



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**EDAD Y CRECIMIENTO DE LA SARDINA JAPONESA *Etrumeus*
teres (De Kay, 1842) (Clupeidae:Dussumieriidae) 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

Ricardo Javier Flores Anaya

LA PAZ, B.C.S., MAYO DEL 2020



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de siendo las horas del día del mes de del se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de: para examinar la tesis titulada:

Apellido Paterno:	Flores	Apellido Materno:	Anaya	Nombre (s):	Ricardo Javier
-------------------	--------	-------------------	-------	-------------	----------------

Número de registro:

Aspirante del Programa Académico de Posgrado:

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 19 % de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

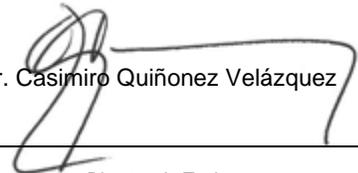
Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo **SI** **NO** **SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.**

JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN: El 19% de similitud se localiza a lo largo del texto del documento y adecuadamente referido a fuente original.

****Es responsabilidad del alumno como autor de la tesis la verificación antiplagio, y del Director o Directores de tesis el análisis del % de similitud para establecer el riesgo o la existencia de un posible plagio.**

Finalmente, y posterior a la lectura, revisión individual. así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR** **SUSPENDER** **NO APROBAR** la tesis por **UNANIMIDAD** o **MAYORÍA** en virtud de los motivos siguientes:

COMISIÓN REVISORA DE TESIS


Dr. Casimiro Quiñonez Velázquez

Director de Tesis
Nombre completo y firma

Dr. Víctor Manuel Gómez Muñoz

Nombre completo y firma

Dr. José Luis Castro Ortiz

Nombre completo y firma

Dr. Leonardo Andrés Abitia Cárdenas

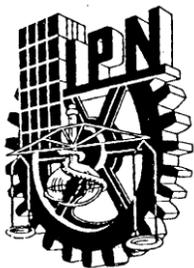
2° Director de Tesis (en su caso)
Nombre completo y firma

M.C. Felipe Neri Melo Barrera

Nombre completo y firma

Dr. Sergio Hernández Trujillo

Nombre completo y firma
PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 25 del mes Mayo del año 2020, el (la) que suscribe BIOL. RICARDO JAVIER FLORES ANAYA alumno (a) del Programa MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con número de registro B180565, 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 intitulado: EDAD Y CRECIMIENTO DE LA SARDINA JAPONESA *Etrumeus teres* (De Kay, 1842) (Clupeidae: Dussumieriidae) 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. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección ricardo.floresana@gmail.com – cquinone@ipn.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

BIOL. RICARDO JAVIER FLORES ANAYA

Nombre y firma

Tesis versión final

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE
INTERNET

4%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

www.inapesca.gob.mx

Fuente de Internet

5%

2

www.dof.gob.mx

Fuente de Internet

1%

3

www.biblioteca.cicimar.ipn.mx

Fuente de Internet

1%

4

www.repositoriodigital.ipn.mx

Fuente de Internet

1%

5

www.redalyc.org

Fuente de Internet

<1%

6

docplayer.es

Fuente de Internet

<1%

7

www.lajar.cl

Fuente de Internet

<1%

8

documents.mx

Fuente de Internet

<1%

9

www.scielo.org.mx

Fuente de Internet

<1%

Dedicatoria

A mis padres por darme todo su apoyo constante e incondicional.

A mi hermana Laura, mi sobrino Dylan Tadeo y al resto de mi familia por estar siempre cuando más los necesite.

Por último y no menos importante, a mi novia Romyna Arysbeth Cruz Vallejo y a su familia por recibirme como parte de ellos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), a la Beca de Estímulo Institucional de Formación de Investigadores (BEIFI) del Instituto Politécnico Nacional, por el apoyo económico otorgado.

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN), por brindarme la oportunidad de desarrollar mis estudios de Maestría en sus instalaciones.

Al Dr. Casimiro Quiñonez Velázquez por el valioso apoyo durante el desarrollo de mi trabajo de tesis, el tiempo dedicado a cada revisión de trabajos y las acertadas recomendaciones; pero sobre todo por la amistad y el gran apoyo personal que me ha brindado, es una excelente persona.

A los miembros de la comisión revisora: M.C. Felipe Neri Melo Barrera, Dr. Leonardo Andrés Abitia Cárdenas, Dr. José Luis Castro Ortiz, Dr. Víctor Manuel Gómez Muñoz, Dr. Agustín Hernández Herrera, por el tiempo dedicado a la revisión de la tesis y sus acertadas recomendaciones.

Al C.P. Humberto Ceseña Amador, al Lic. Cesar Casas y a la Lic. María Magdalena Mendoza, por ser tan amables y estar siempre al pendiente de los trámites administrativos.

A cada uno de mis compañeros de CICIMAR, al Dr. Marcelino Ruiz Domínguez y al equipo de trabajo del laboratorio de Dinámica poblaciones del CICIMAR. Les agradezco sus consejos, compañía y por trasmitirme sus conocimientos y apoyarme en el proceso.

Finalmente gracias a todos los que han depositado en mí su confianza y han contribuido en mi formación académica y personal.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	I
LISTA DE TABLAS.....	III
GLOSARIO.....	V
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
3. JUSTIFICACIÓN.....	5
4. OBJETIVO.....	6
4.1. Objetivos específicos.....	6
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	7
5.1. Área de estudio.....	7
5.2. Trabajo de campo.....	8
5.3. Trabajo de laboratorio.....	8
5.3.1. Procesamiento de muestras.....	8
5.4. Trabajo de Gabinete.....	9
5.4.1. Estructura de tallas.....	9
5.4.2. Proporción de sexos.....	9
5.4.3. Época de reproducción.....	10
5.4.4. Relación longitud-peso.....	10
5.4.5. Talla media de madurez (L _{50%}).....	10
5.4.6. Determinación de la edad.....	11
5.4.7. Precisión de lecturas.....	12
5.4.8. Descripción del crecimiento individual	12
5.4.9. Ajuste de los modelos a los datos y selección del mejor modelo	14
6. RESULTADOS.....	16
6.1. Muestreo.....	16
6.2. Estructura de tallas.....	16

6.3. Estructura de tallas entre sexos.....	22
6.4. Proporción de sexos.....	23
6.5. Época de reproducción	24
6.6. Relación longitud-peso.....	25
6.7. Talla media de madurez sexual (L _{50%}).....	26
6.8. Determinación de la edad.....	28
6.9. Descripción del crecimiento individual.....	29
7. DISCUSIÓN.....	36
7.1. Estructura de tallas.....	36
7.2. Proporción de sexos.....	37
7.3. Cambios en la época reproductiva.....	38
7.4. Relación Longitud-Peso.....	38
7.5. Talla media de madurez (L _{50%}).....	39
7.6. Determinación de la edad.....	40
7.7. Crecimiento individual.....	41
8. CONCLUSIONES.....	43
9. BIBLIOGRAFÍA.....	45

Lista de Figuras

	Pagina
Figura 1. Costa occidental de Baja California Sur. Se incluyen los puertos Adolfo López Mateos y San Carlos. La franja sombreada representa la zona de pesca de la flota sardinera que descarga en Bahía Magdalena, BCS, México.	7
Figura 2. Estructura de tallas de la captura de sardina japonesa <i>E. teres</i> en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.	18
Figura 3. Gráfico de cajas de las talla por año de sardina japonesa <i>E. teres</i> descargada en puerto San Carlos y Adolfo López Mateos, BCS, de 2012 a 2019.	18
Figura 4. Estructura de tallas por año de sardina japonesa <i>E. teres</i> , capturada en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.	19
Figura 5. Gráfico de cajas de las tallas por estaciones (trimestres) de sardina japonesa <i>E. teres</i> en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.	20
Figura 6. Estructura de tallas por estaciones del año de la sardina japonesa <i>E. teres</i> , capturada en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.	21
Figura 7. Estructura de tallas por sexo de la sardina japonesa <i>E. teres</i> en la costa occidental de B.C.S., durante 2012-2019.	22
Figura 8. Cambios estacionales en la madurez gonadal de la sardina japonesa <i>E. teres</i> , en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.	24
Figura 9. Relación longitud-peso de la sardina japonesa <i>E. teres</i> en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019. La línea representa la curva del modelo potencial y los círculos representan los datos de ambos sexos.	26
Figura 10. Frecuencia relativa acumulada de sardina japonesa <i>E. teres</i> madura por talla y curvas del modelo de Richards. Línea amarilla y símbolos en cruz representan a datos de machos, línea azul y símbolos en triángulo representan a datos de hembras.	28

Figura 11. Datos edad-talla y curvas del modelo de crecimiento de von Bertalanffy para hembras y machos de la sardina japonesa *E. teres*, en la costa occidental de BCS. Línea amarilla y símbolos en cruz representan a machos, línea azul y símbolos en triángulo representan a hembras.

32

Figura 12. Perfiles de verosimilitud de los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy para sexos combinados de la sardina japonesa *E. teres*, en la costa occidental de BCS. La línea continua en negro es el negativo del logaritmo de la verosimilitud, la línea discontinua color azul es la probabilidad Chi-cuadrada y la línea punteada color rojo representa el corte al 95% de confianza.

34

Lista de tablas

	Pagina
Tabla 1. Modelos candidatos para estimar la talla media de madurez de la sardina japonesa <i>E. teres</i> en la costa occidental de Baja California Sur.	11
Tabla 2. Modelos candidatos evaluados para estimar el crecimiento individual de la sardina japonesa <i>E. teres</i> en la costa occidental de Baja California Sur.	13
Tabla 3. Numero de sardina japonesa <i>E. teres</i> recolectadas por mes-año, de las descargas de la flota sardinera en puerto San Carlos y Adolfo López Mateos, BCS, durante 2012-2019.	17
Tabla 4. Prueba post-hoc de comparación múltiple de medias de tallas de la sardina japonesa <i>E. teres</i> por año, en la costa occidental de B.C.S. Valores significativos en negritas.	20
Tabla 5. Prueba post-hoc de comparación múltiple de medias de talla por estación del año de la captura de <i>E. teres</i> en la costa occidental de B.C.S. Valores significativos en negritas.	21
Tabla 6. Número de individuos por sexo, por años y proporción por sexos de sardina japonesa <i>E. teres</i> en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019. Valores significativos en negritas.	23
Tabla 7. Número de individuos por estaciones del año y por sexo de la sardina japonesa <i>E. teres</i> en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019. Valores significativos en negritas.	23
Tabla 8. Número de individuos por estación del año y por estadio de madurez de sardina japonesa <i>E. teres</i> , en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.	25
Tabla 9. Parámetros de los modelos evaluados para estimar la talla media de madurez de hembras de sardina japonesa <i>E. teres</i> , en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.	27

Tabla 10. Parámetros de los modelos evaluados para estimar la talla media de madurez de machos de sardina japonesa <i>E. teres</i> en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.	27
Tabla 11. Número de individuos, media y desviación estándar (s) de LE, por grupo de edad de la sardina japonesa <i>E. teres</i> capturada en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.	29
Tabla 12. Valores de los parámetros de los modelos ajustados a los datos edad-talla de hembras de la sardina japonesa <i>E. teres</i> capturada en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.	30
Tabla 13. Valores de los parámetros de los modelos ajustados a los datos edad-talla de machos de la sardina japonesa <i>E. teres</i> capturada en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.	30
Tabla 14. Valores de AIC, diferencias de Akaike y peso de Akaike (W_i) de los modelos candidatos para la descripción del crecimiento de hembras de la sardina japonesa <i>E. teres</i> , en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.	31
Tabla 15. Valores de AIC, diferencias de Akaike y peso de Akaike (W_i) de los modelos candidatos para la descripción del crecimiento de machos de la sardina japonesa <i>E. teres</i> , en la costa occidental de BCS.	31
Tabla 16. Valores de los parámetros de los modelos ajustados a los datos edad-talla para sexos combinados de la sardina japonesa <i>E. teres</i> capturada en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.	33
Tabla 17. Valores de AIC, diferencias de Akaike y peso de Akaike (W_i) de los modelos candidatos para la descripción del crecimiento de sexos combinados de la sardina japonesa <i>E. teres</i> , en la costa occidental de BCS.	33

GLOSARIO

Banda hialina. Banda depositada en los otolitos, asociada a periodos de crecimiento lento, integrada principalmente por una porción de materia orgánica en forma de proteína (otolina). También llamada banda traslucida.

Banda opaca. Banda depositada en los otolitos, asociada a periodos de crecimiento rápido, integrada principalmente por una porción de materia inorgánica (carbonato de calcio).

Coefficiente de variación (CV). Es el error estándar de una muestra dividido por su media. El CV da una idea de la precisión de una estimación, con independencia de su magnitud.

Crecimiento. Acción de crecer, el crecimiento es el aumento de tamaño que experimenta un organismo por la proliferación celular, consecuencia del anabolismo y catabolismo.

Crecimiento alométrico. La alometría en el crecimiento, se refiere al crecimiento diferencial de distintas partes del cuerpo.

Criterio de información de Akaike. Método de confrontación de hipótesis múltiples donde se evalúa una serie de modelos, los cuales son jerarquizados y ponderados; obteniendo así una medida cuantitativa del soporte estadístico de cada modelo con referencia a los datos observados.

Dinámica poblacional. En general, se refiere al estudio y seguimiento de los cambios en abundancia de las poblaciones a través del tiempo, así como las razones que los originan.

Edad. Es la medida utilizada para conocer cuánto tiempo de vida ha transcurrido en un organismo, a partir de su nacimiento.

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

Incremento marginal. Región de una estructura dura localizada posterior a la última marca de crecimiento completamente depositada.

Longitud asintótica (L_{∞}). Es la talla máxima de una especie determinada que alcanzaría en promedio si viviesen indefinidamente.

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

Modelo de crecimiento. Es una idea conceptual y simple que trata de describir el proceso del crecimiento a lo largo de la vida de un organismo.

Parámetro. Es un número que resume la gran cantidad de datos que pueden derivarse del estudio de una variable.

Parámetro poblacional. Abstracción numérica de características que describen a una población, obtenidos a partir del cálculo estadístico o matemático a partir de una muestra seleccionada al azar de una población dada. Estos, caracterizan a cada población y son la consecuencia de cómo ha transcurrido su ciclo de vida. (e.g. crecimiento, mortalidad, reproducción, abundancia). También son llamados parámetros de historia de vida.

Pesquería. Conjunto de sistemas de producción pesquera, que comprenden en todo o en parte las fases sucesivas de la pesca como actividad económica.

Reproducción. Proceso mediante el cual las especies se perpetúan.

Talla de primera madurez (L_{50}). Es un punto de referencia biológico, donde el estimador se basa en modelos que implican la relación entre el tamaño corporal y el porcentaje de organismos que se encuentran maduros por intervalo de talla.

Verosimilitud. Método de ajuste no lineal utilizado para inferir acerca del valor de los parámetros de un modelo mediante un algoritmo de búsqueda directa a partir de la diferencia entre valores observados y valores esperados.

RESUMEN

A través de los cambios en la estructura en talla y de edad de una población explotada es posible evaluar el efecto de la pesca. En el presente estudio, se evaluaron los cambios en la estructura de tallas, proporción de sexos, madurez gonadal, relación -peso, y talla de primera madurez (L_{50}); además, se determinó la edad y se describió el crecimiento individual, de la sardina japonesa *Etrumeus teres* que se captura en la costa occidental de Baja California Sur. Los datos biológicos provienen de muestreos mensuales de los desembarques en Bahía Magdalena, BCS, durante 2012-2019. Se recolectaron 422 organismos (208 hembras, 162 machos y 52 indiferenciados). Para el análisis de las tallas, los datos se agruparon por año, trimestre y sexo. La estacionalidad de las muestras presenta una dominancia durante primavera. La estructura de tallas varió de 120 a 251 mm de longitud estándar ($\overline{LE}=186$, $s=23$). Interanualmente, la \overline{LE} varió entre 170 y 209 mm, y trimestralmente entre 185 y 204 mm, las diferencias, en todos los casos, fueron significativas (Kruskal-Wallis, $p<0.05$). La proporción sexual fue diferente de 1M:1H (0.78:1, $X^2=5.60$, $p<0.05$). La sardina japonesa mostró actividad reproductiva principalmente durante verano. No se detectaron diferencias significativas en la relación longitud-peso entre sexos; en la relación con datos combinados se observó un mayor incremento en longitud que en peso ($a= 4.35E-05$, $b= 2.8$; $b\neq\beta$, $t= 1.96$, $n=370$, $p<0.05$). La diferencia en la lectura de las marcas de crecimiento entre lectores no fue significativa (APE=8.8, CV= 11.8). Se determinaron siete grupos de edad (0-6). El estimado de la $L_{50\%}$ y el crecimiento individual, se evaluó con un enfoque multimodelo, y con base al criterio de Akaike, el modelo de Richards presentó la mejor estimación de $L_{50\%}$ para hembras ($L_{50\%}=201.6$, $\beta= 0.12$, $\beta_2= 3.19$) y sexos combinados ($L_{50\%}= 192.00$, $\beta= 0.08$, $\beta_2= 2.70$); para machos fue el modelo de Lysack ($L_{50\%}= 185.55$, $\beta= 0.07$). Para describir el crecimiento individual, el modelo de von Bertalanffy presentó el mejor ajuste a los datos edad-talla para ambos sexos (hembras: $L_{\infty}= 228.3$, $k= 0.47$, $t_0= -0.76$; machos: $L_{\infty}= 215.1$, $k= 0.62$, $t_0= -0.41$), no se detectaron diferencias significativas entre sexos ($F= 2.04$, $p= 0.11$). El estimado del crecimiento del modelo de von Bertalanffy para sexos combinados usando los L_{inf} de los modelos con $\Delta\leq 2$ fue: $\overline{L}_{inf} = 243.52$, $k= 0.37$, $t_0=-1.75$.

Palabras clave: Dinámica poblacional, estructura de tallas, enfoque multimodelo, edad y crecimiento.

ABSTRACT

Through the changes in the size-age structure of an exploited population it is possible to assess the effect of fishing. In the present study, changes in size structure, sex ratio, gonadal maturity, weight-length ratio, and first maturity size ($L_{50\%}$) were evaluated; In addition, the age was determined and the individual growth of the Japanese sardine *Etrumeus teres* described on the western coast of Baja California Sur was described. Biological data comes from monthly sampling of landings in Magdalena Bay BCS, during 2012-2019. 422 organisms were collected (208 females, 162 males and 52 undifferentiated). For the analysis of the sizes, the data were grouped by year, quarter and sex. The seasonality of the samples shows dominance during spring. The size structure varied from 120 to 251 mm in standard length ($\overline{LE}=186$, $s=23$). Inter-annually, the \overline{LE} varied between 170 and 209 mm, quarterly between 185 and 204 mm, the differences, in all cases, were significant (Kruskal-Wallis, $p < 0.05$). The sexual ratio was different from 1M: 1H (0.78:1, $X^2=5.60$, $p < 0.05$). The Japanese sardine showed reproductive activity mainly during summer. No significant differences were detected in the weight-length relationship between the sexes; in relation to combined data, a greater increase in length than in weight was observed ($a= 4.35E-05$, $b= 2.8$), $b \neq \beta$ ($t= 1.96$, $n= 370$, $p < 0.05$). The difference in reading growth marks among readers was not significant (APE = 8.8, CV = 11.8). Seven age groups were determined (0-6). The estimate of the average size of first reproduction and individual growth was evaluated with a multimodel approach, and based on the Akaike criteria, Richard's model presented the best estimate of $L_{50\%}$ for females ($L_{50\%}= 201.6$, $\beta= 0.12$, $\beta_2= 3.19$) and combined sexes ($L_{50\%}= 192.00$, $\beta = 0.08$, $\beta_2 = 2.70$); for males it was the Lysack model ($L_{50\%} = 185.55$, $\beta = 0.07$). To describe individual growth, von Bertalanffy's model presented the best fit to the age-LE data for both sexes (Female: $L_{\infty}= 228.3$, $k= 0.47$, $t_0= -0.76$; Males: $L_{\infty}= 215.1$, $k= 0.62$, $t_0= -0.41$), no significant differences between sexes were detected ($F= 2.04$, $p= 0.11$). The von Bertalanffy model growth estimate for sexes combined using L_{inf} of the $\Delta \leq 2$ models was: $\bar{L}_{inf}= 243.52$, $k= 0.37$, $t_0= -1.75$.

Keywords: Population dynamics, size structure, multimodel approach, age and growth.

1. INTRODUCCIÓN

El interés en el estudio de las pesquerías de recursos masivos como los peces pelágicos menores, donde se incluye a las sardinias, anchovetas y arenques, se debe en parte a las grandes capturas que se obtienen de este grupo de peces, representando aproximadamente el 20% de la captura mundial de animales marinos y en México este grupo de peces es aproximadamente el 37% de las capturas (FAO, 2017). Además, las poblaciones de estas especies presentan grandes fluctuaciones en su abundancia, al grado de que históricamente muchas pesquerías se han colapsado como la sardina de Japón, la de California, el arenque de Hokkaido y de Noruega y la anchoveta de Perú (Cushing, 1981, Félix-Uraga, 1986).

Para dar explicación a estas fluctuaciones y determinar el estado que guardan las existencias de estos recursos, es necesario conocer la dinámica de sus poblaciones. Esto involucra trabajos básicos como: determinación de edad, crecimiento individual y análisis de la estructura por talla y de edad de la población o stock. La determinación de edad en peces representa la tarea más importante en biología pesquera y es un elemento vital en las decisiones para el manejo racional de las pesquerías (Felix-Uraga, 1986). La edad en conjunto con los datos de longitud, peso y sexo proveen información sobre la composición del stock, ciclo de vida, crecimiento, edad de primera madurez y rendimiento óptimo (Tesch, 1971). Debido a la complejidad que presenta la interpretación de las marcas de crecimiento en las estructuras usadas para determinar la edad, p. ej. otolitos y escamas, es necesario incluir métodos de validación en cada situación particular. La validación deberá ser parte esencial en todos los estudios que involucran la determinación de la edad a partir de estructuras duras en peces (Quiñonez-Velázquez *et al.*, 2002).

En México, los peces pelágicos menores es el recurso pesquero que ocupa los primeros lugares en cuanto a magnitud de captura. Esto ha permitido el sostenimiento de plantas industriales establecidas en el noroeste del país, principalmente en los puertos de Guaymas, Son., Yavaros, Son., Mazatlán, Sin., Ensenada, BCN y San Carlos y Adolfo López Mateos en BCS, donde se procesa para consumo humano directo y en harina para la elaboración de alimento de aves

y ganado, creando fuentes de empleo para la población local. 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 (Nevárez-Martínez *et al.*, 2006).

Las especies que se capturan, en orden del volumen son: sardina monterrey (*Sardinops sagax*), sardina crinuda (*Ophistonema spp.*), macarela (*Scomber japonicus*), sardina japonesa (*Etrumeus teres*) y sardina bocona (*Cetengraulis mysticetus*). Los estudios biológico-pesquero de estas especies, se han centrado principalmente en la sardina monterrey (López-Martínez *et al.*, 2000; Quiñonez-Velázquez *et al.*, 2000; Morales-Bojórquez, 2006; Félix-Uraga, 2006). El resto de las especies han sido poco estudiadas más allá de sus cambios anuales en la captura total, por lo que no se cuenta con información sobre sus parámetros poblacionales o sobre los efectos en la pesca en su dinámica (Ruiz-Domínguez, 2015).

Para el análisis de la dinámica y evaluación del estado del stock, así como el manejo de las pesquerías, se requiere conocer los parámetros de crecimiento individual, los cuales relacionan el tamaño de los peces a su edad, siendo esto, información vital que se debe conocer de una población sujeta a explotación (Mercier *et al.*, 2011; Ruiz-Domínguez, 2015).

Para la descripción del crecimiento en peces, comúnmente se ha utilizado el modelo de von Bertalanffy. Sin embargo, en los últimos años se ha optado por utilizar un enfoque multimodelo y el criterio de información de Akaike (AIC por sus siglas en inglés) como índice para decidir entre los modelos candidatos (Katsanevakis, 2006; Ruiz-Domínguez, 2015). El AIC es una medida de la calidad relativa de un modelo estadístico, para un conjunto dado de datos. Como tal, el AIC proporciona un medio para la selección del modelo; estableciendo un equilibrio entre la complejidad del modelo y la bondad de ajuste (Aragón-Noriega, 2013). Con esto se busca evaluar la plausibilidad estadística de varios modelos en la descripción del crecimiento individual de especies explotadas. Estableciendo alternativas más sólidas, basadas en un juicio robusto en la selección del modelo (Beninger *et al.*, 2012).

Al evaluar la estructura de tallas y de edades, así como los parámetros poblacionales, en peces pelágicos menores, se ha demostrado que sus estimados varían en función del tiempo, estos cambios se reflejan en la reducción del número de modas en la estructura de tallas de la captura, desapareciendo los individuos de mayor tamaño. También, la talla de primera madurez varía como estrategia reproductiva para alcanzar un punto de equilibrio biológico (Gulland, 1971; Csirke, 1980; Ruiz-Domínguez, 2015). Resultando, la edad y los parámetros de crecimiento de los peces un tema de estudio importante en la biología pesquera (Panfili et al., 2002).

En este contexto, en el presente estudio se planteó determinar la edad y describir el crecimiento de la sardina japonesa *Etrumeus teres*, una de las especies con importancia marginal de los recursos pelágicos menores, y quizá esa característica ha influido que a la fecha no se haya abordado su estudio en la costa occidental de la península de Baja California. Además, evaluamos aspectos poblacionales como estructura de tallas, proporción de sexos, época reproductiva, relación longitud-peso y talla media de madurez ($L_{50\%}$); esta información biológico-pesquera será de utilidad como referencia para trabajos futuros sobre la especie.

2. ANTECEDENTES

La sardina japonesa *E. teres* es predominantemente costera, aunque ha sido capturada ocasionalmente a 120 km de la costa (Ecuador), habita en el Pacífico Oriental desde Bahía Monterey (Ca, EUA) hasta Cabo San Lucas (BCS) y dentro del Golfo de California; no se tienen registros al sur de la costa occidental mexicana y Centroamérica, y de Ecuador hasta el norte del Perú (Lluch-Belda et al., 1996). En México, los estudios sobre la sardina japonesa se han enfocado a la población del Golfo de California. Whitehead & Rodríguez-Sánchez (1995) comentan que su dieta está compuesta principalmente de eufáusidos y copépodos, y que se reproduce entre mayo y julio. También se ha reportado un amplio periodo reproductivo, de otoño a primavera, y algunas veces con un pulso reproductivo en

verano (Cisneros-Mata *et al.*, 1989; Lluch-Belda *et al.*, 1996; Martínez-Zavala *et al.*, 2006).

Respecto a los parámetros de crecimiento, estos se han estimados con base en el análisis de frecuencia de tallas y utilizando el modelo de von Bertalanffy. Cisneros-Mata *et al.* (1989) estimaron: $L_{\infty} = 246.0$; $k = 0.80$ y una $t_0 = -0.112$, mientras que Martínez-Zavala *et al.* (2006) obtuvieron: $L_{\infty} = 249.5$; $k = 0.55$ y $t_0 = -0.29$. También se analizaron los patrones de reclutamiento de la especie y los resultados mostraron dos periodos de reclutamiento, en julio el de mayor magnitud y otro en abril (Cisneros-Mata *et al.*, 1991).

Para el Golfo de México, la sardina japonesa es uno de varios peces clupeidos abundantes en las aguas de la plataforma continental, sin embargo, no es explotado comercialmente. Para los Estados Unidos de América, Houde (1977) estimó una biomasa entre $700-130 \times 10^3$ TM, con rendimientos potenciales entre $50-250 \times 10^3$ TM; además, señaló que la sardina japonesa en el noreste del Golfo de México desova desde mediados de octubre hasta finales de mayo entre los 30 y 200 m de profundidad. También, Houde (1977) comenta sobre un área importante de desove a unos 150 km al oeste-suroeste de Tampa Bay, Florida, un área menor justo al norte de Dry Tortugas; en Texas y Louisiana, donde el desove ocurre de 50 a 200 km de la costa y puede extenderse hasta el borde de la plataforma continental. Chen (1992) estimó la edad y describió el crecimiento en juveniles de sardina japonesa para el Golfo de México. Utilizando el modelo de Gompertz estimó tasas de crecimiento de 0.85 mm durante los primeros 20 días después de la eclosión, disminuyendo entre 0.71-0.46 para los 50 días de edad.

Para la costa occidental de Baja California Sur existen reportes de captura de sardina japonesa desde 1981, la cual representa en promedio el 4% de la captura total de peces pelágicos menores desembarcada en los puertos de Adolfo López Mateos y San Carlos. Sin embargo, en algunos años la captura de sardina japonesa haciendo hasta 8 mil t, cuando la sardina monterrey desciende su rendimiento.

En lo que respecta a otras partes de mundo, la sardina japonesa es una de las especies de peces pelágicos importantes en la captura de cerco, p. ej. en el del

Golfo de Suez representa el 38% de la captura (El-Sayed, 1996) y alrededor del 25% en el Mar Rojo (Mehanna, 2004). Farrag (2010) analizó la composición de la captura y la CPUE de la flota sardinera egipcia, resultando el grupo de arenques y entre ellos la sardina japonesa el grupo dominante que representó alrededor del 74.1% de la captura total.

3. JUSTIFICACIÓN

Toda pesquería, debe estar sustentada sobre un esquema de administración que le permita mantener el rendimiento óptimo sin el deterioro de los recursos explotados. Para ello se requiere información científica generada por estudios biológico-pesqueros que permita establecer un plan de manejo adecuado. Lo anterior permitirá evaluar el efecto de la pesca sobre la estructura de tallas y edades de la población, cambios en las tasas de crecimiento individual y mortalidad.

La sardina japonesa *E. teres* forma parte del grupo de especies de peces pelágicos menores que captura la flota que pesca con red de cerco en la costa occidental de Baja California Sur, México. Para esta región, los estudios sobre la biología de la sardina japonesa son prácticamente inexistentes, por lo cual es necesario generar información para futuros estudios sobre su dinámica poblacional. La información biológica existente para esta especie en México, es escasa y se ha generado para el Golfo de California. En consecuencia, se dispone de poca o nula información para esta especie que permita evaluar el efecto de la presión de pesca en su dinámica poblacional.

4. OBJETIVO

Determinar la edad y estimar los parámetros de crecimiento para la sardina japonesa *Etrumeus teres* de la costa occidental de Baja California Sur, México.

4.1. Objetivos específicos

- Analizar la estructura de tallas de la sardina japonesa.
- Determinar la proporción por sexo e identificar la época reproductiva de la sardina japonesa.
- Estimar la relación longitud-peso de la sardina japonesa.
- Estimar la talla media de madurez poblacional ($L_{50\%}$).
- Determinar la edad.
- Describir el crecimiento individual.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Área de estudio

La pesquería de pelágicos menores en la costa occidental de BCS, se desarrolla desde Punta Eugenia hasta el interior del sistema Bahía Magdalena-Bahía Almejas; la flota está conformada por seis barcos que tienen su base en los puertos de San Carlos y Adolfo López Mateos en Bahía Magdalena (DOF, 1994) (Fig. 1).

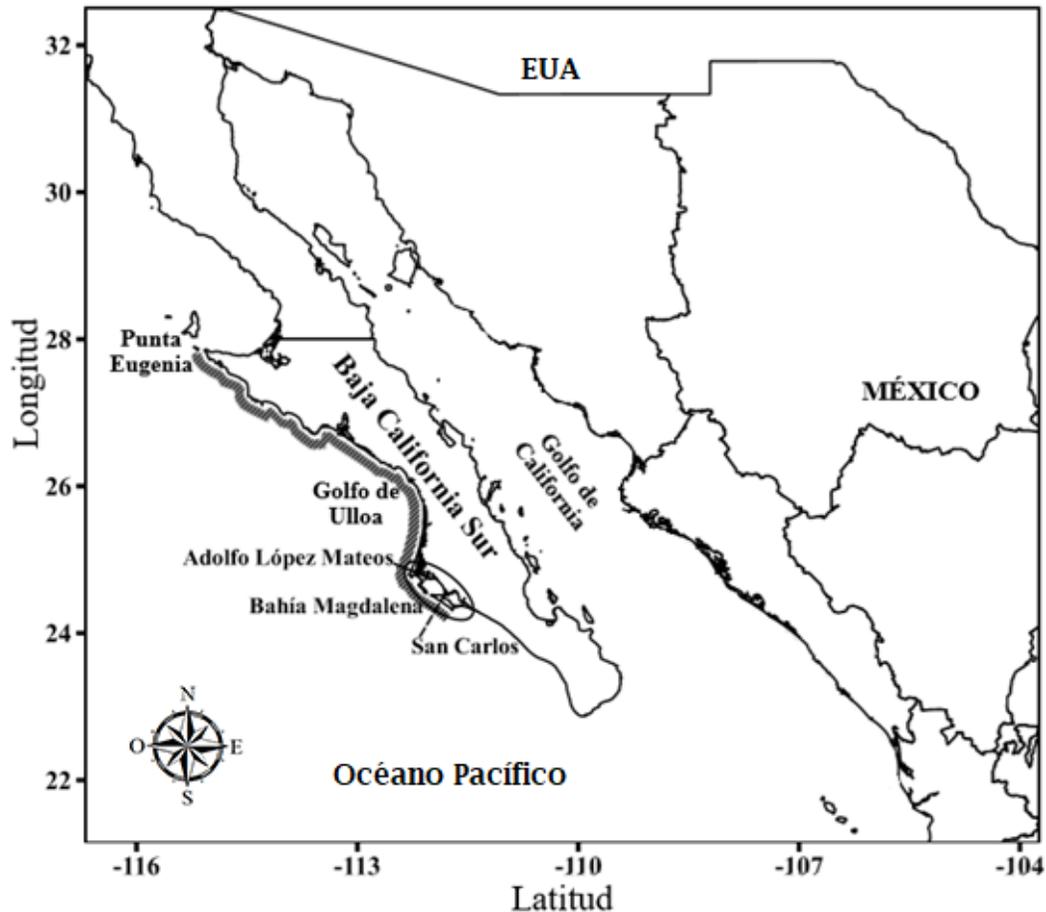


Figura 1. Costa occidental de Baja California Sur. Se incluyen los puertos Adolfo López Mateos y San Carlos. La franja sombreada representa la zona de pesca de la flota sardinera que descarga en Bahía Magdalena, BCS, México.

Esta zona, se caracteriza por su elevada productividad biológica como resultado de los procesos de aportes de nutrientes por eventos de surgencias costeras, que acoplados con las corrientes de marea son un mecanismo de fertilización al sistema lagunar (Lluch-Belta *et al.*, 2003; Zaytsev *et al.*, 2003; Cervantes-Duarte *et al.*,

2013). El Golfo de Ulloa, se considera como una zona de transición templado-tropical donde convergen las masas de agua del Norte, Central y Tropical del Océano Pacífico Oriental; y a diferencia de Bahía Magdalena que presenta un periodo de máxima concentración de sales nutritivas y Clorofila-a de marzo a junio, en el Golfo de Ulloa se presenta una alta productividad a lo largo del año (Lluch-Belda *et al.*, 2003).

5.2. Trabajo de campo

Los datos para este estudio 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 descarga de pelágicos menores en los puertos de San Carlos y Adolfo López Mateos en Bahía Magdalena, BCS.

Las muestras son trasladadas al laboratorio y mantenidas congeladas hasta su procesamiento. El número de muestras para la especie objeto de este estudio dependió de su estacionalidad en la captura, la sardina japonesa representa el 4% y se captura principalmente de marzo a junio. En consecuencia, los muestreos biológicos de esta especie son escasos; para este estudio se contó con muestreos biológicos recolectados durante 2012 a 2019.

5.3. Trabajo de laboratorio

5.3.1. Procesamiento de muestras

A cada organismo se le registraron las siguientes biometrías (mm) y pesos (g): longitud total (LT), la longitud furcal (LF) y la longitud estándar (LE), utilizando un ictiómetro convencional con precisión de 0.1 mm; el peso total (PT) y peso eviscerado (PE) utilizando una báscula digital con precisión de 0.1 g. El sexo se asignó mediante la apreciación macroscópica de la coloración de las gónadas, y el estadio de madurez gonadal de acuerdo a los criterios de Holden & Raitt (1975), los cuales se definen de acuerdo al volumen que ocupan las gónadas en la cavidad abdominal y en la coloración de las mismas, en seis estadios: 0 (indeterminado), I

(inmaduro o en reposo), II (inicio de la maduración), III (madurando), IV (maduro) y V (pos-desove).

En cuanto a la extracción de los otolitos (sagita) se separó la cabeza del cuerpo del pez a la altura de la primera vértebra cervical, lo que permitió acceder a las cámaras óticas para extraerlos con pinzas finas. Se mantuvieron en agua jabonosa durante 24 h, después, se enjuagaron, secaron y se almacenaron en seco.

5.4. Trabajo de gabinete

5.4.1. Estructura de tallas

Para evaluar los cambios en la estructura de tallas de la captura de sardina japonesa, primero se evaluó la normalidad usando la prueba de Shapiro-Wilk y las diferencias usando un análisis de prueba Kruskal-Wallis. Para su representación la LE se agrupó en intervalos de 5 mm y se construyeron histogramas de frecuencia por años, estaciones (trimestres) y por sexos.

5.4.2. Proporción de sexos

En cuanto a la evaluación de las diferencias en la proporción de machos y hembras por mes, se empleó la prueba estadística de Chi-cuadrado con la corrección de Yates (Zar, 1996):

$$X^2 = \sum \frac{(|f_i - f_{iesp}| - 0.5)^2}{f_{iesp}}$$

Dónde: X^2 = valor de Chi-cuadrada; f_i = frecuencia observada; f_{iesp} = frecuencia esperada.

5.4.3. Época de reproducción

La época reproductiva se determinó de acuerdo con los cambios estacionales de los estadios de madurez. Cuando los porcentajes del estadio IV alcanzan valores máximos dentro de un ciclo anual se reconoce la época de desove.

5.4.4. Relación longitud-peso

La relación entre estas dos variables se estimó mediante una ecuación potencial calculando los valores de los coeficientes a y b , donde PT es el peso total en gramos y LE es la longitud en milímetros (Froese, 2006).

$$PT = a * LE^b$$

Para determinar las diferencias entre sexos se utilizó un análisis de covarianza. La alometría (b) se evaluó utilizando una prueba t-Student:

$$t = \frac{Sx\sqrt{n-1}(b - \beta_0)}{Se}$$

Donde Sx es la desviación estándar de los valores de LE , n es el tamaño de muestra, b es la pendiente de la relación $PT-LE$, $\beta_0 = 3$ valor de isometría y Se es el error estándar del estimado.

5.4.5. Talla media de madurez ($L_{50\%}$)

Para estimar la $L_{50\%}$ se utilizó un enfoque multimodelo (Tabla 1), analizando hembras y machos por separado. Los organismos maduros comprendieron aquellos en estadios III, IV y V. A las proporciones por intervalo de talla se les ajustó un conjunto de 6 modelos candidatos, los cuales presentan una curva sigmoidea.

Tabla 1. Modelos candidatos para estimar la talla media de madurez de la sardina japonesa *E. teres* en la costa occidental de Baja California Sur.

Modelo	Ecuación	Incógnita*
Gompertz	$P_{LE} = e^{-e^{-B_1(L E-L_{50})}}$	P_{LE} = proporción de individuos maduros por clase de talla. L_{50} = talla media de madurez. LE = longitud estándar. B_1 = tasa de cambio.
Richards	$P_{LE} = [1 - (1 - B_2)e^{B_1(L E-L_{50})}]^{1/(1-B_2)}$	B_1 = parámetro de ajuste. B_2 = parámetro de ajuste.
Lysack	$P_{LE} = \frac{1}{1 + e^{-B_1(L E-L_{50})}}$	B_1 = tasa de cambio.
White <i>et al.</i>	$P_{LE} = \frac{1}{1 + e^{\left[-\ln(19)\frac{L E-L_{50}}{B_1-L_{50}}\right]}}$	B_1 = talla en que 95% de los organismos de la población están sexualmente maduros.
Brouwer y Griffith	$P_{LE} = \frac{1}{1 + e^{-(L E-L_{50})/B_1}}$	B_1 = amplitud de la ojiva de madurez.
Logístico	$P_{LE} = \frac{1}{1 + e^{(B_1-B_2 L E)}}$	B_1 = parámetro de ajuste. B_2 = parámetro de ajuste.

*Los parámetros B_i tienen diferente significado en cada uno de los seis modelos.

5.4.6. Determinación de edad

El análisis (lectura) de la superficie de los otolitos se realizó por dos lectores de manera independiente (Campana & Thorrold, 2001). Para observar con mejor detalle las bandas de crecimiento, los otolitos se sumergieron en agua en un fondo oscuro y se utilizó luz reflejada. Bajo esas condiciones se obtuvieron imágenes digitales a través de un sistema digitalizador, el cual está compuesto por un estereoscopio Olympus SZX-TR30 con ocular 10X y conectado a una cámara de video acoplado a una computadora. La finalidad de utilizar este tipo de iluminación es poder identificar con mayor facilidad las bandas de crecimiento y así contabilizar el número de marcas de crecimiento en los otolitos y asignar la edad (Fitch, 1951). Una marca de crecimiento se definió por una banda opaca (zona blanca) y una banda hialina (zona oscura) (Quiñonez-Velázquez *et al.*, 2002). En el presente

estudio, la información disponible es insuficiente para validar la periodicidad de las marcas de crecimiento; por lo tanto, con base en los resultados de validación para la sardina japonesa en el Mar Mediterráneo (Farrag *et al.*, 2014) y fortalecido con estudios en especies afines que se distribuyen en la zona de estudio como la sardina monterrey (Quiñonez-Velázquez *et al.*, 2002), macarela del Pacífico (Gluyas-Millán & Quiñonez-Velázquez, 1996) y sardina crinuda (Ruiz-Domínguez & Quiñonez-Velázquez, 2018), se asumió una periodicidad anual en la formación de las marcas de crecimiento.

5.4.7. Precisión de lecturas

Para estimar la precisión relativa del número de marcas de crecimiento encontradas en los otolitos por lector y entre lectores, se utilizó el Porcentaje de error promedio, la ecuación propuesta por Beamish & Fournier (1981):

$$PEP_j = 100 * \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|x_{ij} - x_j|}{x_j}$$

Donde x_{ij} es la i -ésima lectura del j -ésimo pez, x_j es la lectura promedio del j -ésimo pez, y R es el número de veces que se le leyó la estructura. Cuando el PEP_j es promediado usando un conjunto de peces, se transforma en un índice del porcentaje promedio de error.

Chang (1982) sugirió el uso de la desviación estándar en lugar de la desviación absoluta respecto de la edad promedio. Eso resulta en una estimación del coeficiente de variación (CV):

$$CV_j = 100 * \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij} - X_j)^2}{R - 1}}}{X_j}$$

5.4.8. Descripción del crecimiento individual

El crecimiento individual se describió con los datos edad-longitud y utilizando un enfoque multimodelo, para lo cual se empleó un conjunto de 5 modelos candidatos con tendencia asintótica (Tabla 2).

Tabla 2. Modelos candidatos evaluados para estimar el crecimiento individual de la sardina japonesa *E. teres* en la costa occidental de Baja California Sur.

Modelo	Ecuación	Parámetros
von Bertalanffy	$LE_t = L_\infty(1 - e^{-k_1(t-t_1)})$	LE_t = talla a la edad t. LE_∞ = talla asintótica. k_1 = coeficiente de crecimiento anual. t = edad en años. t_1 = edad a la longitud 0 (t_0).
Gompertz	$LE_t = LE_\infty e(-e^{-k_2(t-t_2)})$	k_2 = tasa de crecimiento a la edad t_2 . t_2 = punto de inflexión de la curva y la edad a la cual la tasa absoluta de crecimiento inicia a declinar.
Logístico	$LE_t = LE_\infty (1 + e^{-k_3(t-t_3)})^{-1}$	k_3 = parámetro relativo de la tasa de crecimiento. t_3 = punto de inflexión de la curva sigmoidea.
Richards	$LE_t = LE_\infty (1 - e^{-k_4(1-m)(t-t_0)})^{1/(1-m)}$	k_4 = tasa de crecimiento al punto de inflexión. t_0 = edad al punto de inflexión. m = parámetro de ajuste de la curva.
Schnute (tipo 1)	$LE_t = (y_1^b + (y_2^b - y_1^b) + \left(\frac{1 - e(-a(t - t_4))}{1 - e(-a(t_5 - t_4))}\right)^{\frac{1}{b}})$	y_1 = talla a la edad t_4 y_2 = talla a la edad t_5 b = incremento constante en el tiempo. a = parámetros de ajuste. t_4 = edad menor de los datos. t_5 = edad mayor de los datos.

Para el modelo de crecimiento Schnute (tipo 1), una vez calculados los parámetros, los estimados se utilizaron para calcular LE_{∞} y t_0 con las siguientes ecuaciones aritméticas (Schnute, 1981).

$$LE_{\infty} = \left[\frac{e^{at_5} y_2^b - e^{at_4} y_1^b}{e^{at_5} - e^{at_4}} \right]^{1/b}$$

$$t_0 = t_4 + t_5 - \frac{1}{a} \ln \left[\frac{e^{at_5} y_2^b - e^{at_4} y_1^b}{y_2^b - y_1^b} \right]$$

5.4.9. Ajuste de los modelos a los datos y selección del mejor modelo

La estimación de los parámetros (θ) de los modelos se realizó minimizando el negativo del logaritmo de la verosimilitud utilizando el algoritmo de búsqueda directa de Newton.

$$-\ln \left(\frac{\theta}{data} \right) = \sum - \left[\frac{1}{2} \ln(2\pi) \right] - \left[\frac{1}{2} \ln(\sigma^2) \right] - \left(\frac{\ln\theta_0 - \ln\theta_e}{2\sigma^2} \right)$$

Donde θ_0 y θ_e son los datos observados (proporción de organismos maduros por intervalo de talla, o talla a la edad) y esperados, donde el valor esperado es obtenido de cada modelo evaluado, y σ^2 es la varianza.

Los intervalos de confianza al 95% (IC) de los parámetros en los modelos de crecimiento, se estimaron a partir del cálculo del perfil de verosimilitud suponiendo una distribución X^2 , con m grados de libertad (Polacheck *et al.*, 1993):

$$IC = 2 \left[L \left(\frac{Y}{P} \right) - L \left(\frac{y}{p_{est}} \right) \right] \leq x_{df, 1-a}^2$$

Donde $L \left(\frac{y}{p_{est}} \right)$ es el logaritmo de la máxima verosimilitud del parámetro y $L \left(\frac{Y}{P} \right)$ es el logaritmo de la verosimilitud del parámetro dentro del perfil de verosimilitud. $x_{1, 1-a}^2$ es el valor de la distribución de x^2 a un nivel de confianza $1 - a$ ($a = 0.05$) y grados de libertad (g. l. = 1).

Con el fin de seleccionar el modelo que mejor se ajuste a los datos se utilizó el criterio de información de Akaike (AIC):

$$AIC = 2LL + 2K$$

Dónde LL es el valor de verosimilitud resultante de cada uno de los ajustes y k es el número de parámetros en el modelo.

El modelo con el valor más bajo de AIC_i (AIC_{min}) es el más adecuado entre los evaluados. Se estimaron las diferencias de AIC_i ($\Delta_i = AIC_i - AIC_{min}$) para todos los modelos. Modelos con $\Delta_i > 10$ no tendrán soporte estadístico y serán descartados; modelos con $\Delta_i < 2$ tendrán un soporte estadístico fuerte y los modelos con $4 < \Delta_i < 7$ tendrán un menor soporte estadístico (Burnham & Anderson, 2002).

Para estimar la plausibilidad (veracidad) de cada modelo, dados los datos, se calculó el peso de Akaike (w_i):

$$w_i = \frac{\exp(-0.5\Delta_i)}{\sum_{i=1}^k \exp(-0.5\Delta_k)}$$

El peso de Akaike es considerado como el peso de la evidencia en favor del modelo.

De acuerdo con el enfoque multimodelo se calculó el valor promedio de la talla media de madurez (\bar{L}_{50}) y el promedio de la longitud asintótica (\bar{L}_{∞}). \bar{L}_{50} y \bar{L}_{∞} son estimados ponderados usando los estimados de los modelos multiplicados por w_i^* donde $w_i^* = w_i (w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_k)^{-1}$ (Katsanevakis, 2006).

$$\bar{\theta} = \sum_{i=1}^k w_i^* \hat{\theta}_i$$

6. RESULTADOS

6.1. Muestreo

Se recolectaron un total de 422 ejemplares de sardina japonesa de las descargas de la flota sardinera en los puertos San Carlos y Adolfo López Mateos, en Bahía Magdalena, BCS, entre marzo de 2012 y junio de 2019 (Tabla 3). La importancia por año del muestreo, varió entre 4% y 27% en 2018 y 2019 respectivamente. En los años restantes, 2012-2017 en promedio se recabó un 10%, excepto 2012 y 2017 que fue 5% en promedio para ambos años. Desde una perspectiva de año tipo, se tienen representados los meses de febrero a septiembre, excepto julio, el 75% de los datos fueron obtenidos en abril y mayo.

6.2. Estructura de tallas

La talla de la sardina japonesa varió entre 120 y 255 mm LE (Fig. 2). El promedio de la talla fue 186.6 mm, 23.9 mm de desviación estándar, y una moda de 195 mm. La forma de la distribución presenta una asimetría negativa ($As=-0.11$) y la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk fue significativa ($W=0.98$, $p<0.01$). Las tallas <145 mm y >225 mm estuvieron escasamente representadas.

La estructura de tallas por año no presentó una distribución normal (Shapiro-Wilk, $p<0.05$), y mostró importantes diferencias interanuales (Fig. 3). La prueba Kruskal-Wallis resultó significativa ($H_{(7, n=422)}=152.50$, $p<0.05$) al evaluar las diferencias interanuales inmersas en los valores que conforman la estructura de tallas.

La prueba *a posteriori* de comparación múltiple de pares de medias resultó significativa (Tabla 4). La estructura de tallas en 2013 y 2014 se destacan del resto de los años. Estos años fueron diferentes en talla a los demás, excepto entre ellos y 2014 de 2012 y 2017. La longitud estándar promedio varió de 170.2 ± 16.5 mm en 2015 a 209.5 ± 16.2 mm en 2013 (Fig. 4).

Tabla 3. Numero de sardina japonesa *E. teres* recolectadas por mes-año, de las descargas de la flota sardinera en puerto San Carlos y Adolfo López Mateos, BCS, durante 2012-2019.

Mes-año	Sardinias recolectadas
Marzo-2012	9
Agosto-2012	14
Marzo-2013	7
Abril-2013	50
Mayo-2013	13
Febrero-2014	17
Marzo-2014	15
Abril-2014	15
Mayo-2014	16
Junio-2014	5
Abril-2015	19
Mayo-2015	17
Junio-2015	13
Abril-2016	38
Mayo-2016	10
Septiembre-2016	5
Mayo-2017	26
Abril-2018	14
Mayo-2018	4
Abril-2019	19
Mayo-2019	77
Junio-2019	19
Total	422

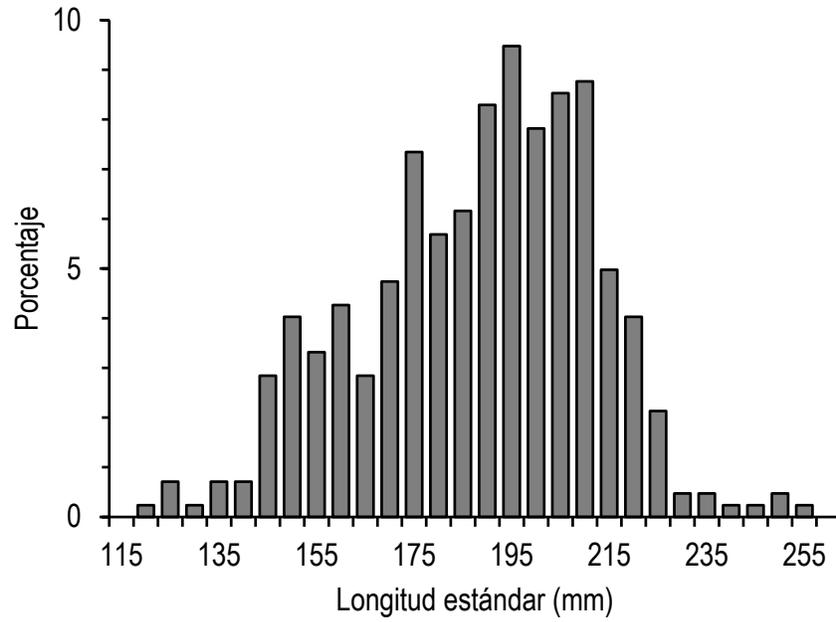


Figura 2. Estructura de tallas de la captura de sardina japonesa *E. teres* en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.

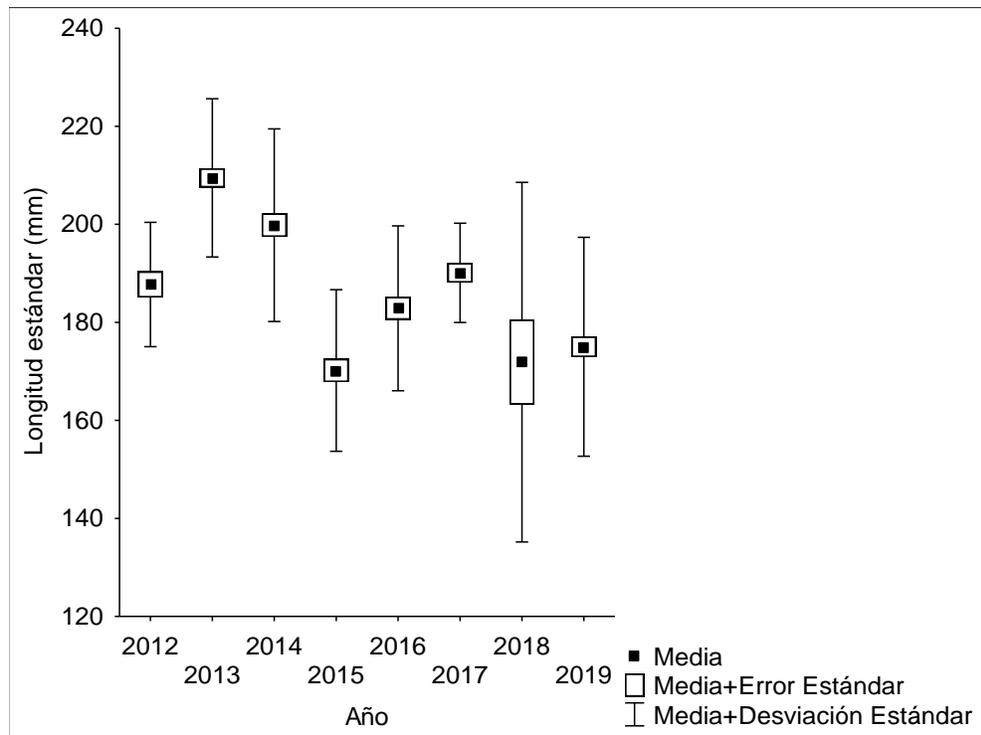


Figura 3. Gráfico de cajas de las tallas por año de sardina japonesa *E. teres* descargada en puerto San Carlos y Adolfo López Mateos, BCS, de 2012 a 2019.

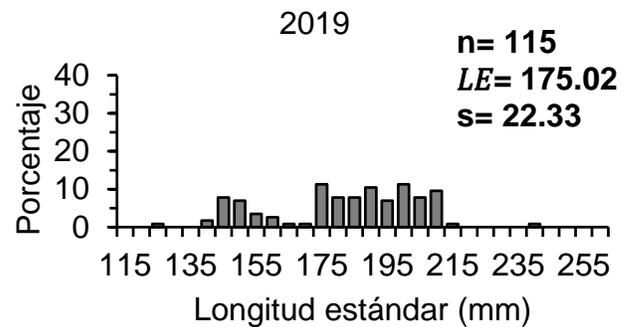
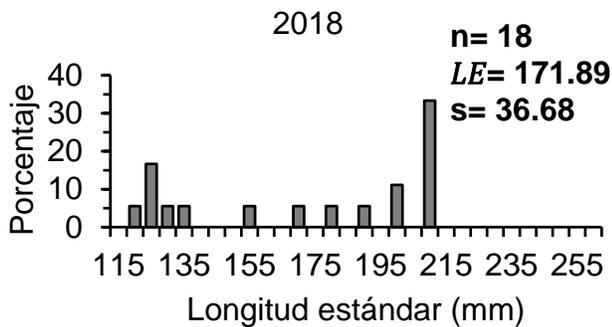
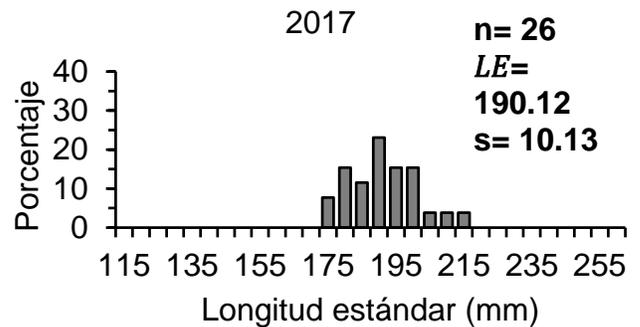
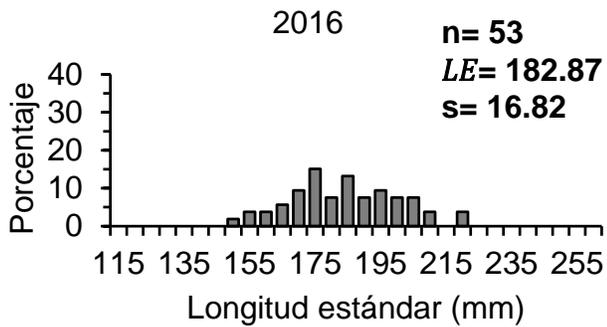
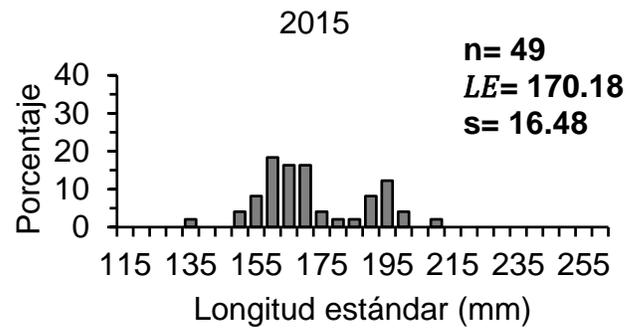
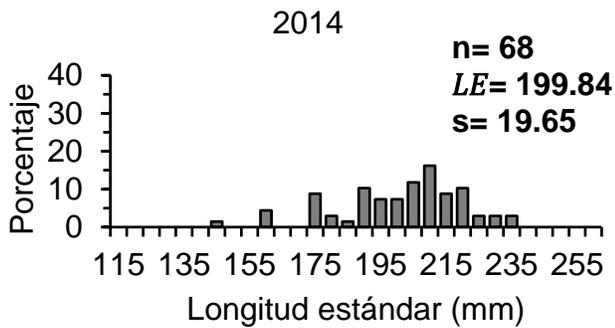
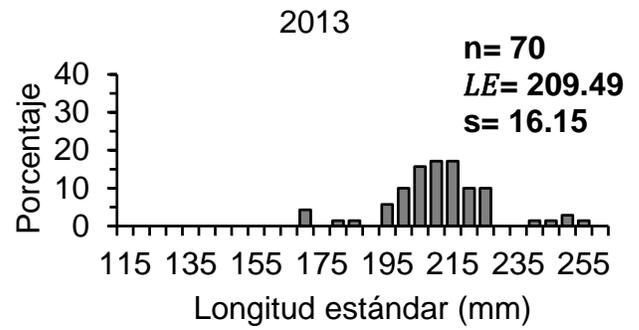
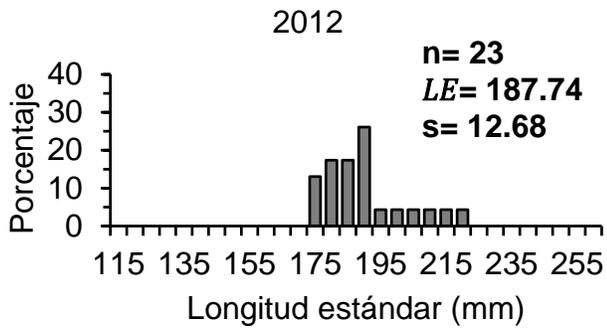


Figura 4. Estructura de tallas por año de sardina japonesa *E. teres*, capturada en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.

Tabla 4. Prueba Post-Hoc de comparación múltiple de medias de tallas de la sardina japonesa *E. teres* por año, en la costa occidental de BCS. Valores significativos en negritas.

Año	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
2012		0.001	0.233	0.163	1.000	1.000	1.000	1.000
2013	0.001		0.409	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
2014	0.233	0.409		0.001	0.001	0.630	0.024	0.001
2015	0.163	0.001	0.001		0.284	0.025	1.000	1.000
2016	1.000	0.001	0.001	0.284		1.000	1.000	1.000
2017	1.000	0.001	0.630	0.025	1.000		1.000	0.353
2018	1.000	0.001	0.024	1.000	1.000	1.000		1.000
2019	1.000	0.001	0.001	1.000	1.000	0.353	1.000	

Al no disponer información de cinco meses (enero, julio y octubre-diciembre), los datos se agruparon por época del año (invierno, primavera y verano) (Fig. 5). Las diferencias en talla entre estaciones fueron significativas (Kruskal-Wallis H ((2, 422) =32.5, $p < 0.05$).

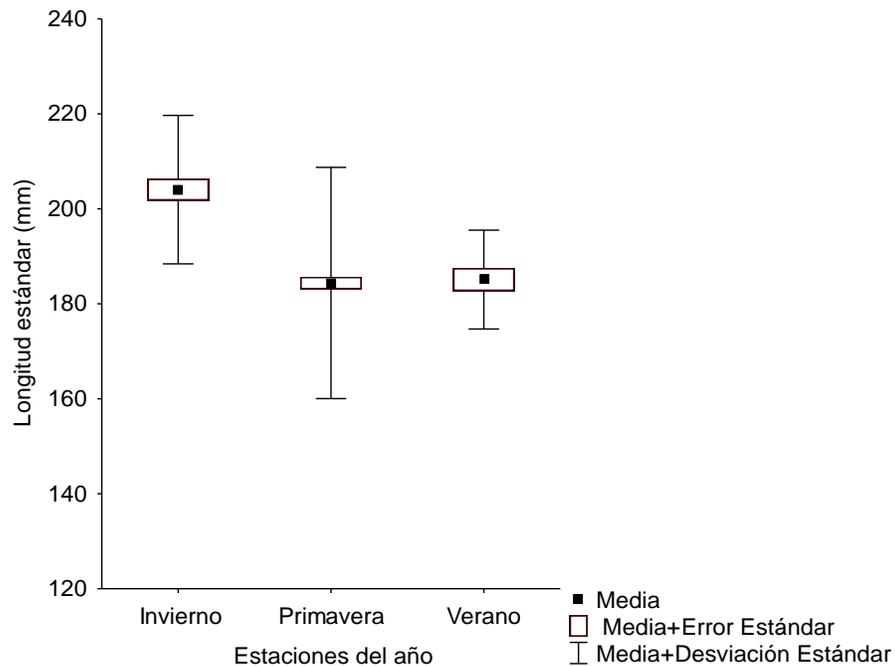


Figura 5. Gráfico de cajas de las tallas por estación (trimestres) de sardina japonesa *E. teres* en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.

La prueba *a posteriori* comparación múltiple de medias mostró que las tallas de invierno difirieron de aquellas de primavera y verano; pero primavera no fue diferente de verano (Tabla 5). La talla promedio varió entre 184.38 ± 24.3 mm (primavera) y 204.0 ± 15.6 mm (invierno) (Fig. 6).

Tabla 5. Prueba Post-Hoc de comparación múltiple de medias de talla por estación del año de la captura de *E. teres* en la costa occidental de BCS. Valores significativos en negritas.

Estaciones del año	Invierno	Primavera	Verano
Invierno		0.001	0.001
Primavera	0.001		1.000
Verano	0.001	1.000	

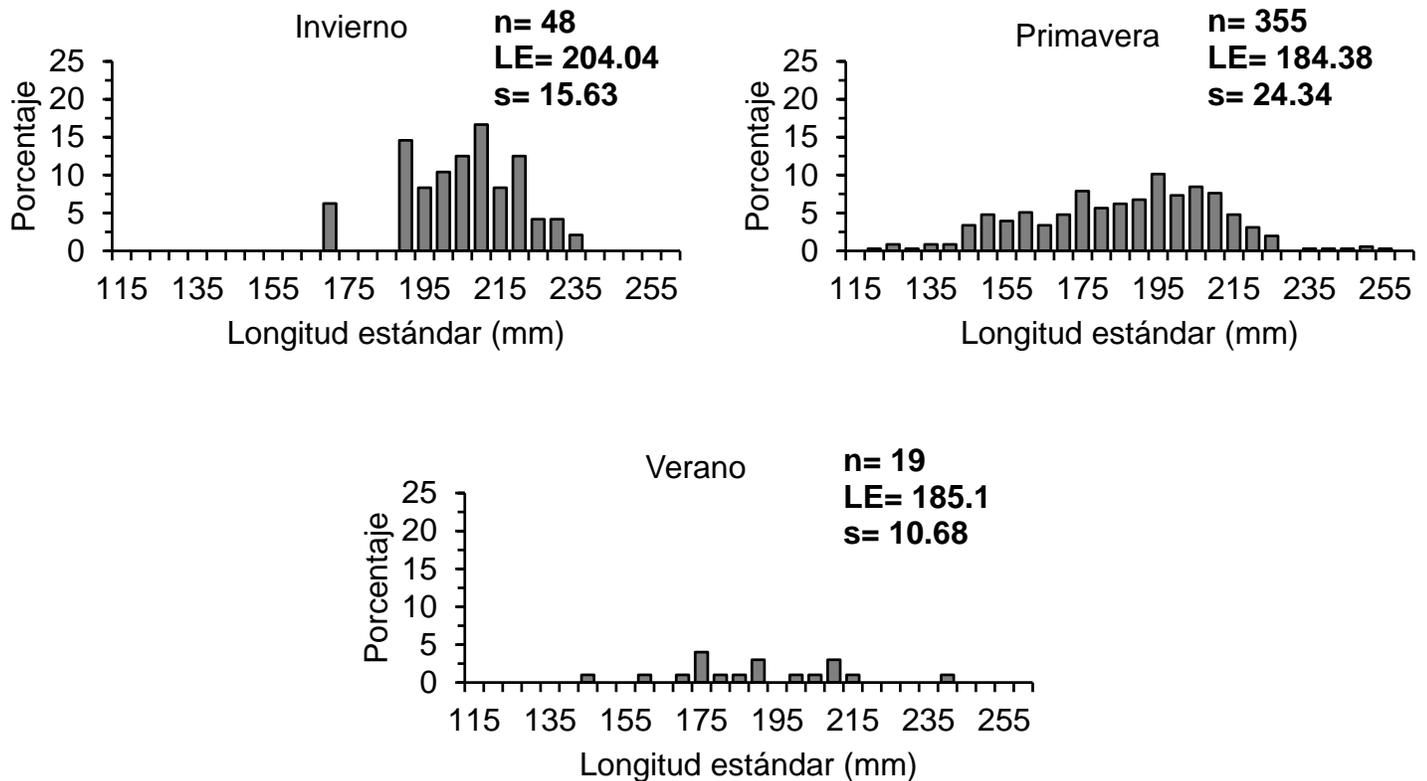


Figura 6. Estructura de tallas por estaciones del año de la sardina japonesa *E. teres*, capturada en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.

6.3. Estructura de tallas entre sexos

Las diferencias en talla entre sexos fueron significativas (K-S, $D=0.052$, $p<0.05$) (Fig. 7). La talla promedio ($LE\pm s$, mm) de las hembras fue 190.6 ± 24.2 , $n=208$ y de machos 185.8 ± 21 , $n=162$. Las hembras presentaron un intervalo de tallas más amplio (125-251 mm LE) respecto de los machos (135-230 mm LE), y mientras que las hembras dominaron en número en tallas >195 mm LE, los machos fueron más abundantes en tallas <195 mm LE. Las estructuras de tallas por sexo entre estaciones no presentaron diferencias significativas (K-S, $p>0.05$). Las tallas promedio para machos fueron 208.0 mm, 183.5 mm y 183.2 mm, en invierno, primavera y verano respectivamente. Para hembras el promedio de tallas promedio fueron 206.0 mm, 188.4 mm y 189.8 mm, respectivamente.

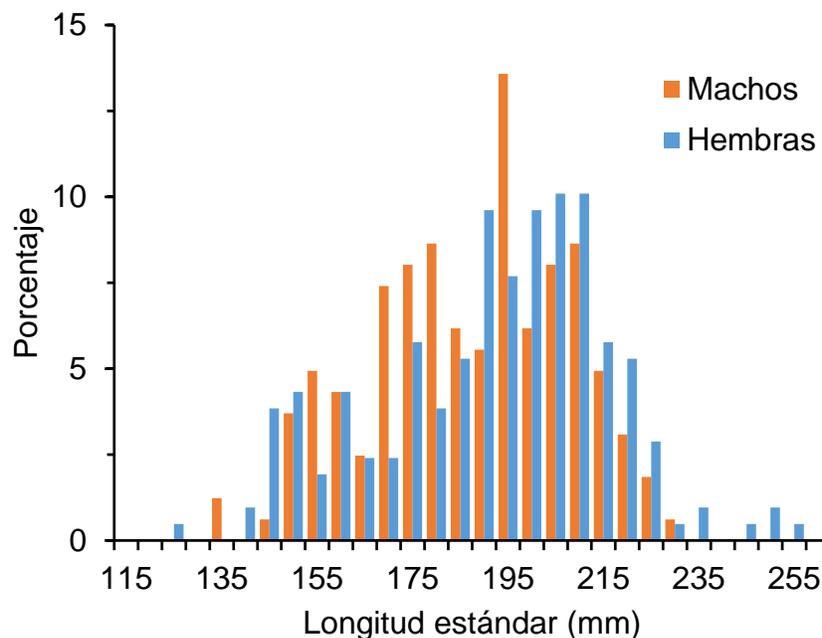


Figura 7. Estructura de tallas por sexo de la sardina japonesa *E. teres* en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.

6.4. Proporción de sexos

Durante el periodo de estudio el número de hembras de sardina japonesa superó al de machos, la proporción de sexos fue de 0.78 M:1 H (Tabla 6) y significativamente diferente de 1:1 ($X^2= 5.6$, $p = 0.001$). Interanualmente, solo durante 2015 la abundancia de machos superó a la de hembras (2:1), y en 2013, 2014, 2015 y 2019 las diferencias en la proporción de sexos fueron significativas (Tabla 6).

Tabla 6. Número de individuos por sexo, por año y por proporción por sexos de sardina japonesa *E. teres* en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.

Valores significativos en negritas.

Sexo	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Total
Macho	9	25	23	32	20	12		41	162
Hembra	7	37	40	16	19	13	11	65	208
	16	62	63	48	39	25	11	106	370
M:H	1.29	0.68	0.58	2.00	1.05	0.92		0.63	0.78
Yates	0.14	2.13	4.32	5.01	0.01	0.01		5.21	5.60

En invierno y primavera predominaron las hembras, a diferencia de verano que favoreció a los machos, y únicamente en primavera la diferencia fue significativa de 1:1 (Tabla 7).

Tabla 7. Número de individuos por estaciones del año y por sexos de la sardina japonesa *E. teres* en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019. Valores significativos en negritas.

Sexo	Invierno	Primavera	Verano
Machos	15	137	10
Hembras	25	178	5
	40	315	15
M:H	0.60	0.77	2.00
Yates	2.26	5.21	1.35

6.5. Época de reproducción

La sardina japonesa *E. teres* presentó actividad reproductiva durante las tres estaciones del año para las que se cuenta con información, sin embargo, los máximos de organismos maduros se presentaron en primavera-verano (Fig. 8). Es importante señalar, primavera esta mejor representada con un total de 315 organismos a diferencia de verano que cuenta con 15 e invierno con 40 (Tabla 8). Los 52 organismos restantes presentaron un mal estado corporal que impidió asignar sexo y estadio de madurez.

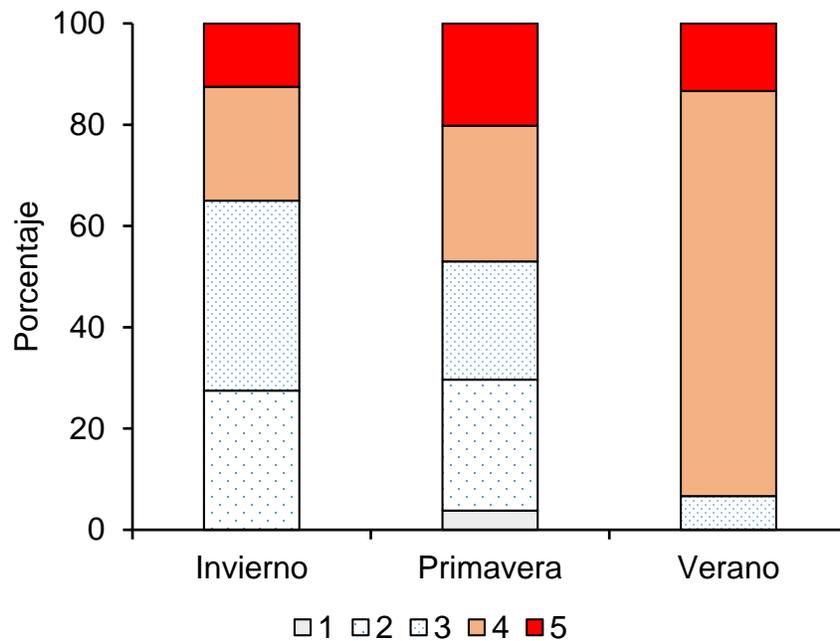


Figura 8. Cambios estacionales en la madurez gonadal de la sardina japonesa *E. teres*, en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.

Tabla 8. Número de individuos por estación del año y por estadio de madurez de sardina japonesa *E. teres*, en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.

Estadio de madurez	Invierno	Primavera	Verano	Total
1		10		10
2	11	82		93
3	15	74	1	90
4	9	85	12	106
5	5	64	2	71
n	40	315	15	370

6.6. Relación longitud-peso

Los organismos en el menor intervalo de tallas (120 mm), presentaron el menor peso (31.1 g) y el mayor peso (238.1 g) se presentó en los mayores intervalos de talla (245 mm), ambos representados en la captura de primavera. Las hembras presentaron mayores pesos respecto a los machos. La relación longitud-peso (PT-LE) se estimó para hembras ($PT = 4.57E-05LE^{2.82}$, $n=208$, $R^2 = 0.94$) y machos ($PT = 3.77E-05LE^{2.86}$, $n=162$, $R^2 = 0.93$), el ANCOVA indicó que las diferencias entre sexos no son significativas ($F= 1.6$, $p>0.05$). Por lo tanto, se estimaron los coeficientes de la relación potencial para sexos combinados (Fig. 9) y el valor de la pendiente ($b=2.82$) difirió del valor teórico de isometría $\beta=3$ ($t = 2.99$, $p<0.05$), por lo que la sardina japonesa presenta un crecimiento de tipo alométrico negativo dentro de los intervalos de tallas y pesos analizados.

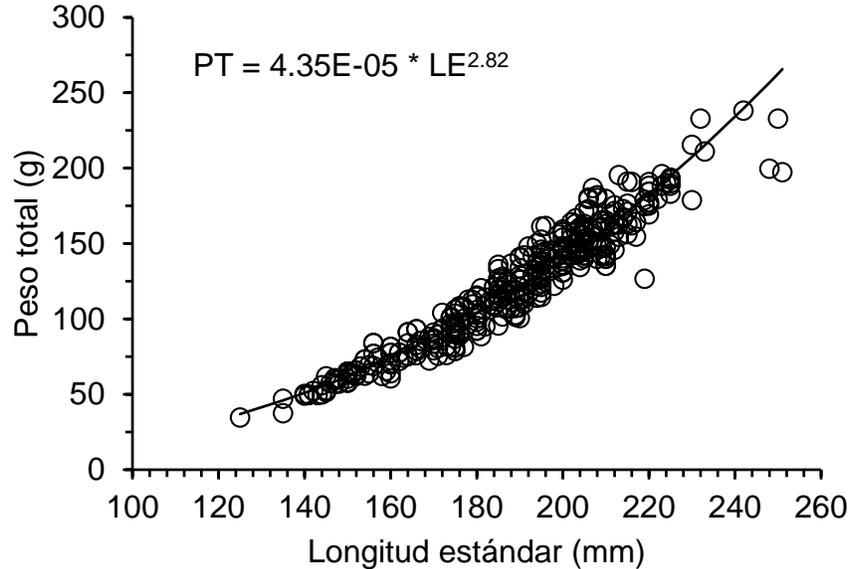


Figura 9. Relación longitud-peso de la sardina japonesa *E. teres* en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019. La línea representa la curva del modelo potencial y los círculos representan los datos de ambos sexos.

6.7. Talla media de madurez sexual ($L_{50\%}$)

Para estimar la talla $L_{50\%}$ en hembras y machos de sardina japonesa, se ajustaron seis modelos candidatos a los datos porcentaje-talla de organismos maduros (estadios III-V). Para hembras, el modelo de Richards fue el único en describir adecuadamente ($\Delta < 2$) los datos (Tabla 9). Para los machos, todos los modelos, excepto Gompertz ($\Delta > 10$), presentaron soporte estadístico para describir adecuadamente la tendencia de los datos ($\Delta < 2$); de entre ellos, el modelo de Lysack posee el valor más bajo de AIC (Tabla 10).

Tabla 9. Parámetros de los modelos evaluados para estimar la talla media de madurez de hembras de sardina japonesa *E. teres*, en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.

Modelo	L _{50%}	# de parámetros	Diferencias de			
			AIC	Akaike (Δ)	w _i	-ln(LL)
Gompertz	188.59	2	-7.31	72.75	0.00	-5.65
Richards	201.70	3	-80.06	0.00	1.00	-43.03
Lysack	196.36	2	-43.86	36.20	0.00	-23.93
White <i>et al.</i>	196.36	2	-43.86	36.20	0.00	-23.93
Brouwer & Griffith	196.36	2	-43.86	36.20	0.00	-23.93
Logístico	196.36	2	-43.86	36.20	0.00	-23.93

Tabla 10. Parámetros de los modelos evaluados para estimar la talla media de madurez de machos de la sardina japonesa *E. teres* en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.

Modelo	L _{50%}	# de parámetros	Diferencias de			
			AIC	Akaike (Δ)	w _i	-ln(LL)
Gompertz	176.50	2	-5.81	17.14	0.00	-4.90
Richards	188.18	3	-21.52	1.43	0.15	-13.76
Lysack	185.56	2	-22.95	0.00	0.30	-13.47
White <i>et al.</i>	185.56	2	-21.98	0.97	0.18	-12.99
Brouwer y Griffiths	185.56	2	-21.98	0.97	0.18	-12.99
Logístico	185.56	2	-21.98	0.97	0.18	-12.99

Para evaluar las diferencias entre sexos, se compararon los estimados del modelo de Richards (mejor ajuste en hembras y $\Delta < 2$ en machos), la prueba ARSS fue significativa ($p < 0.05$) (Fig. 10).

De acuerdo al enfoque multimodelo, se obtuvo un valor promedio para hembras ($\bar{L}_{50\%} = 201.7$) y para machos ($\bar{L}_{50\%} = 186.0$).

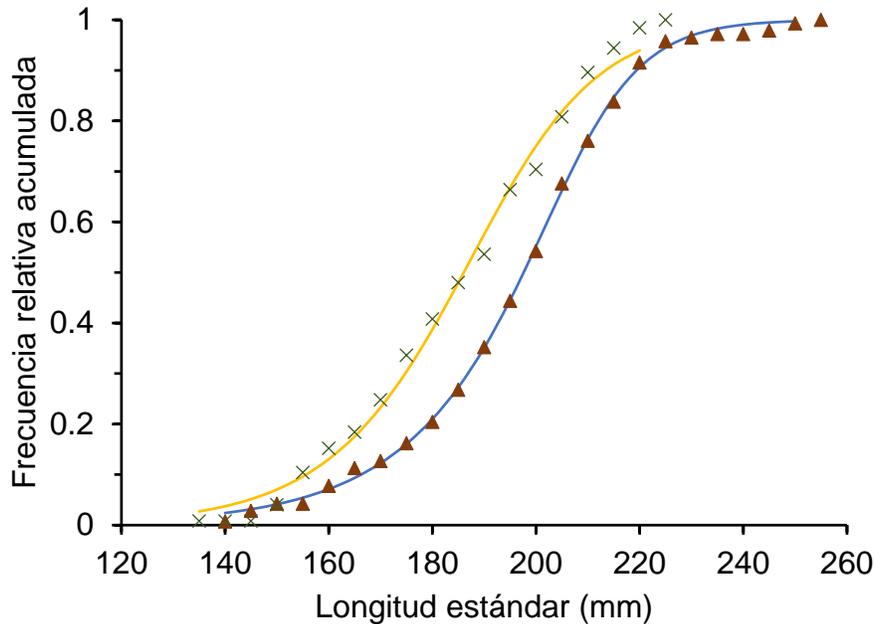


Figura 10. Frecuencia relativa acumulada de sardina japonesa *E. teres* madura por talla y curvas del modelo de Richards. Línea amarilla y símbolos en cruz representan a datos de machos, línea azul y símbolos en triángulo representan a datos de hembras.

6.8. Determinación de la edad

Se leyeron otolitos de 316 individuos de sardina japonesa *E. teres* de entre 120 mm y 250 mm LE, cada otolito se leyó desde el núcleo en dirección a la zona posterior. Se utilizó 0.5 para definir un borde hialino, el borde hialino completamente depositado (se observó el inicio de la banda opaca) definió un año de vida o una marca de crecimiento (banda opaca más banda hialina). Al evaluar la precisión de las lecturas entre lectores, el valor del PEP fue 8.8, valores del índice menores a 10 indican una buena precisión entre lectores. Para el CV el valor fue 11.8, igualmente, este valor indica precisión aceptable, además, el valor de CV resulta ser mayor que

el PEP. Se usó el promedio de las lecturas para definir la edad de cada organismo, al hacer esto resultaron valores con fracciones de 0.25, 0.5 y 0.75.

Se identificaron hasta siete grupos de edad (0 a 6) los grupos de edad III y IV fueron los que predominaron en la captura, seguidos del I, II y V, los grupos menos representados fueron el 0 y VI (Tabla 11).

Tabla 11. Número de individuos, media y desviación estándar (s) de LE, por grupo de edad de la sardina japonesa *E. teres* capturada en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.

Grupo de edad	0	1	2	3	4	5	6
n	8	48	45	86	85	36	9
Media	113.65	150.70	175.57	190.47	202.78	216.22	231.11
s	44.94	6.15	7.08	8.12	6.85	6.82	10.52

6.9. Descripción del crecimiento individual

Para describir el patrón de crecimiento de la sardina japonesa *E. teres*, se ajustaron cinco modelos candidatos a los datos edad-talla por machos y hembras, se incluyó la talla a la eclosión (4 mm, Ahlstrom & Moser, 1980). Tanto en hembras como machos, los modelos con el menor valor de verosimilitud y diferencia de Akaike ($\Delta < 2$) fueron: von Bertalanffy, Richards y Schnute (tipo 1) (Tabla 12, 13, 14 y 15).

Tabla 12. Valores de los parámetros de los modelos ajustados a los datos edad-talla de hembras de la sardina japonesa *E. teres* capturada en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.

Modelo	LE_{∞}	k	t_0	y_1	y_2	A	B	M	$-\ln(LL)$
von Bertalanffy	228.33	0.47	-0.77						851.51
Gompertz	230.11	0.51	-0.12						862.64
Logístico	230.37	0.57	0.47						868.86
Richards	228.33	0.47	-0.79					0.01	851.51
Schnute (tipo 1)	254.1		-0.76	74.12	242.9	0.5	1.0		851.51

Tabla 13. Valores de los parámetros de los modelos ajustados a los datos edad-talla de machos de la sardina japonesa *E. teres* capturada en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.

Modelo	LE_{∞}	k	t_0	y_1	y_2	A	B	M	$-\ln(LL)$
von Bertalanffy	215.06	0.62	-0.41						589.04
Gompertz	213.84	0.73	0.12						600.50
Logístico	213.50	0.81	0.51						607.10
Richards	215.06	0.63	-0.43					0.01	589.04
Schnute (tipo 1)	214.09		-0.41	48.66	210.1	0.6	1.0		589.04

Tabla 14. Valores de AIC, diferencias de Akaike y peso de Akaike (w_i) de los modelos candidatos para la descripción del crecimiento de hembras de la sardina japonesa *E. teres*, en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.

Modelo	# de parámetros	AIC	Diferencias de Akaike (Δ_i)	w_i
von Bertalanffy	3	1709.03	0.00	0.58
Gompertz	3	1731.27	22.25	0.00
Logístico	3	1743.73	34.70	0.00
Richards	4	1711.03	2.00	0.21
Schnute (tipo 1)	4	1711.03	2.00	0.21

Tabla 15. Valores de AIC, diferencias de Akaike y peso de Akaike (w_i) de los modelos candidatos para la descripción del crecimiento de machos de la sardina japonesa *E. teres*, en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.

Modelo	# de parámetros	AIC	Diferencias de Akaike (Δ_i)	w_i
von Bertalanffy	3	1184.072	0.000	0.576
Gompertz	3	1206.991	22.919	0.000
Logístico	3	1220.202	36.130	0.000
Richards	4	1186.072	2.000	0.212
Schnute (tipo 1)	4	1186.072	2.000	0.212

Para evaluar las diferencias en crecimiento entre machos y hembras (Fig. 11), se utilizaron los estimados del modelo de von Bertalanffy ya que obtuvo el valor de AIC más bajo. La prueba ARSS no fue significativa ($p > 0.05$).

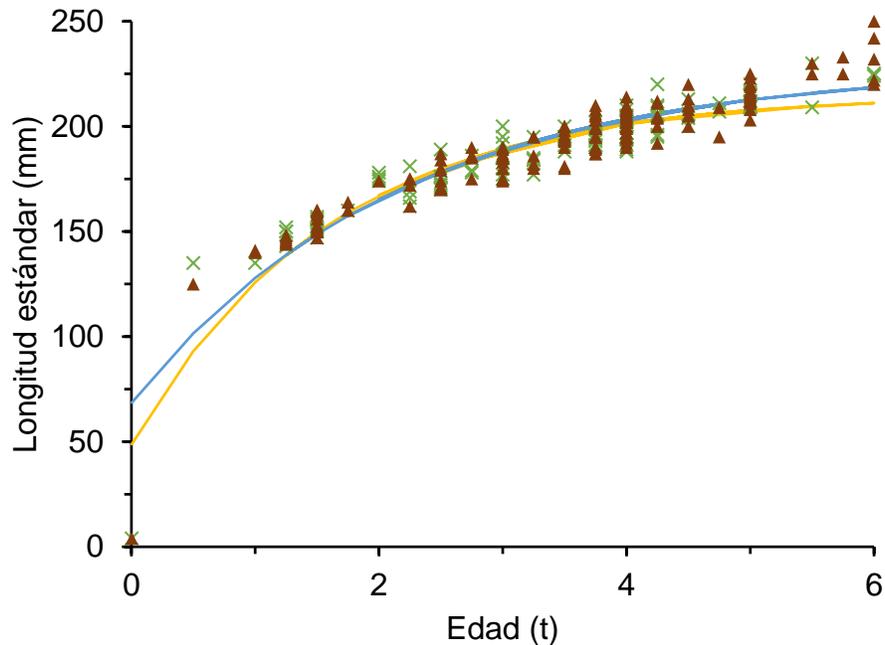


Figura 11. Datos edad-talla y curvas del modelo de crecimiento de von Bertalanffy para hembras y machos de la sardina japonesa *E. teres*, en la costa occidental de BCS. Línea amarilla y símbolos en cruz representan a machos, línea azul y símbolos en triángulo representan a hembras.

Al no existir diferencias significativas entre sexos, se ajustaron los cinco modelos a los datos edad-talla de sexos combinados. Los modelos con el menor valor de verosimilitud (Tabla 16) y valores $\Delta < 2$ (Tabla 17) fueron: von Bertalanffy, Richards y Schnute (tipo 1).

Tabla 16. Valores de los parámetros de los modelos ajustados a los datos edad-talla para sexos combinados de la sardina japonesa *E. teres* capturada en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.

Modelo	LE^∞	k	t_0	y1	y2	A	B	M	$-\ln(LL)$
von Bertalanffy	249.37	0.28	-1.75						1577.97
Gompertz	243.38	0.37	-0.50						1585.62
Logístico	238.86	0.46	0.32						1591.37
Richards	249.37	0.29	-1.78					0.01	1577.97
Schnute (tipo 1)	221.81		-1.75	90.01	198.68	0.29	1.03		1577.97

Tabla 17. Valores de AIC, diferencias de Akaike y peso de Akaike (w_i) de los modelos candidatos para la descripción del crecimiento de sexos combinados de la sardina japonesa *E. teres*, en la costa occidental de BCS, durante 2012-2019.

Modelo	# de parámetros	AIC	Diferencias de Akaike (Δ_i)	w_i
von Bertalanffy	3	3161.937	0.000	0.576
Gompertz	3	3177.238	15.301	0.000
Logístico	3	3188.742	26.805	0.000
Richards	4	3163.937	2.000	0.212
Schnute (tipo 1)	4	3163.937	2.000	0.212

Los perfiles de verosimilitud de los parámetros del modelo de von Bertalanffy, para sexos combinados se presentan en la Figura 12. Los intervalos de confianza son: $LE_{\infty} = 248.14-250.58$ mm, $k = 0.286-0.291$ año⁻¹, $t_0 = -1.795-(-1.697)$ años.

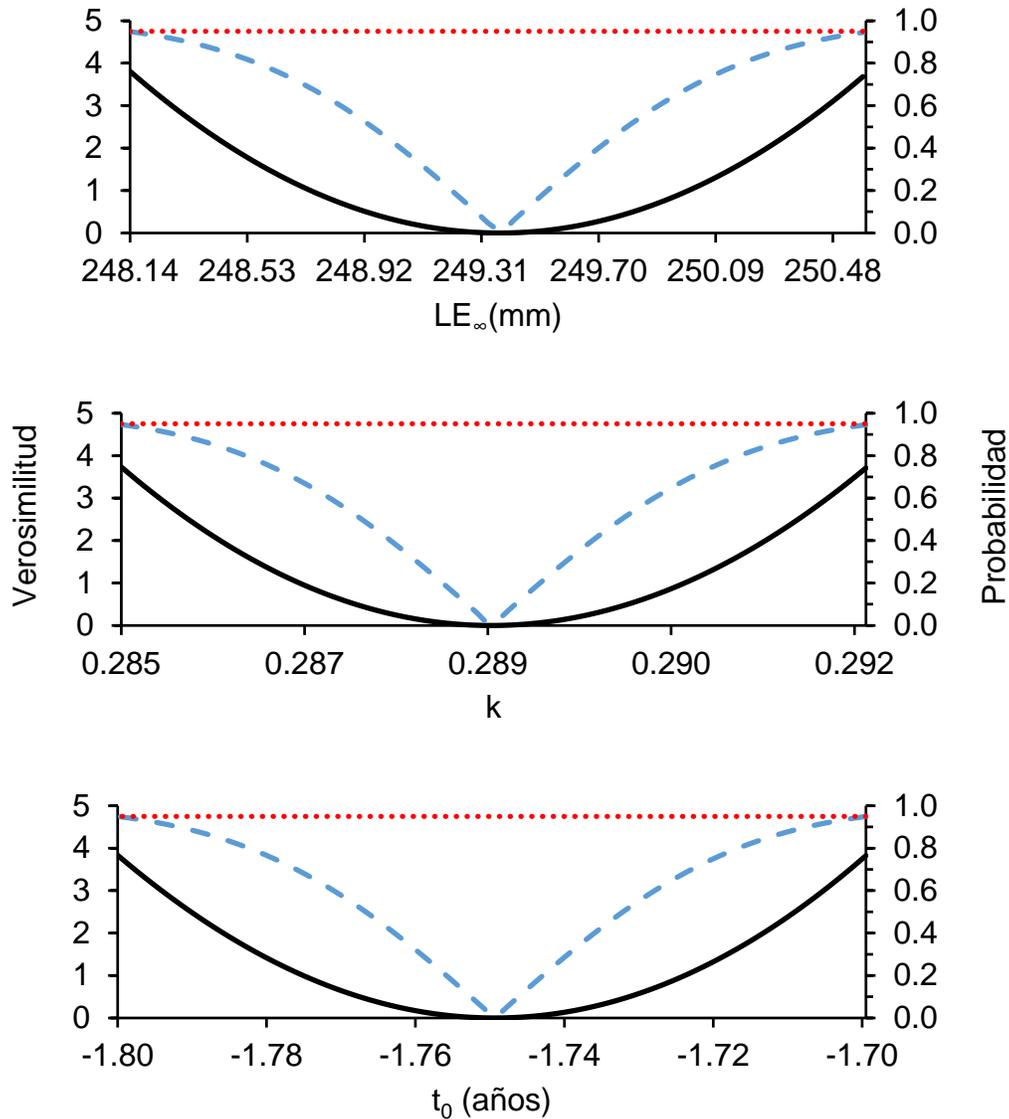


Figura 12. Perfiles de verosimilitud de los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy para sexos combinados de la sardina japonesa *E. teres*, en la costa occidental de BCS. La línea continua en negro es el negativo del logaritmo de la verosimilitud, la línea discontinua color azul es la probabilidad Chi-cuadrada y la línea punteada color rojo representa el corte al 95% de confianza.

De acuerdo con la teoría de la información de AIC, los modelos con una diferencia $\Delta_i \leq 2$ representan un fuerte soporte estadístico. El único parámetro en común y comparable en los modelos seleccionados es L_∞ , por lo tanto y de acuerdo con el enfoque multimodelo, se estimó el parámetro $\overline{L_\infty}$ sumando los productos de L_∞ y w_i por cada modelo; este valor sustituyó al estimador del parámetro correspondiente en el modelo de von Bertalanffy ($\overline{L_\infty} = 243.53$).

7. DISCUSIÓN

Es importante señalar que el presente estudio es el primero en determinar la edad y describir el crecimiento de la sardina japonesa *E. teres* en la costa occidental de BCS, y es uno de pocos trabajos enfocado en aspectos biológicos de la especie en México y en el mundo, a pesar de su explotación como recurso pesquero. Los muestreos realizados mensualmente durante 2012 a 2019 de la descarga de la flota sardinera en los puertos Adolfo López Mateos y San Carlos, BCS, permitieron obtener una muestra de sardinias japonesa en buena condición para obtener datos biométricos, sexos, madurez gonádica y otolitos.

7.1. Estructura de tallas

Se detectaron diferencias interanuales en la estructura de tallas de la sardina japonesa, entre estaciones y sexos. Durante el periodo de estudio, la disponibilidad de la sardina japonesa *E. teres* varió entre uno a tres meses de cada año, excepto en 2014 que se recolectaron durante cinco meses. Martínez-Zavala *et al.* (2010) mencionan que la disponibilidad de muestras de esta especie, en el Golfo de California, se ve influenciada por la estacionalidad del recurso. En la costa occidental de Baja California Sur, la sardina japonesa representa en promedio el 4% (57.7 t) de la captura total, sin embargo, en 2010, 2012, 2013, 2014 y 2015 su captura llegó a representar de 5% a 10% de la captura total. Los incrementos durante esos años están relacionados al decremento en la captura de sardina monterrey *S. sagax*, especie objetivo de la flota sardinera que pesca en la costa occidental de BCS, cuando esto sucede se incrementa la importancia relativa de otras especies de pelágicos menores, estos cambios ya han sido señalados desde hace tiempo atrás (DOF, 1994). Durante el periodo de estudio, la talla promedio de la sardina japonesa fue de 186.65 mm LE (intervalo 120-251 mm), las tallas menores (<160 mm) se registraron durante primavera y las mayores (>190 mm) durante invierno; estas diferencias en la estructura de tallas es evidencia de cambios en el intervalo de talla disponible para la pesca. En lo que respecta a la parte central y sur del Golfo de California, Cisneros-Mata *et al.* (1997) reportan para las temporadas de pesca 1991/92-1995/96 un intervalo de tallas entre 138 a 243 mm

LE con un promedio 182.4 mm: la menor talla promedio se registró en marzo (162.3 mm) y la mayor en diciembre (193.5 mm), así como la presencia de sardina japonesa durante todo el año. Martínez-Zavala *et al.* (2010) reportaron un intervalo de tallas entre 198 a 233 mm LE de sardina japonesa al final de la temporada de pesca (agosto-octubre) durante 2007 y 2008, similar aquel reportado para diciembre por Cisneros-Mata *et al.* (1997). Mencionan que los cambios en la estructura de tallas durante el año son debioa a la tasa de crecimiento individual y a la incorporación de jóvenes reclutas durante la primera mitad del año. Los resultados sugieren cambios similares en la estacionalidad de la estructura de tallas de la captura para la costa occidental de BCS y Golfo de California. Para otras regiones, Farrag *et al.* (2014) reportaron tallas de 90 a 250 mm LT con un promedio de 172 mm, durante 2008, en las costas de Egipto. Señalan que el 69% de las tallas estuvieron entre 130-190 mm LT y que las variaciones en longitud se deben a la temporada reproductiva con la incorporación de reclutas y adultos, y posiblemente las diferencias pueden deberse a momento de la recolección.

7.2. Proporción de sexos

Del total de sardinas japonesa colectadas (n= 422) a 370 se le determinó el sexo, de las cuales el 56% fueron hembras. Interanualmente, dominaron las hembras, y de igual manera en invierno y primavera; pero esta situación se invirtió en verano cuando la tendencia favoreció a los machos. Según lo reportado por Cisneros-Mata *et al.* (1997) durante 1991/92 la reproducción presentó picos máximos en primavera y otoño siendo más abundantes las hembras en invierno y primavera en el Golfo de California. Osman *et al.* (2011) comentan que la abundancia entre sexos de sardina japonesa entre estaciones del año, en el Mar Mediterráneo, está relacionada con la temporada de desove, dominado las hembras de diciembre a mayo (invierno-primavera) y los machos hasta julio (verano). Olvera-Lima & Padilla-García (1986), determinaron que el desove de *E. teres* se lleva a cabo en un rango de temperatura de 16.0° a 20.0° C, salinidades alrededor de 35.2‰ en ambas costas del Golfo de California, no obstante, con mayor intensidad en la costa oriental del golfo, especialmente en la Bahía de Agiabampo, Son. En lo que respecta la costa

occidental de BCS, aun no existen estudios que aborden la determinación de áreas de desove y la distribución geográfica del desove de *E. teres*.

7.3. Cambios en la época reproductiva

Debido a la disponibilidad de datos, el proceso de madurez sexual de la sardina japonesa *E. teres* bien pudo ser poco evidente, al agrupar los datos por estaciones (invierno, primavera y verano), y la mayor actividad reproductiva en verano bien puede estar segada por la cantidad de organismos recolectados, sin embargo, Whitehead & Rodríguez-Sánchez (1995) mencionan que en la costa de Baja California la especie se reproduce entre mayo y julio. En el Golfo de California se reporta un periodo reproductivo más amplio, de otoño a primavera, algunas veces con un pulso reproductivo en verano (Nevárez-Martínez *et al.*, 1993; Lluch-Belda *et al.*, 1996; Cisneros-Mata *et al.*, 1997; Martínez-Zavala *et al.*, 2006).

7.4. Relación Longitud-Peso

El modelo potencial se ajustó adecuadamente a los datos longitud-peso para hembras, machos y sexos combinados siendo significativo, y los valores de isometría fueron menores a 3 ($p < 0.05$). Yilmaz & Hossucu (2003) mencionan que el hecho de que el coeficiente de determinación sea cercano a 1, muestra que existe una buena correspondencia entre la longitud al cubo y el peso de los especímenes de la población. El valor de la pendiente (< 3), indica que el pez crece proporcionalmente más en longitud que en peso (Wootton, 1990). Farrag *et al.* (2014) analizaron la relación longitud-peso para 219 machos y 437 hembras de sardina japonesa utilizando el peso eviscerado y encontraron que los valores del coeficiente de alometría para machos, hembras y sexos combinados revelaron un crecimiento alométrico positivo, y sin diferencias significativas entre sexos ($p > 0.5$). Un crecimiento alométrico positivo coincide con Sanders *et al.* (1984), Xu *et al.* (1994), El-Sayed (1996), Yilmaz & Hossucu (2003), Mehanna & El-Gammal (2005), Bariche *et al.* (2006), Akel (2009) y Erguden *et al.* (2009). Para fines comparativos con los trabajos mencionados anteriormente, utilizamos el peso eviscerado (PE) para la relación longitud-peso, en hembras, machos y sexos combinados. El resultado del análisis fue similar al utilizar el peso total, el valor del exponente fue

<3 ($t=1.96$, $n=370$, $p<0.05$). La diferencia con los resultados del presente estudio puede atribuirse a varias causas, entre ellas a la selectividad del arte de pesca, al origen de los datos (temporada, poblaciones) y diferencias anuales en las condiciones ambientales del hábitat (Froese, 2006). También pudo influir una pobre representación en la estructura de tallas analizada donde la representación de organismos en tallas mayores a la media, lo que provoca que el coeficiente de alometría tienda a disminuir (Ruiz-Domínguez, 2015). Antony-Raja (1967) explica que al analizar la relación longitud-peso de *Sardinella longiceps*, en el caso de las hembras inmaduras los valores del coeficiente de alometría son menores a los de organismos adultos, debido a que son organismos delgados al no haber alcanzado aún la madurez sexual.

7.5. Talla media de madurez ($L_{50\%}$)

No existen trabajos que involucren la talla media de madurez para la sardina japonesa *E. teres* de la costa occidental de BCS. En el caso de los peces pelágicos menores en México, comúnmente se ha aplicado el modelo logístico de distribución normal con diferentes variantes (Gluyas-Millán, 1994, García-Alberto, 2010, Martínez-Zavala *et al.* 2010), sin que necesariamente sea el más adecuado o el que mejor se ajuste a los datos (Jacob-Cervantes & Aguirre-Villaseñor, 2014). En este estudio se confrontaron varios modelos para estimar la talla media de madurez a través del enfoque multimodelo. El modelo que mejor se ajustó a los datos de hembras y de sexos combinados fue el de Richards, mientras que para machos fue el de Lysack. Jacob-Cervantes & Aguirre-Villaseñor (2014) estimaron la $L_{50\%}$ en hembras de sardina crinuda *O. libertate* utilizando un enfoque multimodelo, evaluaron cinco modelos candidatos, siendo el modelo de Lysack el que presentó el mejor ajuste a los datos de hembras maduras. Los valores estimados en el presente estudio, son mayores a los reportados por Sanders *et al.* (1984), para la sardina japonesa del Golfo de Suez ($L_{50\%}=163.6$ mm LE para hembras y 161.7 mm LE para machos), y también a los estimados de Osman *et al.* (2011) para las costas de Egipto ($L_{50\%}=138$ para machos y $L_{50\%}=135$ para hembras). Jacob-Cervantes y

Aguirre-Villaseñor (2014) mencionan para la sardina crinuda *Opisthonema liberarte* del sur del Golfo de California, que las diferencias interanuales en $L_{50\%}$, pueden ser consecuencia de la tasa de crecimiento, reflejándose en los estimados de las tallas media de madurez. No obstante, las diferencias observadas en los valores de $L_{50\%}$ dependen de varios factores: a) Diferencias fenotípicas de los stocks a lo largo de un gradiente latitudinal o temporal. Se ha observado en *Ophiodon elongates* que la $L_{50\%}$ se incrementa con la latitud al comparar tres stocks a lo largo de la costa de British Columbia, Canadá (Richards *et al.* 1990). b) En cuanto a la calidad y la estructura de los datos, estudios basados en simulación han probado diferentes tipos de distribución logística: sin sesgo, con sesgo hacia la derecha o con sesgo hacia la izquierda, y se han encontrado diferencias en el estimado de $L_{50\%}$ según la estructura y el número de datos. Cuando los datos son muy dispersos y no están bien representados, el ajuste puede llegar a ser ineficaz (Trippel & Harvey 1991, Chen & Paloheimo 1994, Punt *et al.* 2006). c) La amplitud del intervalo de clase. Se ha observado que para un mismo grupo de datos cuando el IC difiere en amplitud, el estimado de $L_{50\%}$ puede variar (Chen & Paloheimo 1994).

7.6. Determinación de la edad

En todos los otolitos de sardina japonesa *E. teres* las marcas de crecimiento se observaron de manera clara, y estas fueron más evidentes al ser sumergidos en agua. Se determinaron hasta siete marcas de crecimiento correspondiendo a grupos de 0-6 edad. La longitud media por grupo de edad mostro un incremento progresivo, siendo mayor en los primeros 3 grupos de edad (30 mm por año) y disminuyendo en los grupos de edad posteriores (14 mm por año).

Durante el proceso de lectura de los otolitos, los primeros grupos de edad fueron fácilmente identificables, mientras que las marcas próximas al borde del otolito fueron más difíciles de discriminar, esto debido a la proximidad entre ellas, consecuencia de la reducción del ancho de la marca de crecimiento. Esta situación fue más frecuente para los grupos de edad V y VI. Landa & Piñeiro (2000), Masuda *et al.* (2000) y Lucena & O'Bried (2001) comentan que esta situación es común para

muchas especies, ya que la tasa de crecimiento disminuye de manera significativa en individuos adultos, sin embargo, las marcas de crecimiento se siguen depositando sobre el borde del otolito.

En pocos estudios se han utilizado otolitos para describir la edad de sardina japonesa (Farrag *et al.*, 2014). Chen (1992), estimó la edad en juveniles de esta especie en el Golfo de México. Yilmaz & Hossucu (2003) y Mehanna & El-Gammal (2005) reportaron un máximo de tres años para la sardina japonesa, en la costa sur de Turquía. Posteriormente, para la misma región del Mar Mediterráneo, Farrag *et al.* (2014) estimaron una edad máxima de cinco años. Observaron que el grupo de edad II y III fueron los mejor representados, con 64% de importancia; y los grupos más jóvenes y viejos fueron los menos abundantes. Lagler (1977) menciona que la baja abundancia de organismos longevos en la estructura de edad para una especie es consecuencia de una mayor mortalidad acumulada que los organismos más jóvenes.

7.7. Crecimiento individual

Existen pocos estudios sobre el crecimiento individual de la sardina japonesa *E. teres*, y en ellos utilizan el modelo de von Bertalanffy, el cual ha sido utilizado en un gran número de especies, ya que sus parámetros han sido incorporados en modelos para la evaluación de los recursos y se considera que el parámetro k y L_{∞} tienen significado biológico. La práctica común en la descripción del crecimiento en peces es que *a priori* se adopta el modelo de crecimiento de von Bertalanffy, sin embargo, en muchos casos este no describe adecuadamente la tendencia de los datos y muchas especies parecen seguir diferentes trayectorias de crecimiento (Katsanevakis & Maravelias, 2008). Por lo tanto, en el presente estudio se evaluó el crecimiento individual de la sardina japonesa mediante el enfoque multimodelo, y el AIC para decidir respecto al ajuste de los modelos.

Las ventajas de utilizar el AIC radican en que los modelos pueden ordenarse jerárquicamente según las diferencias de Akaike, obtener un valor ponderado de los parámetros comunes en los modelos con $\Delta_i \leq 2$.

Burnham & Anderson (2002) mencionan que es necesario evaluar más de un modelo, para evidenciar al que mejor describa la tendencia de los datos. Además, el establecer una comparación entre diferentes modelos con distintos supuestos biológicos, tipo y forma de la curva, resulta valioso para hacer inferencia objetiva sobre los estimados de crecimiento (Beninger *et al.*, 2012). Otro argumento para utilizar un enfoque multimodelo es planteado por Ricker (1975), quien comenta que el crecimiento de los peces varía en las distintas etapas de vida y debido a la discontinuidad en el desarrollo, debido a la madurez, cambios en el comportamiento o cambios en el hábitat, lo cual podría resultar en que para stocks de la misma especie deban evaluarse con diferentes modelos de crecimiento.

En el presente estudio, los modelos que mejor se ajustaron a los datos edad-LE de la sardina japonesa *E. teres* fueron jerárquicamente von Bertalanffy, Richards y Schnute (tipo 1). Los estimados de los parámetros de crecimiento del presente estudio, son similares aquellos de Sanders *et al.* (1984) para el Golfo de Suez, (L_{∞} = 268 mm LT, k = 0.8, t_0 = 0.54 años), Cisneros-Mata *et al.* (1991) para el Golfo de California, México (L_{∞} = 231 mm LE, k = 0.86) y con Mehanna & El-Gammal (2005) para el Golfo de Suez (L_{∞} = 269 mm LT, k = 0.59, t_0 = -0.4 años). Y fueron significativamente mayores a los reportados por El-Sayed (1996) y Yilmaz & Hossucu (2003). Las diferencias pueden atribuirse al intervalo de tallas analizado, que incluyeron pocos grupos de edad.

8. CONCLUSIONES

- La estructura de tallas de la sardina japonesa *E. teres*, mostro una tendencia hacia organismo de mayor tamaño durante los tres primeros años de estudio (2012, 2013 y 2014), posteriormente la talla descendió en promedio 20 mm de longitud. La estructura de tallas es relativamente amplia lo que pone en manifiesto la presencia de organismos longevos o de mayor edad en la población. El agotamiento de las clases de tallas más grande podría ser un síntoma negativo de la presión de pesca; no siendo el caso para la especie.
- En primavera se presentó la mayor cantidad de organismos muestreados y el mayor rango de intervalo de tallas. Las hembras de la sardina japonesa presentaron una mayor LE que los machos (H: 191 mm, M: 186). Este comportamiento, posiblemente relacionado con los cambios en la distribución y disponibilidad para la pesca, para fortalecer esta conclusión se requiere abordar los cambios en distribución de la especie.
- La proporción de sexos favoreció a las hembras de la sardina japonesa (0.7M:1H). La época reproductiva fue amplia, de acuerdo a la presencia de organismos maduros se identificó un largo periodo de desove, siendo mayor durante primavera.
- Los modelos Lysack y Richards resultaron estadísticamente adecuados para estimar la talla media de madurez de la sardina japonesa. Sin embargo, de acuerdo con el criterio de información de Akaike, para sexos combinados, el modelo más adecuado fue Richards.
- La sardina japonesa presentó alometría negativa, se presentó proporcionalmente un incremento mayor en longitud que en peso.
- Se detectaron hasta 7 grupos de edad (0-6) para la sardina japonesa, predominando los grupos 3 y 4.
- Los modelos von Bertalanffy, Richards y Schnute fueron estadísticamente adecuados para describir el crecimiento individual de la sardina japonesa.

Sin embargo, de acuerdo con el criterio de información de Akaike, en ambos sexos, el modelo más adecuado es von Bertalanffy.

9. LITERATURA CITADA

- Ahlstrom, E.H., & H.G. Moser. 1980. Characters useful in identification of pelagic marine fish eggs. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*, 21:121-131.
- Akel, E.H.Kh. 2009. Fisheries of experimental purse seine net using light and population dynamics of *Sardinella aurita* (Family Clupeidae) east of Alexandria, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 13(1):55-77.
- Antony Raja, B.T. 1967. Length-weight relationship in the oil-sardine, *Sardinella longiceps*. Val. *Indian Journal of Fisheries*, 14(1&2):159-170.
- Aragón-Noriega, E.A. 2013. Modelación del crecimiento individual del callo de hacha, *Atrina maura* (Bivalvia: Pinnidae), a partir de la inferencia multimodelo. *Revista de biología tropical*, 61(3):1167-1174.
- 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(8):982-983.
- Beninger, P. G., I. Boldina, & S. Katsanevakis. 2012. Strengthening statistical usage in marine ecology. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 426:97-108.
- Bariche, M., N. Alwan & M. El-Fadel. 2006. Structure and biological characteristics of purse seine landings off the Lebanese coast (eastern Mediterranean). *Fisheries Research*, 82(1-3):246-252.
- Burnham, K.P. & D.R. Anderson. 2002. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach. Springer Science & Business Media. 488 p.
- Campana, S.E. & S.R. Thorrold. 2001. Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58(1):30-38.

- Cervantes-Duarte, R., R. Prego, S. López-López, F. Aguirre-Bahena & N. Ospina-Alvarez. 2013. Annual patterns of nutrients and chlorophyll in a subtropical coastal lagoon under the upwelling influence (SW of Baja-California Peninsula). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 120:54-63.
- Chang, W.Y. 1982. A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39(8):1208-1210.
- Chen, Y. & J.E. Paloheimo. 1994. Estimating fish length and age at 50% maturity using a logistic type model. *Aquatic Sciences*, 56(13):206-219.
- Chen, W., J.J. Govoni & S.M. Wavlen. 1992. Comparison of feeding and growth of larval round herring *Etrumeus teres* and gulf menhaden *Brevoortia patronus*. *Fishery Bulletin*, 90(1):183-189.
- Cisneros-Mata, M.A., J.J. Estrada, J.P. Santos-Molina, A.R. Godínez-Cota & C. Alvarado. 1989. Programa nacional de investigación de sardina (Informe temporada 1987/1988). Documento interno. SEPESCA, Instituto Nacional de Pesca, CRIP Guaymas, Son. México, 47 p.
- Cisneros-Mata, M.A., M.O. Nevárez-Martínez, G. Montemayor-López, J.P. Santos-Molina & R. Morales-Azpeitia. 1991. Pesquería de sardina en el Golfo de California 1988/1989–1989/1990. Documento interno. SEPESCA, Instituto Nacional de Pesca, CRIP Guaymas, Son. México, 80 p.
- Cisneros-Mata, M.A., M.O. Nevárez-Martínez, M.A. Martínez-Zavala, M.L. Anguiano-Carrasco, J.P. Santos-Molina, A.R. Godínez-Cota & G. Montemayor-López. 1997. Diagnóstico de la pesquería de pelágicos menores del Golfo de California de 1991/1992–1995/1996. Documento interno. SEPESCA, Instituto Nacional de Pesca, CRIP Guaymas, Son. México, 59 p.
- Csirke, J. 1980. Introducción a la dinámica de poblaciones de peces. *FAO. Documento técnico de pesca*, 192:1-82.

Cushing, D.H. 1981. Fisheries biology. A study in population dynamics. The University of Wisconsin Press. Ltd, Second Edition. London, 295 p.

Diario oficial de la federación. 1994. 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. Diario Oficial de la Federación. México, 33-37 p.

Diario oficial de la federación. 2019. Norma Oficial Mexicana NOM-003-SAG/PESC2018, para regular el aprovechamiento de las especies de peces pelágicos menores con embarcaciones de cerco, en aguas de jurisdicción federal del Océano pacífico, incluyendo el Golfo de California. DOF. México, 15 p.

El-Sayed, A. 1996. Biological and Ecological studies on purse-seine fisheries in the Gulf of Suez, Doctoral dissertation, Ph. D. thesis, Suez Canal University, Ismailia, Egypt. 120 p.

Erguden, D., C. Turan & M. Gurlek. 2009. Weight–length relationships for 20 Lessepsian fish species caught by bottom trawl on the coast of Iskenderun Bay (NE Mediterranean Sea, Turkey). *Journal of Applied Ichthyology*, 25(1):133-135.

FAO. 2017. Estadísticas de pesca y acuicultura 2012. *Roma*. 76 p.

Farrag, M.M.S. 2010. Fishery biology of Red Sea immigrant *Etrumeus teres* (Family: Clupeidae) in the Egyptian Mediterranean water, off Alexandria. M.Sc. Thesis, Faculty Science, Al-Azhar University. Egypt, 40(2):181-190.

Farrag, M. M., A.G. Osman, E.S.H.K. Akel & M.A. Moustafa. 2014. Catch and effort of night purse seine with emphasize to Age and Growth of lessepsian *Etrumeus teres* (De kay, 1842), Mediterranean Sea, Egypt. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 40(2):181-190.

- Félix-Uraga, R. 1986. Edad, crecimiento y estructura poblacional de *Sardinops sagax caerulea* en Bahía Magdalena, durante 1981 a 1984. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. México, 103 p.
- Félix-Uraga, R. 2006. Dinámica poblacional de la sardina del pacífico *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) (clupeiformes: clupeidae), en la costa oeste de la península de Baja California y el sur de California. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. México, 86 p.
- Fitch, J.E. 1951. Age Composition of the Southern California Catch of Pacific Mackerel: 1939-40 through 1950-51 p.
- Froese, R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of applied ichthyology*, 22(4):241-253.
- García-Alberto, G. 2010. Reproducción de la sardina del Pacífico, *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842), en la región sur de la corriente de California. Tesis Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. México, 77 p.
- Gluyas-Millán, M.G. 1994. Reproducción, edad y talla de primera madurez de la macarela *Scomber japonicus* (Houttuyn, 1782) en Bahía Vizcaíno. *Ciencias Marinas*. 20(3):409-419.
- Gluyas-Millán, M.G. & C. Quiñónez-Velázquez. 1996. *Scomber japonicus*. *Ciencias Marinas*, 22(3):377-395.
- Gulland, J.A. 1971. Manual de métodos para la evaluación de poblaciones de peces. FAO, Manuales en Ciencia Pesquera, Madrid, 164 p.
- Holden, M.J. & D.F.S. Raitt. 1975. Manual de ciencia pesquera: parte 2: Métodos para investigar los recursos y su aplicación. Roma: FAO. 221 p.
- Houde, E.D. 1977. Abundance and potential yield of the round herring, *Etrumeus teres*, and aspects of its early life history in the eastern Gulf of Mexico. *Fish. Bull.*, 75:61-89.

- Jacob-Cervantes, M.L. & H. Aguirre-Villaseñor. 2014. Inferencia multimodelo y selección de modelos aplicados a la determinación de L50 para la sardina crinuda *Opisthonema libertate* del sur del Golfo de California. *Ciencia Pesquera*, 22(1):61-68.
- Katsanevakis, S. 2006. Modelling fish growth: model selection, multi-model inference and model selection uncertainty. *Fisheries Research*, 81:229-235.
- Katsanevakis, S. & C.D. Maravelias. 2008. Modelling fish growth: multi-model inference as a better alternative to a priori using von Bertalanffy equation. *Fish and fisheries*, 9(2):178-187.
- Lagler, K.F., J.E. Bardach, R.R. Miller, & D.R. May Passino. 1977. Ichthyology. John Wiley and Sons. New York, 506 p.
- Landa, J. & C. Piñeiro. 2000. Megrim, *Lepidorhombus whiffiagonis*, growth in the North-eastern Atlantic based on back-calculation of otolith rings. *ICES Journal of Marine science*, 57(4):1077-1090.
- Lucena, F.M. & C.M. O'Brien. 2001. Effects of gear selectivity and different calculation methods on estimating growth parameters of bluefish, *Pomatomus saltatrix* (Pisces: Pomatomidae), from southern Brazil. *Fishery Bulletin*, 99(3):432-432.
- Lluch-Belda, D., J. Arvizu, S. Hernández-Vázquez, D.B. Lluch-Cota, C.A. Salinas-Zavala, T. Baumgartner & O. Pedrín-Osuna. 1996. La pesquería de sardina y anchoveta. *Pesquerías relevantes de México*, 2:419-535.
- Lluch-Belda, D., D.B. Lluch-Cota & S.E. Lluch-Cota. 2003. Baja California's biological transition zones: refuges for the California sardine. *Journal of Oceanography*, 59(4):503-513.
- López-Martínez, J., M.O. Nevárez-Martínez, A. Leyva-Contreras & O. Sánchez. 2000. Análisis de tres variables oceanográficas en la región de Guaymas Sonora, México. BAC Centros de actividad biológica del Pacífico mexicano. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, 229-245 p.

- Martínez-Zavala, M.A., M.O. Nevárez-Martínez, M.L. Anguiano-Carrasco, J.P. Santos-Molina, & A.R. Godínez-Cota. 2006. Diagnóstico de la pesquería de pelágicos menores en el Golfo de California, temporadas de pesca 1998/99 a 2002/03. SAGARPA, Instituto Nacional de la Pesca, Centro Regional de Investigación Pesquera-Guaymas, 105 p.
- Martínez-Zavala, M., M.O. Nevárez-Martínez, M.L. Anguiano-Carrasco, J.P. Santos-Molina & A.R. Godínez-Cota. 2010. Captura de peces pelágicos menores en el Golfo de California, temporada de pesca 2007-2008. *Ciencia Pesquera*, 18(2): 5-18.
- Masuda, Y., T. Ozawa, O. Onoue & T. Hamada. 2000. Age and growth of the flathead, *Platycephalus indicus*, from the coastal waters of west Kyushu, Japan. *Fisheries Research*, 46(1-3):113-121.
- Mehanna, S.F. 2004. Maximum sustainable yield of the round herring, *Etrumeus teres* and slimy mackerel, *Scomber japonicus*, from the Gulf of Suez. *Bull. Nat. Inst. Oceanogr. Fish, ARE*, 30:322-325.
- Mehanna, S.F. & F. El-Gammal. 2005. Stock assessment of the round herring, *Etrumeus teres* (De Kay, 1842), in the Egyptian sector of Red Sea. *Indian J. Fish*, 52(4):377-383.
- Mercier, L., J. Panfili, C. Paillon, A. N'diaye, D. Mouillot & A.M. Darnaude. 2011. Otolith reading and multi-model inference for improved estimation of age and growth in the gilthead seabream, *Sparus aurata*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 92(4):534-545.
- Morales-Bojorquez, E.2006. *Estimación del rendimiento de la pesquería de sardina monterrey, Sardinops caerulea*, de Bahía Magdalena, Baja California Sur, México: Un análisis de riesgo e incertidumbre basado en el teorema de Bayes. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. México, 142 p.

- Nevárez-Martínez, M.O., R. Morales-Azpeitia, M.A. Martínez-Zavala, J.P. Santos-Molina & M.A. Cisneros-Mata. 1993. Pesquería de pelágicos menores en el Golfo de California. Temporada 1990/1991. SEPESCA, Instituto Nacional de la Pesca, Centro Regional de Investigación Pesquera-Guaymas. 70 p.
- Nevárez-Martínez, M.O., M.A. Martínez-Zavala, C.E. Cotero-Altamirano, M.L. Jacob-Cervantes, Y. Green-Ruiz, G. Gluyas-Millán & J.P. Santos-Molina. 2006. Peces pelágicos menores. Sustentabilidad y Pesca Responsable en México. Evaluación y Manejo. Instituto Nacional de la Pesca, México, 265-301 p.
- Olvera-Limas, R.M. & M.A. Padilla-García. 1986. Evaluación de la población de sardina japonesa *Etrumeus teres* y monterrey *Sardinops sagax* en el Golfo de California. *Instituto Nacional de Pesca. Secretaria de Pesca, Ciencia Pesquera*, 5:1-15.
- Osman, A.G., E.S.H. Akel, M. Farrag & M.A. Moustafa. 2011. Reproductive biology of round herring, *Etrumeus teres* (De kay, 1842), from the Egyptian Mediterranean water at Alexandria. *ISRN Zoology*, 1-12 p.
- Panfili, J., H.D. Pontual, H. Troadec, J.M. Casselman, E. Moksness, & P.J. Wright. 2002. Manual of fish sclerochronology, 463 p.
- Polacheck, T., R. Hilborn & A.E. Punt. 1993. Fitting surplus production models: comparing methods and measuring uncertainty. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 50(12):2597-2607.
- Punt, A.E., D. Hobday & R. Flint. 2006. Bayesian hierarchical modelling of maturity-at-length for rock lobsters, *Jasus edwardsii*, off Victoria, Australia. *Marine and Freshwater Research*, 57:503-511.
- Quiñonez-Velázquez, C., M.O. Nevarez-Martínez & M.G. Gluyas-Millán. 2000. Growth and hatching dates of juvenile Pacific sardine, *Sardinops caeruleus*, in the Gulf of California. *Fisheries Research*, 48(2):99-106.

- 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):1-8.
- Richards, L.J., J.T. Schnute & C.M. Hand. 1990. A multivariate maturity model with a comparative analysis of Three Lingcod *Ophiodon elongatus* stocks. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 47(5):948-959.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Department of the Environment, Fisheries and Marine Service. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, 191:382 p.
- Ruiz-Dominguez, M. 2015. Enfoque multimodelo en la descripción del crecimiento de la sardina crinuda *Opisthonema libertate* en la zona sur del Golfo de California. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, 70 p.
- Ruiz-Domínguez, M. & C. Quiñonez-Velázquez. 2018. Age, growth, and mortality of *Opisthonema libertate* on the coasts of northwestern Mexico. *Ciencias Marinas*, 44(4):235-250.
- Sanders, M.J., S.M. Kedidi & M.R. Hegazy. 1984. Stock assessment for the round herring, *Etrumeus teres*, caught by purse seine in the Gulf of Suez. UNDP/FAO.RAB/81/002/20. Cairo. 47 p.
- Schnute, J. 1981. A versatile growth model with statistically stable parameters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38(9):1128-1140.
- 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.
- Trippel, E.A. & H.H. Harvey. 1991. Comparison of methods used to estimate age and length of fishes at sexual maturity using populations of white sucker

Catostomus commersoni. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 48(8):1446-1459.

Whitehead, P.J.P. & Y.R. Rodríguez-Sánchez. 1995. Familia Clupeidae. p. 1015-1025. En: Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico Centro-Oriental. *FAO, Rome*, 3:1201-1813.

Wootton, R.J. 1990. *Ecology of fishes*. Chapman & Hall. London, 404 p.

Xu, G., W. Zheng & G. Huang. 1994. Atlas of the fishes and their biology in Daya Bay. Anhui Scientific and Technical Publishers, PROC, 311 p.

Yılmaz, R. & B. Hoşsucu. 2003. Some Biological Parameters of Round Herring, *Etrumeus teres* (De Kay, 1842), in the Gulf of Antalya (Mediterranean Sea). *Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 20(1-2):1-8.

Zar, J.H. 1996. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall, New Jersey, 944 p.

Zaytsev, O., R. Cervantes-Duarte, O. Montante & A. Gallegos-Garcia. 2003. Coastal upwelling activity on the Pacific shelf of the Baja California Peninsula. *Journal of oceanography*, 59(4):489-502.