entre 60-70% de la captura total desembarcada en Bahía Magdalena en el periodo 1981-2002.

Al analizar la importancia relativa de los reclutas en los datos no estructurados (Anexo VI), observamos que los reclutamientos más numerosos ocurrieron en los años de 1999, 2004, 2010. Dichos reclutamientos ocurrieron durante o un año después de los eventos “El Niño” de 1997-1998 y 2003-2004, 2009-2010, que quizás son derivados de 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; Quiñonez-Velázquez *et. al.*, 2002; Félix-Uraga, 2006).

Se observó que los reclutamientos más numerosos asociados a “El Niño” fueron más favorables para el stock cálido (Anexo VII), algo similar reportó Félix-Uraga (2006), quien analizó las estimaciones del índice de reclutamiento de la sardina del Pacífico por zonas y por stocks, señaló que las sardinias 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, B.C.S., y particularmente en el stock cálido, ocurrieron durante o un año después de los eventos “El Niño” de 1983-84, 1992-93 y 1998, que quizás hayan propiciado un éxito reproductivo que finalmente originaron clases anuales muy abundantes.

Se reconoce que los cambios en distribución y abundancia de la sardina del Pacífico no sólo están asociados con la TSM, sino a otros factores como la disponibilidad de oxígeno disuelto, el tipo y el tamaño de la presa (Bertrand *et. al.*, 2011). Las variaciones en las capturas de sardina pueden ser consideradas como indicadores de cambios en abundancia y/o disponibilidad (Melo-Barrera *et. al.*, 2010).

## 7.2. Estructura poblacional

Para conocer aspectos poblacionales básicos de la sardina del Pacífico desembarcada en Bahía Magdalena, B.C.S., se estimó la proporción sexual, estructura de tallas, estructura de edades y como un indicador de la estructura de edades se estimó el índice de diversidad, con el objetivo de obtener en un solo valor la importancia de los grupos de edad presentes en cada uno de los años del periodo analizado. El análisis secuencial se utilizó para identificar los periodos que definen los cambios en la estructura de talla y de edad.

Considerando una población no estructurada, así como para el stock templado, se encontró que la proporción por sexos no difiere de la teórica (1M:1H), sin embargo, para el stock cálido la diferencia en la proporción de sexos fue significativa, en donde, las hembras fueron ligeramente más abundantes. Álvarez-Trasviña (2012) analizó información de 28 años (1982-2009) de la proporción sexual en esta zona, reportando que existe diferencia en la proporción sexual, sin embargo, solamente en 11 años de este periodo de estudio se detectaron diferencias significativas. Por otro lado, García-Alberto (2010) quien trabajó en una región geográfica más amplia (Bahía Magdalena, B.C.S., Ensenada, B. C. y San Pedro, California, E.U.A.), no encontró diferencias significativas con respecto a la proporción teórica en las zonas mencionadas, aunque las hembras también fueron ligeramente más abundantes. La proporción sexual es un factor importante dentro de las poblaciones de peces, la cual puede cambiar de un año a otro y entre zonas (Nikolsky, 1963). Esta proporción puede verse afectada por distintos factores como pueden ser la TSM, las condiciones fisicoquímicas del agua y la nutrición; así como factores intra-específicos, entre otros (Korpelainen, 1990).

Considerando la modificación de la norma que propone el Plan de Manejo de Pelágicos Menores en 2012, en la cual se permite hasta un 30% de sardinas por debajo de la talla mínima legal por temporada, se puede decir que se está cumpliendo con la única medida de manejo en México, ya que solamente se capturó un 22% de sardinas

< 150 mm LE, cabe resaltar, que 12 de los 35 años, presentaron un porcentaje mayor lo establecido por el Plan de Manejo (Anexo VIII).

La estructura de talla de la sardina del Pacífico reportada en este estudio es similar a las reportadas por otros estudios en Bahía Magdalena (Torres-Villegas *et. al.*, 1995; Félix-Uraga, 2006; Álvarez-Trasviña, 2012; Melo-Barrera *et. al.*, 2010), pero a pesar de que el intervalo de talla fue similar, la importancia de los organismos por debajo de la talla mínima fue diferente. En el presente estudio, la importancia de los organismos por debajo de la talla legal fue muy variable (Anexo VIII). Melo-Barrera *et. al.* (2010) analizaron la información de 2006-2008 y señalan una disminución en el número de sardinas menores a 150 mm LE en la captura. Quiñónez-Velázquez *et. al.* (2017) reportan para la costa occidental de B.C.S., un 30% de organismos por debajo de la talla legal para la temporada 2015-2016. Las variaciones en la talla de la sardina del Pacífico pueden asociarse a cambios en el reclutamiento, a la presencia de clases muy abundantes, así como los cambios en el ambiente.

Se reporta una estructura de edad compuesta por siete grupos (edades de 0 a 6), las sardinas predominantes fueron de los grupos de edad 1 y 2. Para la costa occidental de B.C.S. se han reportado estructuras de edad, que involucran desde cinco grupos de edad (Félix-Uraga, 1986), seis grupos (Félix-Uraga, 1990; Melo-Barrera *et. al.*, 2010; Quiñónez-Velázquez *et. al.*, 2017) y hasta nueve grupos (0-8, Álvarez-Trasviña, 2012). Estas diferencias pueden deberse a los años de estudio, así como a los criterios para la estimación de la edad.

No se encontraron diferencias significativas en la estructura de edad debidas al sexo, lo que coincide con otros trabajos sobre *S. sagax* (Félix-Uraga, 2006; Melo-Barrera *et. al.*, 2010, Álvarez-Trasviña, 2012). Sin embargo, se encontraron diferencias significativas al momento de estructurar los datos por stocks. Al momento de observar la talla a la edad (Anexo IX) por stocks, observamos que las sardinas del stock templado fueron ligeramente más grandes en comparación con las del cálido, lo cual coincide con lo reportado por Clark, (1931), Torres-Villegas *et. al.* (1995), García-

Franco *et. al.* (2001) y Emmett *et. al.* (2005), quienes mencionan que a lo largo de la distribución de *S. sagax* en el Pacífico nororiental, existe un clinal bien definido, las tallas menores se presentan al sur de su distribución (Bahía Magdalena) tallas medianas en Ensenada y San Pedro, California, y las tallas más grandes en la parte norte de Estados Unidos y Canadá.

Se estableció que las marcas de crecimiento presentaron una periodicidad anual. Esta periodicidad anual en los otolitos de la sardina del Pacífico también fue reportada para esta especie en el Sur de California por Barnes y Foreman (1994); Yaremko (1996), y Quiñonez-Velázquez *et. al.* (2002) reportaron para *S. sagax* en Isla Cedros el mismo patrón estacionalidad. La formación de las marcas de crecimiento de especies tropicales ha sido relacionada con actividades reproductivas (Beckman *et. al.*, 1991). En el caso de la sardina del Pacífico en el presente estudio, no se presentó una relación significativa entre el porcentaje de bordes opacos y los organismos maduros (gónadas en fase de madurez, desovando y post desove), sin embargo, al retrasar un mes el porcentaje de bordes opacos se presentó una relación inversa significativa, posiblemente este resultado sea a consecuencia del amplio periodo de desove de la sardina del Pacífico y/o al retraso de la respuesta biológica al estímulo ambiental.

Para esta especie se ha reportado que las zonas opacas en los otolitos reflejan periodos de rápido crecimiento y coinciden con los meses de primavera-verano cuando el alimento es abundante; y las zonas translúcidas a periodos de lento crecimiento en los meses de otoño-invierno cuando la tasa de crecimiento somático disminuye, así como la disponibilidad de alimento y se detecta un descenso de la temperatura (Beckman & Wilson, 1995). Félix-Uraga (1986), el menciona que las bandas opacas se forman cuando los individuos presentan gónadas pequeñas en periodo de reposo y de recuperación y las bandas translúcidas se forman cuando los individuos presentan gónadas grandes en estado avanzado de maduración o desovadas (fase de actividad reproductiva).



En las capturas desembarcadas en Bahía Magdalena, se presentan sardinias maduras durante todo el año, pero la mayor proporción de organismos maduros se presentan en invierno (enero a marzo), y un segundo pico de menor importancia en otoño (noviembre y diciembre). García-Alberto (2010) encontró organismos maduros y en posdesove a lo largo del año, definiéndose la época de reproducción en invierno-primavera, lo anterior ha sido reportado ampliamente para la sardina del Pacífico en el SCC (Clark ,1931; Ahlstrom, 1954; Wong, 1973; Lluch-Belda *et. al.*, 1991; Hernández-Vázquez, 1994; Torres-Villegas *et. al.*, 1995; Álvarez-Trasviña, 2008).

Se realizaron análisis de precisión de las lecturas de las marcas de crecimiento, para evaluar potenciales sesgos entre lectores. El PA ha sido utilizado como un indicador de precisión de las lecturas asignadas a una estructura, sin embargo, esta medida de precisión varía ampliamente entre especies y entre la edad de los organismos (Beamish & Fournier, 1981; Campana, 2001; Cailliet *et. al.*, 2006). A pesar de lo anterior, es válido utilizar el porcentaje de acuerdo para hacer comparaciones entre lectores (Goldman, 2004), tal como fue utilizado en este estudio.

La precisión en las estimaciones de edad es un componente crítico en cualquier estudio de edad y crecimiento y es definida como la reproducibilidad de las lecturas en una estructura dada (Campana, 2001). Sin embargo, estas estimaciones de edad pueden no ser exactas, es decir, no necesariamente representan la edad absoluta o verdadera (Goldman, 2004). La precisión entre los lectores en este estudio demostró que las lecturas fueron consistentes de acuerdo con valores del IAPE y CV. Cailliet *et. al.* (2006) menciona que el uso combinado de varios métodos para evaluar la precisión de las estimaciones, como el IAPE, CV, el PA y la curva de edad entre lectores, es mejor que utilizar un solo método ya que si los resultados por diferentes métodos son similares, entonces las conclusiones tienen mayor certidumbre.

### 7.3. Efecto del ambiente en los cambios de talla y edad

Para evaluar la relación entre las variables biológicas, ambientales y la captura, se calcularon correlaciones y para obtener una representación de éstas se utilizó el ACoP. Se obtuvo una relación directa entre PDO, “El Niño” y TSM, debido a que la mayor parte del periodo analizado está dentro de la fase cálida del cambio de régimen 1975-1999 (Chávez *et. al.* 2002).

Se encontró que las anomalías positivas en temperatura (PDO, “El Niño”) tienen un efecto negativo en las capturas, cuando se presentan dichos calentamientos asociado a alguna de estas variables, o la combinación de ellas, los rendimientos de sardina disminuyen y lo mismo sucede con las surgencias. Así mismo, las surgencias se relacionan de manera directa con las capturas, ya que aportan los nutrientes necesarios para la productividad primaria y la sardina se ve favorecida cuando hay alimento disponible. En los años 1994-95, 2002-03, 2006-07 y 2011 se presentaron capturas altas, lo cual coincide con los valores más altos de surgencias. Se ha reportado que las anomalías positivas del PDO y “El Niño” se asocian con un debilitamiento de los vientos favorables para surgencias, y un aumento anómalo de la TSM (Lluch-Belda *et. al.*, 1986; Zwolinski *et. al.*, 2011; Valencia-Gasti *et. al.*, 2015).

Al momento de evaluar la relación de la LE de los reclutas se encontró una relación inversa con “El Niño” y PDO y una relación directa con la captura y las surgencias, dichas relaciones se presentaron en los datos no estructurados y para el stock cálido; para el stock templado solo se encontró una relación inversa de la LE con el “El Niño”. Estas relaciones sugieren que la captura aumenta por la dominancia de reclutas (reclutamientos fuertes) y por el efecto de las surgencias que afectan positivamente la disponibilidad de alimento a los primeros estadios de desarrollo de la sardina.

El Análisis de Coordenadas Principales mostró la distribución espacial en la fuerza y dirección entre las variables. En los gráficos se observa cuáles fueron las variables más importantes en los cambios de la estructura de edad por año. En todos los casos se agrupan los años caracterizados por calentamientos anómalos, en donde destacan 1981, 1983, 1987 y 2011; en esos años las capturas disminuyeron, así como la estructura de edad, afectando principalmente al grupo de edad 0.

Contrariamente, los años caracterizados por altas capturas, algunos de ellos coinciden con altos índices de surgencias, 1994-5, 2000, 2003, 2007, otros donde se presentaron buenos rendimientos, 1990-1 y 2014; pero el rasgo más importante en esta serie de años fue una amplia estructura de edad. No obstante, que la distribución espacial de los años en relación con las coordenadas ACoP1 y ACoP2 es diferente en todos los casos (población sin y estructurada en stocks), la agrupación explicar las mismas relaciones; sugiriendo que las condiciones del ambiente juegan un papel importante en la estructura de edad de la captura y esto lo vemos reflejado en la talla promedio de la sardina del Pacífico.

Las fluctuaciones en abundancia, estructura de talla, edad y patrones de distribución de la sardina del Pacífico responden, entre otros, a la variabilidad ambiental. Esas respuestas son consecuencia tanto de efectos climáticos y oceanográficos que afectan de manera directa e indirecta al recurso, mediados por cambios inducidos en otros niveles tróficos relacionados (alteración en la cantidad y calidad de alimento de adultos y larvas, mecanismos de control del ecosistema). Sin embargo, aún se desconoce cómo estos procesos interactúan entre sí (Ottersen *et. al.*, 2010), y de qué manera afectan a las cadenas tróficas (Yoo *et. al.*, 2008) y en último término al ecosistema (Cury & Shannon, 2004; Kenny *et. al.*, 2009).

La sardina del Pacífico responde inmediatamente a los cambios ambientales (Parrish *et. al.*, 1981), dichas variaciones generan drásticas fluctuaciones en su abundancia (Lluch-Belda *et. al.*, 1989; Schwartzlose *et. al.*, 1999). Por otro lado, su

explotación comercial también ha sido responsable de los cambios históricos en su productividad (Hsieh *et. al.*, 2006; Rykaczewski & Checkley, 2008).

El ambiente junto al efecto antropogénico, alteran las características poblacionales de la especie, causando cambios interanuales en la estructura de talla y edad (Hsieh *et. al.*, 2006; Anderson *et. al.*, 2008). En el presente estudio los resultados muestran una gran variación interanual en la estructura de talla y edad, el análisis secuencial mostró una serie de periodos en ambas estructuras, las disminuciones drásticas en la talla promedio y en el ID (indicador de la estructura de edad) se relacionaron con “El Niño”.

## 8. CONCLUSIONES

Se corroboró la presencia de una población estructurada en stocks (templado y cálido) de *Sardinops sagax* en las capturas desembarcadas en Bahía Magdalena, donde el stock templado fue más importante representando entre el 60% en términos de captura.

La proporción sexual de la sardina del Pacífico en las capturas desembarcadas en Bahía Magdalena para los datos no estructurados y para el stock templado no difirieron de la proporción teórica, a comparación del stock cálido en donde la diferencia fue significativa. La proporción de hembras fue mayor en todos los casos, siendo más marcada para el stock cálido.

La estructura de tallas y de edades fue muy similar para los datos no estructurados y estructurados por stocks. Sin embargo, se encontraron diferencias significativas por stocks en ambas características biológicas. Las sardinias menores a la talla mínima (150 mm LE) fueron más importantes en el stock cálido a comparación del templado, lo cual se vio reflejado en la estructura de edad.

Se confirmó que la periodicidad de las marcas de crecimiento (conjunto de una banda opaca y una translúcida) es anual.

Los cambios en la estructura de tallas y edad de los datos no estructurados y del stock templado fueron muy similares, debido a la importancia relativa del stock templado en las capturas. No se encontró un patrón definido en los cambios en talla y edad del stock cálido, lo cual puede deberse a la menor importancia relativa de este stock en algunos años del periodo analizado.

Se observó que ambiente, principalmente el evento de “El Niño”, juega un papel muy importante de la variación interanual de la captura, en la estructura de talla y edad de la sardina del Pacífico. Los reclutamientos más numerosos se registraron después del

evento de “El Niño”, provocando un incremento en la captura y una disminución en la talla promedio, la cual se vio reflejada en la edad (ID).

De acuerdo con los análisis de correlación y al Análisis de Coordenadas Principales, se observó que todas las variables ambientales utilizadas en este trabajo afectan a la dinámica de la población de sardina del Pacífico. Los stocks responden de manera diferente ante el mismo estímulo ambiental, cada uno tiene requerimientos ambientales diferentes que afectan su distribución y abundancia y en consecuencia la disponibilidad a la pesca.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo-Canela, M. & E. Lora-Monge. 2007. Cómo realizar “paso a paso” un contraste de hipótesis con SPSS para Windows: (III) Relación o asociación y análisis de la dependencia (o no) entre dos variables cuantitativas. Correlación y regresión lineal simple. Documento de la Fundación Andaluza Beturia para la Investigación en Salud (fabis.org). Dot. Núm. 0702005. Disponible en: [http://www.fabis.org/html/archivos/docuweb/contraste\\_hipotesis\\_3r.pdf](http://www.fabis.org/html/archivos/docuweb/contraste_hipotesis_3r.pdf).
- Ahlstrom, E.H. 1954. Distribution and abundance of egg and larval populations of the Pacific sardine. *U.S. Fish. Wildlife. Service. Fishery Bulletin*. 56: 83-140.
- 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.
- Álvarez-Trasviña, E. 2008. Biología reproductiva de la sardina del Pacífico *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) en Bahía Magdalena, durante 1981 a 2005. *Tesis de Licenciatura*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, B.C.S., México. 56 p.
- Álvarez-Trasviña, E. 2012. Variabilidad en el crecimiento individual de la sardina del Pacífico *Sardinops sagax* (Jennys, 1842) y su relación con el ambiente en la Bahía Magdalena, B.C.S. *Tesis de Maestría*. CICIMAR-IPN. 52 p.
- Anderson, C.N.K., C. Hsieh, S.A. Sandin, R. Hewitt, A. Hollowed, J. Beddington, R.M. May & G. Sugihara. 2008. Why fishing magnifies fluctuations in fish abundance. *Nature*. 452: 835–839.
- Arenas, F.P., R.J. Hunter & L.D. Jacobson. 1996. The 1994 México-U.S. spawning biomass survey for Pacific sardine (*Sardinops sagax*) and the 1995 CalCOFI Sardine Symposium. *CalCOFI Rep.* 37: 129-133.

- Arshad, M., M.T., Rasool, & M.I. Ahmad. (2003). Anderson Darling and modified Anderson Darling tests for Generalized Pareto Distribution. *Pakistan Journal of Applied Sciences*. 3: 85-88.
- 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*). *California Fish and Game*. 80: 29-35.
- Beamish, R.J. & D.A. Fournier. 1981. A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 38: 982-983.
- Beckman, D.W. & C.A. Wilson. 1995. Seasonal timing of opaque zone formation in fish otoliths. Pages 27-43 in David H. Secor, John M. Dean and Steven E. Campana, eds. *Recent developments in fish otolith research*. University of South Carolina Press, Columbia.
- Beckman, D.W., A.L. Stanley, J.H. Render & C.A. Wilson. 1991. Age and growth-rate estimation of sheepshead *Archosargus probatocephalus* in Louisiana waters using otoliths. *Fishery Bulletin*. 89: 1-8.
- Bertrand, A., A. Chaigneau, S. Peraltila, J. Ledesma, M. Graco, F. Monetti & F. Chávez. 2011. Oxygen: A fundamental property regulating pelagic ecosystem structure in the coastal southeastern tropical Pacific. *Public Library of Science ONE*. 6: 1-8.
- Bograd, S.J. & R.J. Lynn. 2001. Physical-biological coupling in the California Current during the 1997-99 El Niño – La Niña cycle. *Geophysical Research Letters*. 28: 275-278.
- Cailliet, G.M. & K.J. Goldman. 2004. Age Determination and Validation in Chondrichthyan Fishes, 399-439. En: Carrier, J.C., J.A. Musick & M.R Heithaus



- (Eds.) *Biology of Sharks and Their Relatives*. CRC Press. 2004. Florida, EU. 596 p.
- Cailliet, G.M., W.D. Smith, H.F. Mollet & K.J. Goldman. 2006. Age and growth studies of chondrichthyan fishes: the need for consistency in terminology, verification, validation, and growth function fitting. *Environmental Biology of Fishes*. 77: 211-228.
- Campana, S.E. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology*. 59: 197–242.
- Chang, W.Y.B. 1982. A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 39: 1208-1210.
- Chávez, F.P., C.A. Collins, A. Huyer & D.L. Mackas. 2002. El Niño along the west coast of North America. *Progress in Oceanography*. 54: 1-5.
- Chávez, F.P., J. Ryan, S.E. Lluch-Cota & C.M. Niquen. 2003. From anchovies to sardines and back: Multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science*. 299: 217–221
- Chelton, D.B., P.A. Bernal & J.A. McGowan. 1982. Large-scale interannual physical and biological interaction in the California Current. *Journal of Marine Research*. 40: 1095–1125.
- Cisneros-Mata, M.A., M.O. Nevárez-Martínez & G. Hammann. 1995. The raise and fall of the Pacific sardine, *Sardinops sagax caeruleus* Girard, in the Gulf of California, México. *CalCOFI Rep*. 36: 136-143.
- Clark, F.N. & J.C. Marr. 1955. Population dynamics of the Pacific sardine. *CalCOFI Prog. Rep*. 1 July 1953-31 March 1955: 11-48.

- Clark, F.N. & J.F. Janssen Jr. 1945. Movements and abundance of the sardine as measured by tag returns. *Fishery Bulletin*. 61: 7-12.
- Clark, F.N. 1931. Maturity of the California Sardine (*Sardina caerulea*), determined by ovary diameter measurements. *Fishery Bulletin*. 42: 1-51.
- Clark, F.N. 1947. Analysis of populations of the Pacific sardine on the basis of vertebral counts. *Fishery Bulletin*. 65: 5-26.
- COSEWIC. 2002. COSEWIC assessment and update status report on the Pacific sardine *Sardinops sagax* in Canada. Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada. Ottawa. 19 p.
- Cury, P. & L.J. Shannon. 2004. Regime shifts in upwelling ecosystems: observed changes and possible mechanisms in the northern and southern Benguela. *Progress in Oceanography*. 60: 223-243.
- Cushing, D.H. 1981. Fisheries biology. A study in population dynamics. *The University of Wisconsin Press*. Ltd, Second Edition. London: 295 pp.
- 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 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: Elewa, A.M. (Ed.), *Morphometrics: Applications in Biology and Paleontology*. Springer-Verlag, New York, NY, 115–124 p.
- Demer, D.A., J.P. Zwolinski, K. Byers, G.R. Cutter Jr., J.S. Renfree, S.T. Sessions & B.J. Macewicz. 2012. Prediction and confirmation of seasonal migration of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) in the California Current Ecosystem. *Fishery Bulletin*. 110: 52–70.

- Ehrhardt, N. 1981. Curso sobre métodos de evaluación de recursos y dinámica de poblaciones. Tercera parte. *Parámetros -Poblacionales*. FAO-CICIMAR, La Paz, B.C.S. México.
- Emery, W. & D. Hamilton. 1985. Atmospheric forcing of interannual variability in the northeast Pacific Ocean: connections with El Niño. *Journal of Geophysical Research*. 90: 857–868.
- 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.
- FAO. 2014. Estadísticas de pesca y acuicultura 2012. Roma. 76 p.
- Farrell, P.J., & K. Rogers-Stewart. 2006. Comprehensive study of tests for normality and symmetry: extending the Spiegelhalter test. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 76: 803–816.
- Félix-Uraga, R. 1986. Edad, crecimiento y estructura poblacional de *Sardinops sagax caerulea* en Bahía Magdalena, durante 1981 A 1984. La Paz, B.C.S., México. *Tesis de Maestría*. CICIMAR - 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. 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: 9-13.
- 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. 2015. Capturas de sardina Monterrey en el océano Pacífico Nororiental, 1981-2014. Comité Técnico para el Estudio de los Pelágicos Menores. *Memorias del XXIII Taller*. Junio 2015 La Paz, BCS.
- Félix-Uraga, R., C. Quiñónez-Velázquez, K.T. Hill, V. Gómez-Muñoz, F.N. Melo-Barrera & 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., 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.
- Félix-Uraga, R., V.M. Gómez-Muñoz, C. Quiñónez-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.
- García-Alberto, G. 2010. Reproducción de la sardina del Pacífico *Sardinops sagax* (Jennys,1842) en la región sur de la corriente de California. *Tesis de Maestría*. CICIMAR-IPN. 82 p.
- García-Franco, W., A. Cota-Villavicencio & F.J. Sánchez-Ruiz. 2001. Diagnóstico de la pesquería de peces pelágicos menores en la costa occidental de Baja California, México. Centro Regional de Investigación Pesquera de Ensenada. Ensenada, BC. México
- 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* (Jennys, 1842) in Mexico based on morphometric and genetic analyses. *Fisheries Research*. 107: 169–176

- Gluyas-Millán M.G. & C. Quiñonez Velázquez. 2010. Estructura de tallas y edades de la captura de macarela *Scomber japonicus* en el golfo de California. *Ciencia Pesquera*. 18: 77-84
- Goldman, K.J. 2004. Age and growth of elasmobranch fishes. 97-131. En: Musick, J. & R. Bonfil (Eds.) Elasmobranch Fisheries Management Techniques. Asia Pacific Economic Cooperation. Singapore. 370 p.
- González-Galán, M.D., A. González-Galán & G. Pérez-Morales. 2008. Correlación: Estadística e Introducción a la Econometría. Disponible en:<http://www.uhu.es/45110/Ficheros%20de%20datos/curso%202007%202008/spss/PRACTICA%209.pdf>
- González-Ochoa, O.A., C. Quiñonez-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 Quiñonez-Velázquez C. & J.F. Elorduy Garay (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-IPN. 66 p.
- Gutiérrez-Flores, C. 2007. Estructura genética poblacional de la sardina del pacífico nororiental *Sardinops sagax caeruleus*. *Tesis de Maestría*. CICESE, Ensenada, B.C. 112 p.
- Harley C.D., A. Randall Hughes, K.M. Hultgren, B.G. Miner, C.J. Sorte, C.S. Thornber, L.F. Rodriguez, L. Tomanek & S.L. Williams. 2006. The impacts of climate change in coastal marine systems. *Ecology Letters*. 9: 228-241.

- 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*. *Fishery Bulletin*. 87: 653-671.
- Hernández-Trujillo, S., R. Palomares-García, G.A. López-Ibarra, G. Esqueda-Escárcega & R. Pacheco-Chávez. 2004. *Riqueza específica de copépodos en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México*. Anales del Instituto del Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología. 75: 253-270.
- Hernández-Vázquez, S. 1994. Distribution of eggs and larvae from sardine and anchovy off California and Baja California, 1951-1989. *CalCOFI Rep*. 35: 94-107.
- Hill, K.T., N.C.H. Lo, B.J. Macewicz, P.R. Crone & R. Félix-Uraga. 2006. Assessment of the pacific sardine resource in 2010 for U.S. Management in 2007. National Oceanic and Atmospheric Administration Technical Memorandum. NMFS-SWFSC-396.
- Holden, M.J. & D.F.S. Raitt. 1975. Métodos para investigar los recursos y su aplicación. *Manual de Ciencia Pesquera*. Parte 2, FAO. 123 pp.
- 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.
- Houde, E.D. 2008. Emerging from Hjort's shadow. *Journal of the Northwest Atlantic Fishery* 41:53–70
- Hsieh C., C.S. Reiss, J.R. Hunter, J.R. Beddington, R.M. May & G. Sugihara. 2006. Fishing elevates variability in the abundance of exploited species. *Nature*. 443: 859–862.

- 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.
- Kahru, M. & B.G. Mitchell. 2000. Influence of the 1997-98 El Niño on the Surface chlorophyll in the California Current. *Geophysical Research Letters.* 27: 2937-2940.
- Kenny, A., H. Skjoldal, G. Engelhard, P. Kershaw & J. Reid. 2009. An integrated approach for assessing the relative significance of human pressures and environmental forcing of the status of Large Marine Ecosystems. *Progress in Oceanography.* 81: 132-148.
- Korpelainen, H. 1990. Sex ratios and conditions required for environmental sex determination in animals. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society.* 65: 147-184.
- Lecomte, F., W.S. Grant, J.J. Dodson, R. Rodríguez-Sánchez & B. Bowen. 2004. Living with uncertainty: genetic imprints of climate shifts in East Pacific anchovy (*Engraulis mordax*) and sardine (*Sardinops sagax*). *Molecular Ecology.* 13: 2169–2182.
- Lluch-Belda, D., B.F.J. Magallón & R.A. Schwartzlose. 1986. Large fluctuations in the sardine fishery in the Gulf of California: Possible causes. *CalCOFI Rep.* 27: 136–140.
- LLuch-Belda, D., D.B. Lluch-Cota, S. Hernández-Vázquez, C.A. Salinas-Zavala & R.A. Schwartzlose. 1991. Sardine and anchovy spawning as related to temperature and upwelling in the California current system. *CalCOFI Rep.* 32: 105-111.
- 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. *South African Journal of Marine Science*. 8: 195–205.

Lluch-Cota, D. 2002. Satellite measured interannual variability of coastal phytoplankton pigment in the tropical and subtropical eastern Pacific. *Continental Shelf Research*. 22: 803-820.

López-Martínez, J., M.O. Nevárez-Martínez, R.E. Molina-Ocampo & F.A. Manrique-Colchado. 1999. Traslape en el tipo y tamaño de presa que forman la dieta de la sardina Monterrey *Sardinops caeruleus* (Girard 1856), la sardina crinuda *Opisthonema libertate* (Günther 1867) y la anchoveta norteña *Engraulis mordax* (Girard 1856) en el Golfo de California. *Ciencias Marinas* 25: 541-556.

MacCall, A.D. 1979. Population estimates for the waning years of the Pacific sardine fishery. *CalCOFI Rep.* 10: 72-82.

Mantua, N.J. & S.R. Hare. 2002. The Pacific Decadal Oscillation. *Journal of Oceanography (Japan)*. 58:35-44.

Mantua, N.J., S.R. Hare, Y. Zhang, J.M. Wallace & R.C. Francis. 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 78: 1069– 1079.

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.

Marteinsdóttir G. & K. Thorarinsson. 1998. Improving the stock-recruitment relationship in Icelandic cod (*Gadus morhua*) by including age diversity of spawners. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 55:1372–1377.



- McFarlane G.A., J. Schweigert, L. MacDougall & H. Hrabok. 2005. Distribution and biology of Pacific sardines (*Sardinops sagax*) British Columbia, Canada. *CalCOFI Report*. 46: 144-160.
- 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.
- Murphy, G.I. 1966. Population biology of the Pacific sardine *Sardinops caerulea*. *Proceedings of the California Academy of Sciences*. 34: 1-87.
- Mysak, L. 1986. El Niño, interannual variability and fisheries in the northeast Pacific Ocean. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*. 43: 464–497.
- Nevárez-Martínez, M.O., C.E. Coteró-Altamirano, W. García-Franco, M.L. Jacob-Cervantes, Y.A. Green-Ruiz, G. Gluyas-Millán, M.A. Martínez-Zavala & J.P. Santos-Molina. 2006. *Propuesta del plan de manejo para la pesquería de pelágicos menores (sardinias, anchovetas, macarelas y afines)*. INP-SARGARPA. 47 p.
- Nikolsky, D.V. 1963. The ecology of fishes. *Academic Press*, New York. 532 p.
- Norma Oficial Mexicana NOM-003-PESC-1993, para regular el aprovechamiento de las especies de sardina Monterrey, piña, crinuda, bocona, japonesa y de las especies anchoveta y macarela, con embarcaciones de cerco, en aguas de Jurisdicción Federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California. 21 de diciembre de 1993. México. Diario Oficial de la Federación 2003.
- Ottersen, G., S. Kim, G. Huse, J.J. Polovina & N.C. Stenseth. 2010. Major pathways by which climate may force marine fish populations. *Journal of Marine Systems* 79: 343–360

- Parés-Sierra, A., M. López & E.G. Pavia. 1997. Oceanografía física del océano Pacífico Nororiental, 1-24. En: Lavín, M. F. (Ed.). *Contribuciones a la oceanografía física en México. Unión Geofísica Mexicana. Monografía No. 3.*
- Parrish, R.H., C.S. Nelson & A. Bakun. 1981. Transport mechanisms and reproductive success of fishes in the California Current. *Biological Oceanography*.1: 175-203.
- Parrish, R.H., R. Serra & W.S. Grant. 1989. The monotypic sardines, *Sardina* and *Sardinops*: Their taxonomy, distribution, stock structure, and zoogeography. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 46: 2019-2036
- Quiñonez-Velázquez C. & C.K. Grijalva-Calderón. En prensa. La pesquería de pelágicos menores. En: *Biodiversidad en Baja California Sur, Estudio de Estado*. CONABIO y el Gobierno del Estado de Baja California Sur.
- Quiñonez-Velázquez C., C.K. Grijalva-Calderón, M. Ruiz-Domínguez, C.I. Pérez-Quiñonez, E.F. Martínez-Ochoa & L. Salgado-Cruz. 2017. La pesquería de pelágicos menores en Bahía Magdalena, temporada 2016. En: *Memorias del XXV Taller del Comité Técnico de Pelágicos Menores*. Guaymas. Son.
- Quiñonez-Velázquez, C., R. 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. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 37: 1-8.
- Quiñonez-Velázquez, C., R. Alvarado-Castillo & R. Félix-Uraga. 2000. El ambiente y la disponibilidad de sardina Monterrey en Bahía Magdalena, BCS. *Resúmenes VIII Taller del Comité Técnico De Pelágicos Menores "Manejo adaptativo de las poblaciones de pelágicos menores"*. 14 al 16 de junio del 2000, Ensenada, BC.

- R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Radovich, J. 1982. The collapse of the California sardine fisheries. What have we learned?. *CalCOFI Rep.* XXIII 56-78.
- Rodionov, S. 2004. A sequential algorithm for testing climate regime shifts. *Geophysical Research Letters.* 31: L09204.
- Rodríguez-Sánchez, R., D. Lluch-Belda, H. Villalobos & S. Ortega-García. 2002. Dynamic geography of small pelagic fish populations in the California Current System on the regime time scale (1931-1997) *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.* 59: 1980-1988
- Rykaczewski R.R. & D.M. Checkley. 2008. Influence of ocean winds on the pelagic ecosystem in upwelling regions. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 105: 1965–1970.
- Saldívar-Lucio, R., P. Del Monte-Luna, D.B. Lluch-Cota, C.J. Salvadeo, J.L. Castro-Ortiz & H. Villalobos. 2015. Componentes cíclicos del clima oceánico en la proyección de las capturas de sardina monterrey en la Corriente de California. *Comité Técnico para el Estudio de los Pelágicos Menores Memorias del XXIII Taller.* Junio 2015 La Paz, BCS.
- 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 & J.Z. Zuzunaga. 1999. Worldwide large-scale fluctuations of sardine and anchovy populations. *South African Journal of Marine Science.* 21: 289-347.

- Sette, O.E. & J.D. Isaacs. 1960. The changing Pacific Ocean in 1957 and 1958, *CalCOFI Reports*, 7: 13-127.
- Shannon, C.E. 1948. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*. 27:379-423.
- Smith, P. 2005. A history of proposals for subpopulation structure in the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) population off western North America. *CalCOFI Rep.* 46: 76-82.
- Sprague, L.M. & A.M. Vrooman. 1962. A racial analysis of the Pacific sardine (*Sardinops caerulea*) based on studies of erythrocyte antigens. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 97: 131-138.
- STATISTICA 7. (data analysis software system), version 7. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).
- Takahashi, M. & D.M. Checkley, Jr. 2008. Growth and survival of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) in the California current region. *J. Northwest Atl. Fish. Sci.* 41: 129–136.
- Ter Braak, C.J.F. 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*. 67: 1167-1179.
- Tesch, F.W. 1971. Age and Growth, p. 96-130. En: Methods for assessment of fish production in fresh waters (W.E. Ricker, ed.). Second Edition, IBP. -Handbook No. 3, London. 341 p.
- Torres-Villegas, J.R., R.I. Ochoa-Báez, L. Perezgómez-Álvarez & G. García-Melgar. 1995. Comparison of seasonal variability in the reproduction of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) from Baja California Sur, Mexico, in the years 1982-1992. *Scientia Marina*. 59: 255-264.

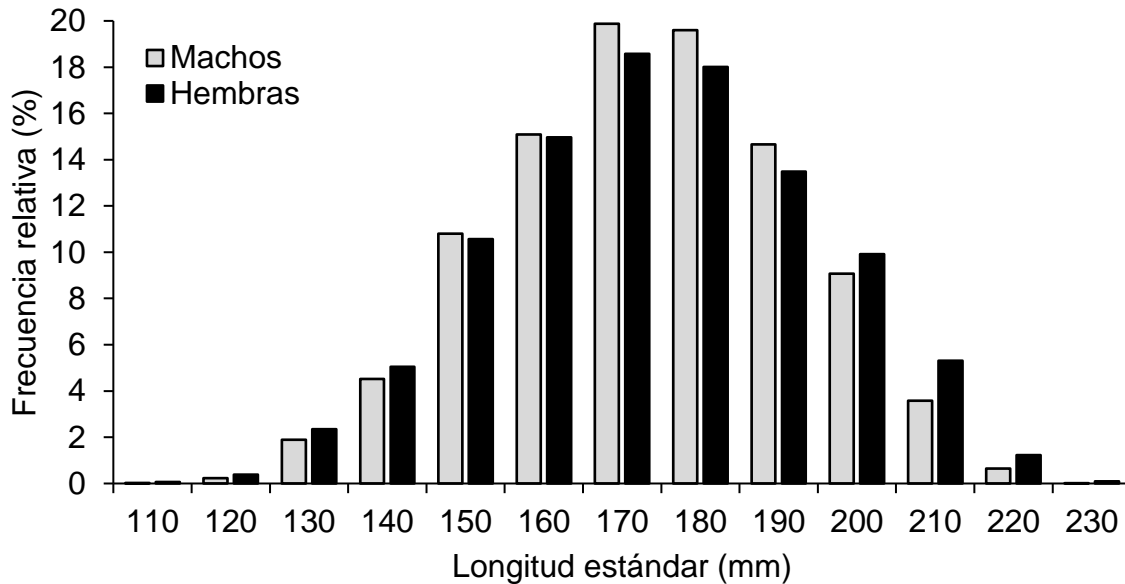
- Valencia-Gasti, J.A., T. Baumgartner & R. Durazo. 2015. Effects of ocean climate on life cycles and distribution of small pelagic fishes in the California Current System off Baja California. *Ciencias Marinas*. 41: 315-348
- Vrooman, A.M. 1964. Serologically differentiated subpopulations of the Pacific sardine, *Sardinops caerulea*. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. 21: 691-701.
- 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. & A.E. Daugherty. 1964. Age and length composition of the sardine catch off the Pacific Coast of the United States and Mexico in 1961 and 1962. *California Fish and Game*. 50: 241–242.
- Wong, M. 1973. Biología de la sardina del Golfo de California (*Sardinops sagax caerulea*). *CalCOFI Rep.* 17: 97-100.
- Wooster, W.S. & D.L. Fluharty. 1985. El Niño North: Niño Effects in the Eastern Subarctic Pacific Ocean. Seattle, WA: *Washington Sea Grant Program*. 312 p.
- Yaremko, M.L. 1996. Age determination in Pacific sardine, *Sardinops sagax*. NOAA Technical Memorandum NMFS 223:22 p.
- Yoo, S., H. Batchelder, W. Peterson & W. Sydeman. 2008. Seasonal, interannual and event scale variation in North Pacific ecosystems. *Progress in Oceanography*. 77: 155-181.
- Zar, J.H. 1996. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall, New Jersey, 944 p.

Zwolinski J.P., R.L. Emmett, D.A. Demer. 2011. Predicting habitat to optimize sampling of Pacific sardine (*Sardinops sagax*). *ICES Journal of Marine Science*. 68: 867–879.

Zwolinski, J.P. & D.A. Demer. 2012. A cold oceanographic regime with high exploitation rates in the Northeast Pacific forecasts a collapse of the sardine stock. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109: 4175-4180.

## 10. ANEXOS

Anexo I. Estructura de tallas por sexos de la captura de sardina del Pacífico en Bahía Magdalena, de 1981 al 2015.



Anexo II. Correlación de Spearman entre la talla promedio de los reclutas y las variables ambientales retrasadas un año (Temperatura superficial del mar (TSM), “El Niño” (ONI), índice de la oscilación decadal del Pacífico (PDO), surgencias). Datos no estructurados.

<i>r<sub>Spearman</sub></i>	Talla	TSM-1	“El Niño”-1	PDO-1	SURG-1
Talla	1				
TSM-1	-0.242	1			
“El Niño”-1	<b>-0.571</b>	<b>0.448</b>	1		
PDO-1	<b>-0.426</b>	<b>0.360</b>	<b>0.465</b>	1	
SURG-1	<b>0.522</b>	-0.129	-0.285	<b>-0.470</b>	1
<i>p</i>	Talla	TSM-1	“El Niño”-1	PDO-1	SURG-1
Talla	0				
TSM-1	0.182	0			
“El Niño”-1	<b>0.001</b>	<b>0.008</b>	0		
PDO-1	<b>0.016</b>	<b>0.037</b>	<b>0.006</b>	0	
SURG-1	<b>0.002</b>	0.464	0.103	<b>0.006</b>	0

Anexo III. Correlación de Spearman entre la talla promedio de los reclutas y las variables ambientales retrasadas un año (Temperatura superficial del mar (TSM), “El Niño” (ONI), índice de la oscilación decadal del Pacífico (PDO), surgencias). Stock templado.

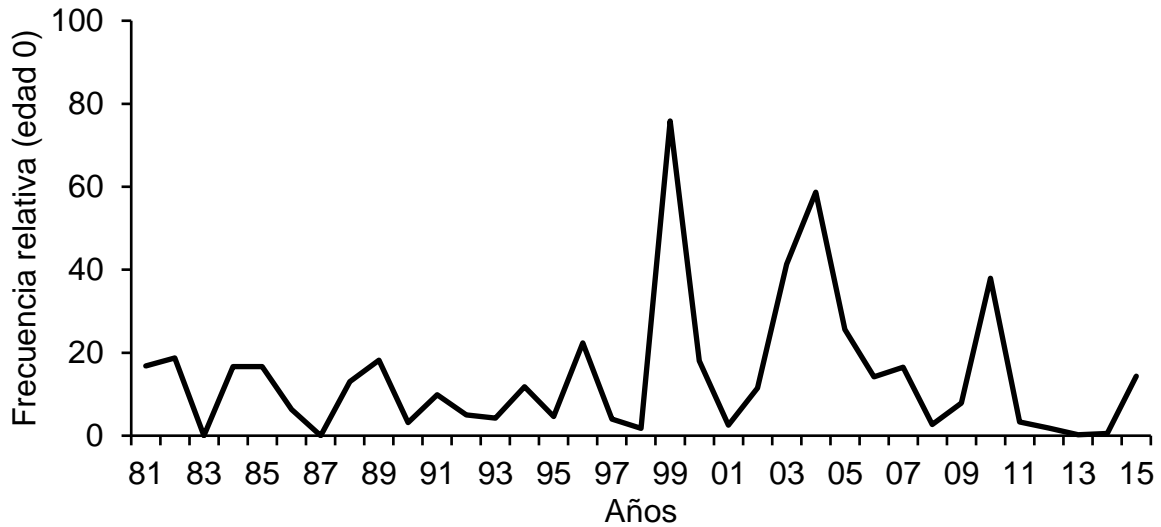
$r_{Spearman}$	Talla	TSM-1	“El Niño”-1	PDO-1	SURG-1
Talla	1				
TSM-1	0.100	1			
“El Niño”-1	<b>-0.370</b>	0.275	1		
PDO-1	-0.252	<b>0.419</b>	<b>0.465</b>	1	
SURG-1	0.050	-0.051	-0.212	<b>-0.446</b>	1
$p$	Talla	TSM-1	“El Niño”-1	PDO-1	SURG-1
Talla	0				
TSM-1	0.604	0			
“El Niño”-1	<b>0.048</b>	0.11	0		
PDO-1	0.186	<b>0.01</b>	<b>0.006</b>	0	
SURG-1	0.799	0.78	0.230	<b>0.008</b>	0

Anexo IV. Correlación de Spearman entre la talla promedio de los reclutas y las variables ambientales retrasadas un año (Temperatura superficial del mar (TSM), “El Niño” (ONI), índice de la oscilación decadal del Pacífico (PDO), surgencias). Stock cálido.

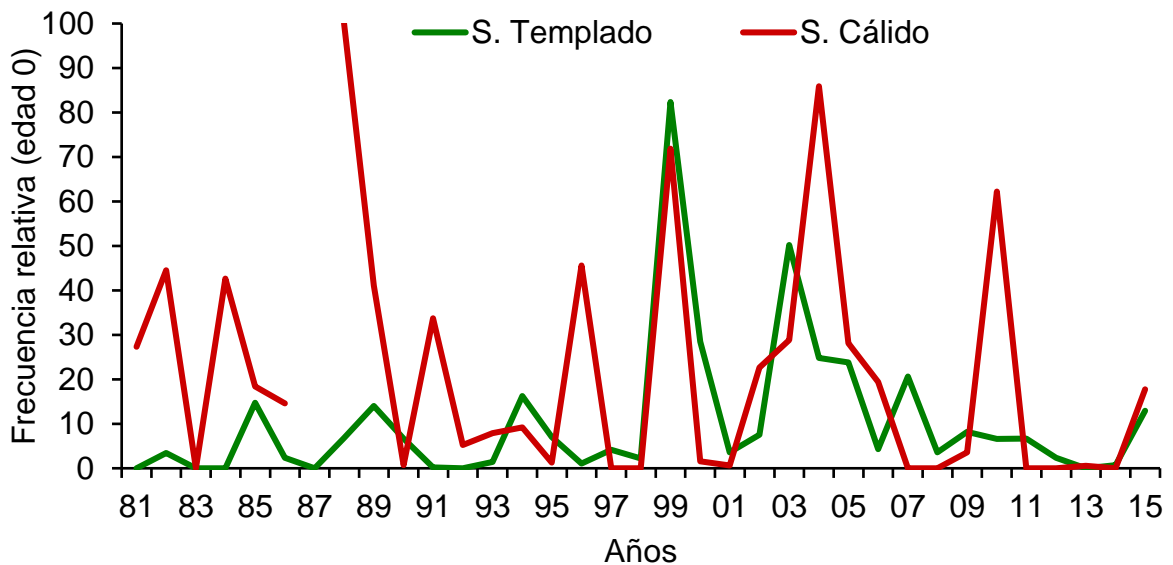
$r_{Spearman}$	Talla	TSM-1	“El Niño”-1	PDO-1	SURG-1
Talla	1				
TSM-1	-0.126	1			
“El Niño”-1	<b>-0.477</b>	0.284	1		
PDO-1	<b>-0.512</b>	-0.121	0.319	1	
SURG-1	<b>0.532</b>	-0.263	-0.263	-0.279	1
$p$	Talla	TSM-1	“El Niño”-1	PDO-1	SURG-1
Talla	0				
TSM-1	0.546	0			
“El Niño”-1	<b>0.016</b>	0.128	0		
PDO-1	<b>0.010</b>	0.522	0.086	0	
SURG-1	<b>0.006</b>	0.161	0.160	0.135	0



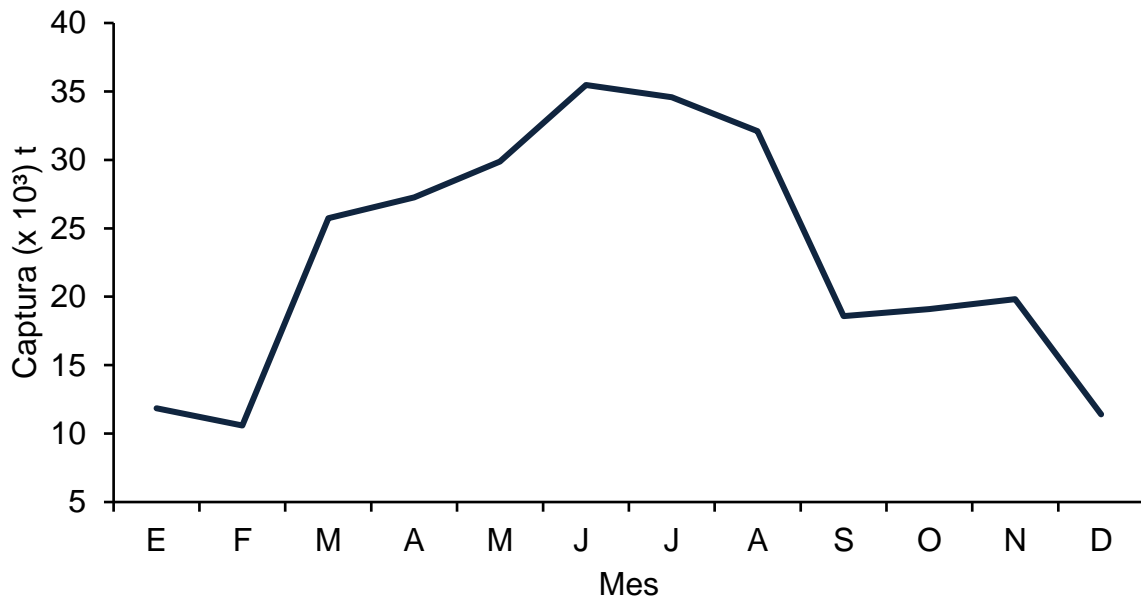
Anexo V. Variación interanual de los reclutas (organismos del grupo de edad 0) de la captura descargada en Bahía Magdalena durante 1981 a 2015.



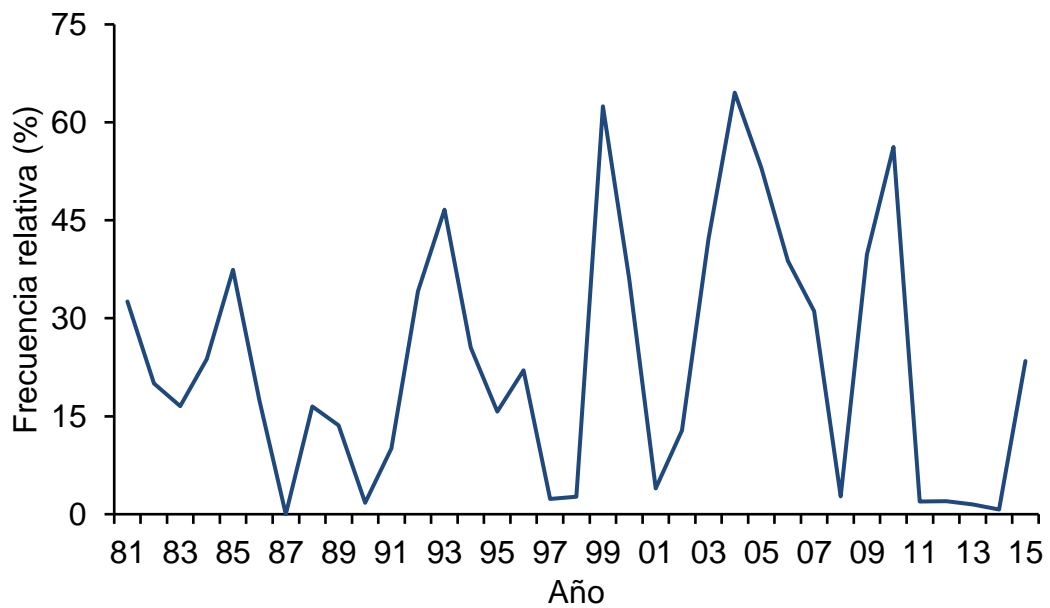
Anexo VI. Variación interanual de los reclutas (organismos del grupo de edad 0) de la captura por stock descargada en Bahía Magdalena durante 1981 al 2015.



Anexo VII. Promedio mensual de la captura descargada en Bahía Magdalena durante 1981 a 2015.



Anexo VIII. Frecuencia relativa por año de organismos por debajo de la talla mínima de captura de la sardina del Pacífico desembarcada en Bahía Magdalena.



Anexo IX. Talla a la edad por stock de la sardina del Pacífico desembarcada en Bahía Magdalena.

