



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**ENFOQUE MULTIMODELO EN LA DESCRIPCIÓN DEL CRECIMIENTO DE LA
SARDINA CRINUDA (*Opisthonema libertate*) EN LA ZONA SUR DEL GOLFO DE
CALIFORNIA**

TESIS

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

PRESENTA:
MARCELINO RUIZ DOMÍNGUEZ

LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR. JUNIO DE 2015



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 01 del mes de Junio del 2015 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

“ENFOQUE MULTIMODELO EN LA DESCRIPCIÓN DEL CRECIMIENTO DE LA SARDINA CRINUDA (*Opisthonema libertate*) EN LA ZONA SUR DEL GOLFO DE CALIFORNIA”

Presentada por el alumno:

RUIZ DOMÍNGUEZ MARCELINO
Apellido paterno materno nombre(s)
Con registro:

B	1	3	0	8	7	0
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

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

LA COMISION REVISORA

Directores de Tesis



DR. CASIMIRO QUIÑONEZ VELÁZQUEZ
Director de Tesis



DR. ROBERTO FÉLIX URAGA



MC. FELIPE NERI MELO BARRERA



DR. JORGE SAÚL RAMÍREZ PÉREZ
2º. Director de Tesis



DR. ROGELIO GONZÁLEZ ARMAS

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES



DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ



IPN
CICIMAR
DIRECCION



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 11 del mes Junio del año 2015
el (la) que suscribe BIÓL. PESQ. MARCELINO RUIZ DOMÍNGUEZ alumno(a) del
Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS
con número de registro B130870 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 DR. JORGE SAÚL RAMÍREZ PÉREZ
y cede los derechos del trabajo titulado:

"ENFOQUE MULTIMODELO EN LA DESCRIPCIÓN DEL CRECIMIENTO DE
LA SARDINA CRINUDA (*Opisthonema libertate*) EN LA ZONA SUR DEL GOLFO DE CALIFORNIA"

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

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: marcelinoruizdom@hotmail.com - cquinone@ipn.mx - jramirezp@uas.edu.mx
Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

BIÓL. PESQ. MARCELINO RUIZ DOMÍNGUEZ

nombre y firma

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Politécnico Nacional (IPN), Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR), Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), a la Beca de Estímulo Institucional de Formación de Investigadores (BEIFI), así como a la Universidad Autónoma de Sinaloa por darme la oportunidad y contribuir en el proceso de mi formación académica.

A mi director de tesis, el Dr. Casimiro Quiñonez Velázquez por todo el apoyo brindado a lo largo de mi estancia, sus acertados comentarios respecto al ejercicio de tesis y por la paciencia que tuvo al ayudarme a resolver todas las dudas que surgieron durante el desarrollo del trabajo.

A mi Codirector de tesis, el Dr. Jorge Saúl Ramírez Pérez por formar parte de la dirección de este trabajo y por sus consejos e indicaciones que permitieron desarrollar este trabajo.

A los miembros del comité: Dr. Roberto Félix Uruga, MC. Felipe Neri Melo Barrera, Dr. Rogelio González Armas y al Dr. Leonardo Andrés Abitia Cárdenas por los acertados comentario y sugerencias que enriquecieron el presente trabajo.

A mi familia por su constante apoyo, así como a los compañeros de CICIMAR con los cuales se generó una buena amistad.

INDICE

	Página
Lista de figuras	I
Lista de tablas	III
Glosario	IV
Resumen	VI
Abstract	VII
1.INTRODUCCIÓN	1
2.ANTECEDENTES	2
3.JUSTIFICACIÓN	6
4.OBJETIVO GENERAL	7
5.MATERIAL Y METODOS	8
– Zona de estudio	8
– Muestreo	9
– Identificación taxonómica	10
– Estructura de tallas	10
– Relación peso-talla	11
– Selección de la estructura dura más adecuada para determinar la edad	11
– Quemado de estructura	13
– Determinación de la edad	14
– Periodicidad de marcas de crecimiento	14
– Descripción del crecimiento individual (Enfoque multimodelo)	14
– Selección del mejor modelo (Criterio de Akaike)	15
6.RESULTADOS	
– Muestreo	18
– Identificación taxonómica	19
– Estructura de tallas	20
– Relación peso-talla	25
– Selección de la estructura dura adecuada para determinar la edad	25
– Precisión	26
– Repetibilidad	26
– Proporcionalidad	27
– Quemado de estructura	29
– Determinación de la edad	30
– Periodicidad en la formación de marcas de crecimiento	31
– Estimación de los parámetros de crecimiento	32
– Selección del modelo de crecimiento (Criterio de información de Akaike)	33
– Intervalos de confianza	34
7.DISCUSIÓN	
– Identificación taxonómica	36
– Estructura de tallas	37
– Relación peso-talla	38
– Selección de la estructura adecuada en la determinación de la edad	39
– Quemado de otolitos	41
– Periodicidad de marcas de crecimiento	42
– Determinación de la edad	43
– Crecimiento individual	44
8.CONCLUSIONES	48
9.BIBLIOGRAFIA	49

Lista de figuras

		Página
Figura 1	Costa del sur del Golfo de California. Se incluyen las cinco áreas administrativas de pesca de la flota sardinera que descarga en el puerto de Mazatlán, Sinaloa.	8
Figura 2	Estructura de tallas de la captura de la sardina crinuda <i>O. libertate</i> en la región sur del Golfo de California, durante 2011-2014.	20
Figura 3	Estructura de tallas (A) y cuartiles (B) para hembras y machos de la sardina crinuda <i>O. libertate</i> de la captura descargada en Mazatlán, Sinaloa, durante 2011-2014. Las curvas representan la función de densidad de una distribución normal.	21
Figura 4	Estructura de tallas (A) y cuartiles (B) de la sardina crinuda <i>O. libertate</i> durante el período cálido y período frío en la zona sur del Golfo de California, durante 2011-2014.	22
Figura 5	Ciclo anual de la temperatura superficial del mar (TSM) en la región sur del Golfo de California (A) y por zona de pesca (B), período 2011-2014.	23
Figura 6	Estructura de tallas de la sardina crinuda <i>O. libertate</i> por zona de pesca y periodo cálido y frío en la región sur del Golfo de California, durante 2011-2014.	24
Figura 7	Relación longitud-peso de la sardina crinuda <i>O. libertate</i> en la zona sur del Golfo de California, durante 2011-2014.	25

Figura 8	Estructuras duras de la sardina crinuda <i>O. libertate</i> en condiciones para lectura. Otolitos sumergidos en glicerina (izquierda), escama (medio) y <i>cleitrum</i> (derecha).	26
Figura 9	Dispersión entre lectores del número de marcas de crecimiento por estructura dura de la sardina crinuda <i>O. libertate</i> . Cada punto puede indicar más de un par de lecturas, las líneas son la bisectriz y señalan una correspondencia 1:1.	27
Figura 10	Diagrama de dispersión y línea de ajuste lineal entre el radio de las estructuras duras versus la longitud estándar y número de marcas de crecimiento de la sardina crinuda <i>O. libertate</i> .	28
Figura 11	Otolitos sumergidos en glicerina (izquierda) y otolitos quemados durante 15 minutos (derecha) de la sardina crinuda <i>O. libertate</i> . Los otolitos en glicerina se observaron con luz reflejada en un fondo negro y los otolitos quemados con luz transmitida.	30
Figura 12	Porcentaje mensual de otolitos con borde opaco (barra en negro) e hialino (barra en gris) de la sardina crinuda <i>O. libertate</i> .	31
Figura 13	Diagrama de dispersión de los datos talla-edad y curvas por cada modelo de crecimiento evaluado en la sardina crinuda <i>O. libertate</i> .	32
Figura 14	Perfiles de verosimilitud de los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy de la sardina crinuda <i>O. libertate</i> . La línea en negro es el negativo del logaritmo de la verosimilitud y la línea en rojo es la probabilidad Chi-cuadrada.	35

Lista de tablas

		Página
Tabla 1	Modelos de crecimiento individual evaluados mediante un enfoque multimodelo en la sardina crinuda <i>O. libertate</i> .	15
Tabla 2	Número de sardinas crinuda y de <i>O. libertate</i> recolectadas e identificadas por mes. Muestreos realizados en las descargas de la flota sardinera en Mazatlán, Sinaloa, durante 2011 a 2014.	19
Tabla 3	Coeficientes de determinación y probabilidad de las relaciones lineales de las estructuras duras <i>versus</i> la longitud estándar y número de marcas de crecimiento de la sardina crinuda <i>O. libertate</i> .	29
Tabla 4	Frecuencia absoluta y relativa del número de marcas de crecimiento en los otolitos de la sardina crinuda <i>O. libertate</i> .	30
Tabla 5	Parámetros de crecimiento por modelo ajustado a los datos talla-edad de la sardina crinuda <i>O. libertate</i> en la zona sur del Golfo de California.	32
Tabla 6	Valores de AIC, diferencias de Akaike y W_i por modelo en la descripción del crecimiento de la sardina crinuda <i>Opisthonema libertate</i> .	34

Glosario

Banda hialina. Banda concéntrica depositada en estructuras duras, asociada a períodos de crecimiento lento e integrada principalmente por una porción de materia orgánica en forma de proteína (Otolina). También llamada banda traslúcida.

Banda opaca. Banda concéntrica depositada en estructuras duras, asociada a períodos de crecimiento rápido e integrada principalmente por una porción de materia inorgánica (Carbonato de calcio). También llamada banda opaca.

Cleitrum. Hueso principal de la cintura escapular, que se extiende hacia arriba desde la base de la aleta pectoral, formando el margen posterior de la cavidad branquial.

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

Crecimiento isométrico. Aumento del tamaño de diferentes partes de un organismo a la misma velocidad, mantienen sus proporciones relativas durante el crecimiento.

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 en referencia a los datos observados.

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.

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.

Radio total. Distancia desde el núcleo de una estructura dura hasta la zona distal en el borde de esta.

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

La flota sardinera que pesca frente a las costas de Sinaloa, Nayarit, y norte de Jalisco captura tres especies del género *Opisthonema* (*O. libertate*, *O. medirastre* y *O. bulleri*), las cuales se reportan genéricamente como sardina crinuda, y de las cuales no existe información precisa sobre sus parámetros de crecimiento. Estudios anteriores reportan empíricamente que *O. libertate* es la especie más abundante y constante en las capturas a lo largo del año. En el presente trabajo se evaluaron tres estructuras duras para determinar la edad y se describió el crecimiento individual de *O. libertate* utilizando un enfoque multimodelo. Se muestrearon 1,607 sardineras de las capturas descargadas en el puerto de Mazatlán, Sinaloa, durante 2011-2014, de las cuales se identificaron 898 ejemplares como *O. libertate* (61%) 415 como *O. medirastre* (28%) y 154 de *O. bulleri* (11%). A las sardineras crinuda identificadas como *O. libertate*, se les realizaron biometrías, identificación sexual y extracción de estructuras duras (escamas, *cleitrum* y otolitos). Se analizaron, los cambios en la estructura de tallas, la relación peso-talla, se seleccionó la estructura dura más adecuada para la estimación de la edad, se determinó la edad, se describió el crecimiento individual utilizando un enfoque multi-modelo (von Bertalanffy, Gompertz, Logístico, Richards y Schnute), y el mejor modelo fue seleccionado aplicando el criterio de información de Akaike. No se detectaron diferencias significativas en la relación longitud-peso entre sexos (ANCOVA, $p > 0.05$) y se identificó un crecimiento isométrico para hembras y machos. De acuerdo al análisis de precisión (APE, CV) y simetría (coeficiente de Lin), las tres estructuras duras son aptas para estimar la edad, sin embargo, los otolitos se ubicaron en el tope jerárquico, resultando la estructura más adecuada. Con el fin de hacer más evidentes las marcas de crecimiento en la superficie de los otolitos, estos se quemaron durante 15 minutos. Los cinco modelos de crecimiento se ajustaron adecuadamente a los datos de talla-edad, y los parámetros de crecimiento se estimaron utilizando máxima verosimilitud. De acuerdo a los valores de Akaike el modelo de von Bertalanffy describió mejor el crecimiento individual ($L_{\infty} = 20.3$, $k = 0.48$, $t_0 = -1.9$). Sin embargo, en todos los casos las diferencias de Akaike fueron < 2 , esto sugiere que los cinco modelos son estadísticamente robustos para describir el crecimiento de *O. libertate*.

Palabras clave: Enfoque multimodelo, *O. libertate*, estructura de edades, otolitos, escamas, *cleitrum*, crecimiento individual.

Abstract

In the southern Gulf of California, the sardine fleet which performs fishing operations off the coast of Sinaloa, Nayarit, and north of Jalisco, lands at the port of Mazatlán, Sinaloa, capture three species of the genus *Opisthonema* (*O. libertate*, *medirastre* *O.* and *O. bulleri*) which are generally reported as thread herring, this resource has a lack of information about individual growth parameters. Previous studies report that *O. libertate* is the most abundant and consistent specie in the catches throughout the year. The aim of this thesis was to evaluate three hard structures by age determination and estimate the individual growth parameters of *O. libertate* using a multi-model approach. The total sample analyzed was 1,607 sardines from the catches in the southern Gulf of California during 2011-2014. The fishery is multi-specific, then first the taxonomic identification was made, resulting 898 thread herring sardines *O. libertate* (61%), 415 *O. medirastre* (28%) and 154 *O. bulleri* (11%). Biometrics, sexual identification and removal of hard structures (scales, cleithrum and otoliths) were performed to the organism identified as *O. libertate*. Changes in the size structure and length-weight relationship were analyzed, the most suitable hard structure by age determination was selected, the age was determined and individual growth was described using a multi-model approach (von Bertalanffy , Gompertz, Logistic, Richards and Schnute); the best model was selected using the Akaike Information Criterion. Significant differences were not detected in length-weight relationship between sexes (ANCOVA, $p > 0.05$) and an isometric growth was identified. According to the precision index (APE, CV) and symmetry (Lin coefficient), the three hard structures are adequate by age determination, however, the otoliths were located in the hierarchical top being the most suitable structure. In order to make more evident the growth marks on the surface of the otoliths, they were burned during 15 minutes. The five growth models adjusted well the age-length data and growth parameters were estimated using maximum likelihood. According the Akaike values, von Bertalanffy model best described the individual growth ($L_{\infty} = 20.3$, $k = 0.48$, $t_0 = -1.9$). However, in all cases Akaike differences were < 2 , this suggests that all five models are statistically robust to describe the growth of thread herring *O. libertate*.

Keywords: Multi-model approach, *O. libertate* , age structure , hard structures , individual growth.

1. INTRODUCCION

La pesquería de pelágicos menores, en volumen es la más importante del país, representa más del 40% de la captura nacional (SAGARPA, 2012). Esta pesquería, se desarrolla en las costas del noroeste de México y la captura se descarga en Ensenada, B. C., Bahía Magdalena, B. C. S., Mazatlán, Sin., Yavaros y Guaymas, Son., siendo el Golfo de California donde se registran las mayores capturas. La pesquería es multi-específica, integrada principalmente por ocho especies: sardinas (cinco especies), anchovetas (dos especies) y la macarela. La sardina del Pacífico, *Sardinops caeruleus*, domina en las capturas y es la especie objetivo, excepto en la costa sur del Golfo de California donde la pesca se dirige a la sardina crinuda (*Ophisthonema* spp.) y a la anchoveta bocona (*Cetengraulis mysticetus*).

Los estudios biológico-pesquero de este complejo de especies, se han centrado principalmente en la sardina del Pacífico (Nevárez-Martínez, 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 de la pesca en su dinámica.

Además, se debe de considerar la variabilidad ambiental que influye fuertemente en la dinámica de los peces pelágicos menores (Schwartzlose *et al.*, 1999; Chávez *et al.*, 2003; Zwolinski & Demer, 2012), por lo que las poblaciones presentan grandes cambios interanuales, que se reflejan en variaciones en abundancia y disponibilidad del recurso a la flota pesquera (Schwartzlose *et al.*, 1999).

En el Golfo de California (al norte de Sinaloa), de 1990 a 2012, la captura de pelágicos menores promedió 280,000 t anuales. De esta captura el 58% correspondió a *Sardinops sagax*, 18% al género *Opisthonema*, 13% a *Cetengraulis mysticetus*, y el resto a otras especies. Mientras que en la zona sur del Golfo de California (Sinaloa, Nayarit y norte de Jalisco), para el mismo periodo la sardina crinuda represento 70% y la mayor captura registrada de sardina crinuda alcanzo 99,650 t. en 2009 (Memorias de Reuniones Anuales del Comité Técnico de Pelágicos Menores 2010).

Para el análisis de la dinámica y evaluación de la población, y el manejo de la pesquería, 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; Cruz-Vázquez *et al.*, 2012).

Es común que la descripción del crecimiento de los peces se aborde utilizando el modelo de crecimiento de von Bertalanffy, que es la ecuación más utilizada en la literatura sobre este tema. Sin embargo, recientemente se ha utilizado la teoría de la información (criterio de Akaike) en un enfoque multimodelo (Katsanevakis, 2006; Cruz-Vázquez *et al.*, 2012). El cual es un estimador basado en el principio de simplicidad, donde a partir de una serie de modelos evaluados selecciona al más simple, estableciendo un equilibrio entre la complejidad del modelo y la bondad de ajuste Aragón-Noriega (2013). Con esto se busca evaluar la plausibilidad biológica y estadística de varios modelos en la descripción del crecimiento de especies explotadas. Proponiendo alternativas más sólidas, basadas en un juicio robusto en la selección del modelo(s) (Beninger *et al.*, 2012).

2. ANTECEDENTES

En la costa oriental del Océano Pacífico, el género *Opisthonema* (Gill, 1861) integra a tres especies: *O. libertate* (Günther, 1867), *O. medirastre* (Berry & Barrett, 1963) y *O. bulleri* (Regan, 1904), que se distribuyen desde la parte media de la costa occidental de Baja California, incluyendo el Golfo de California, hasta Ecuador (Whitehead & Rodríguez-Sánchez, 1995). *O. bulleri* tiene como límite norte de su distribución, Mazatlán, Sinaloa (Berry & Barrett, 1963). Los criterios taxonómicos para el reconocimiento de las especies de la sardina crinuda fueron establecidos por Berry & Barrett (1963), y son la combinación de talla, zona de pesca, y número de branquiespinas en el hueso ceratobranquial del primer arco branquial. Los autores señalan que el número de branquiespinas incrementa con la talla hasta aproximadamente los 12 cm de longitud estándar, y de acuerdo a la ubicación

geográfica, el número de branquiespinas decrece de Norte a Sur. En el Pacífico mexicano, el número de branquiespinas ceratobranquiales para *O. libertate* varía de 71 a 110; en *O. medirastre* de 50 a 69; y en *O. bulleri* entre 26 y 36. Hedgecock *et al.*, (1988) usando una combinación de estudios electroforéticos, morfológicos, y análisis estadísticos multivariados con organismos provenientes de la región noroeste de México, verificaron la precisión diagnóstica del número de branquiespinas y confirmaron la validez taxonómica de las tres especies de *Opisthonema*. Recientemente, Pérez-Quíñonez (2014) utilizando marcadores genéticos (COI y ADN mitocondrial) y morfometría geométrica confirman diferencias genéticas y morfológicas entre las tres especies del género *Opisthonema*.

En México, desde 1963 la sardina crinuda se explota en Bahía Magdalena, B. C. S., poco después la pesquería se extendió al Golfo de California, teniendo reportes desde 1968 para la costa de Sonora y desde 1972 para las costas de Sinaloa. Evidencia empírica sugieren que el recurso crinuda es dominado por *O. libertate*, y que la importancia de las otras especies de este género en la captura es reducida. Los registros de arribo oficiales no permiten corroborar lo anterior, ya que en los desembarques no se discrimina entre especies y se registra bajo el nombre de crinuda.

No obstante la importancia pesquera de la sardina crinuda (*Opisthonema* spp.), a la fecha son pocos los estudios realizados en México. García-Gómez & Molina (1986) estiman los parámetros de crecimiento sin discriminar especie y usan las escamas para determinar la edad, las muestras se obtuvieron de la captura comercial en Guaymas, Sonora, durante 1976-1978 y 1985-1986. Identificaron 7 grupos de edad (0-6), además, comentan sobre la posibilidad de que exista más de un desove anual para este género, lo cual es producto de utilizar ejemplares de las 3 especies del complejo *Opisthonema*. Gallardo-Cabello *et al.*, (1993) se refiere a *O. libertate* en la descripción del crecimiento individual, sin embargo en el trabajo no se indica la identificación de las especies del género *Opisthonema*, trabajo en el que se detectaron 7 grupos de edad (1-7). Para la costa occidental de Baja California, en Bahía Magdalena, Carmona y Alexandres (1994) utilizan por primera vez los otolitos para la determinación de la edad y describen el

crecimiento de *O. libertate*, con datos de 1982-1988, donde se obtuvieron 5 grupos de edad (0-4).

Rodríguez-Domínguez (1987) analizó información biológica y ecológica para las tres especies de crinuda en la costa de Sinaloa, durante las temporadas de pesca 1984-1985 y 1985-1986. Comenta que las especies presentan diferencias espaciales y temporales: *O. medirastre* y *O. bulleri* se capturan principalmente en la parte sur de la zona de pesca a inicio y fin de la temporada, respectivamente; *O. libertate*, se captura en toda la zona de pesca y durante toda la temporada, y es la especie más abundante. También detectó diferencias en las temporadas de desove: *O. medirastre* desova en invierno y las otras dos especies desovan en verano, esto con base en la maduración gonádica; y respecto a la alimentación, que *O. libertate* consume principalmente fitoplancton y las otras dos especies zooplancton.

Rodríguez-Sánchez (1989) y Torres-Ramírez (2004) aportan evidencia útil en la separación taxonómica de las especies de *Opisthonema*, la densidad de branquiespinas y la presencia de espículas, respectivamente.

Ruiz & Lyle (1992) analizan las variaciones de la captura y la CPUE de la sardina crinuda desembarcada en Mazatlán, Sin., durante 1972-1990. Aplican métodos de regresión a la periodicidad de las fluctuaciones de ambas variables. El mayor error residual en los modelos se obtuvo en años que sucedieron a eventos El Niño, pronosticando un descenso en las capturas del recurso. La captura durante 1991-1994 presentó un considerable descenso respecto a temporadas previas y coincidió con “El Niño” 1991-1992.

Jacob-Cervantes (2010) presentó la estructura de tallas y estadios de madurez gonadal de *Opisthonema* spp descargada en Mazatlán, Sin., durante 2008. El intervalo de tallas varió entre 118 y 200 mm de longitud estándar (LE), y mostraron actividad reproductiva durante todo el año.

Vallarta-Zarate (2012) analiza la distribución y abundancia de *Opisthonema* spp, en cinco zonas administrativas-pesqueras en el sur del Golfo de California, con relación a

los cambios en el ambiente durante 1997-2010. Utilizando la CPUE y como variables predictivas la temperatura superficial del mar (TSM), el índice de surgencia (IS) y el índice de turbulencia (IT). Identifico la mayor abundancia de sardina en las zonas centrales (III y IV), reportando una relación entre la estabilidad de las condiciones ambientales y el aumento de la abundancia de sardina crinuda, así como una relación entre la presencia del fenómeno El niño y la disminución de la abundancia de la sardina crinuda.

Se ha demostrado que los parámetros poblacionales de una especie cambian en función del tiempo, del ambiente y de los efectos de la pesca. Estos cambios se reflejan en la reducción del número de modas en la estructura de tallas, reduciendo el número de individuos de mayor tamaño. También, la talla de primera madurez varía como estrategia reproductiva para alcanzar un nuevo punto de equilibrio biológico (Gulland, 1971; Csirke, 1980; García-Alberto, 2010). De esta manera, la población biológica cambia en tamaño, estructura y composición.

La identificación de las causas exógenas que afectan a una población, como por ejemplo, la mortalidad por pesca, que es la principal causa en la reducción de poblaciones de peces después de las causas naturales, se puede evaluar y controlar (Sparre & Venema, 1995).

Asociado a los cambios en abundancia de las poblaciones de peces y su impacto en los parámetros del crecimiento individual, Burnham & Anderson (2002) presentan un enfoque teórico-práctico de los métodos utilizados en la inferencia multimodelo al aplicar diferentes modelos a una serie de datos y calculando la plausibilidad de cada uno de estos modelos; utilizan como prueba de hipótesis no ambigua para la selección de modelos matemáticos el criterio de información (Akaike, 1974), el cual está basado en estimaciones de máxima verosimilitud y el número de parámetros de los modelos evaluados, pues sería limitativo basar la descripción del crecimiento en un solo modelo (Cailliet *et al.*, 2006), por lo que es necesario evaluar diferentes modelo de crecimiento (Katsanevakis & Maravelias, 2008).

Lo anterior, pone de manifiesto la importancia de utilizar distintos acercamientos en la obtención de información precisa que nos permita evaluar los efectos de la pesca en los cambios en la estructura y abundancia de la población. Esto debido a que para este recurso, la información existente sobre parámetros poblacionales presenta limitaciones e incongruencias metodológicas, lo que se ha reflejado en resultados incomparables y con cierto grado de incertidumbre. Por lo tanto, es necesario analizar las limitaciones de trabajos anteriores y utilizar diferentes enfoques para generar así, estimaciones precisas de los parámetros de crecimiento que nos permitan analizar el estado de la población.

3. JUSTIFICACIÓN

La sardina crinuda *O. libertate* forma parte de una de las pesquerías más importantes en la zona sur del Golfo de California. Sin embargo, no existe información precisa sobre sus parámetros de crecimiento, pues la escasa información existente corresponde a la zona norte del Golfo de California y costa occidental de la península de Baja California.

Es necesario obtener información precisa sobre los parámetros de crecimiento de la especie para esta zona en particular, debido a que los rendimientos de la pesquería se han incrementado significativamente en los últimos años y se ha visto que las características poblacionales de una especie varían entre zonas.

Además, es necesario utilizar diferentes acercamientos a la obtención de información precisa sobre los parámetros poblacionales de la especie, como lo es un enfoque multimodelo para la descripción del crecimiento, pues las estimaciones presentaran menor incertidumbre y a diferencia de utilizar información poco precisa reduce la posibilidad de sobre-estimación o sub-estimación de la biomasa del recurso.

Con base en lo anterior, se plantea utilizar un enfoque multimodelo en la descripción del crecimiento de *O. libertate* en la zona sur del Golfo de California. Donde la información generada aporte elementos para una mejor evaluación del recurso.

4. OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es determinar la edad y describir el crecimiento de la sardina crinuda *O. libertate* en la zona sur del Golfo de California.

Objetivos específicos

- Analizar los cambios estacionales en la estructura de tallas y pesos de la sardina crinuda *O. libertate*.
- Estimar la relación longitud-peso de la sardina crinuda *O. libertate*.
- Selección de la estructura dura más adecuada para determinar la edad de la sardina crinuda *O. libertate*.
- Identificar el modelo más adecuado en la descripción del crecimiento de la sardina crinuda *O. libertate* utilizando un enfoque multimodelo.

5. MATERIAL Y METODOS

Zona de estudio

El área de pesca de la flota de pelágicos menores que desembarca su captura en Mazatlán, Sin., se encuentra delimitada entre las latitudes 20 a 26° N, y las longitudes 105 a 110° W y un máximo de 20 millas náuticas frente a los litorales de los estados de Sinaloa, Nayarit y al norte de Jalisco (Fig. 1).

La zona de estudio se ubica en la porción sur del Golfo de California. Esta región está en comunicación abierta con el Océano Pacífico a través de la boca del golfo de aproximadamente 200 km de ancho y de cuencas cuya profundidad excede a los 3,600 m. Su estructura hidrográfica es complicada debido a la confluencia de distintas masas de agua: la contracorriente Norecuatorial, la corriente de California y la corriente del Golfo de California.

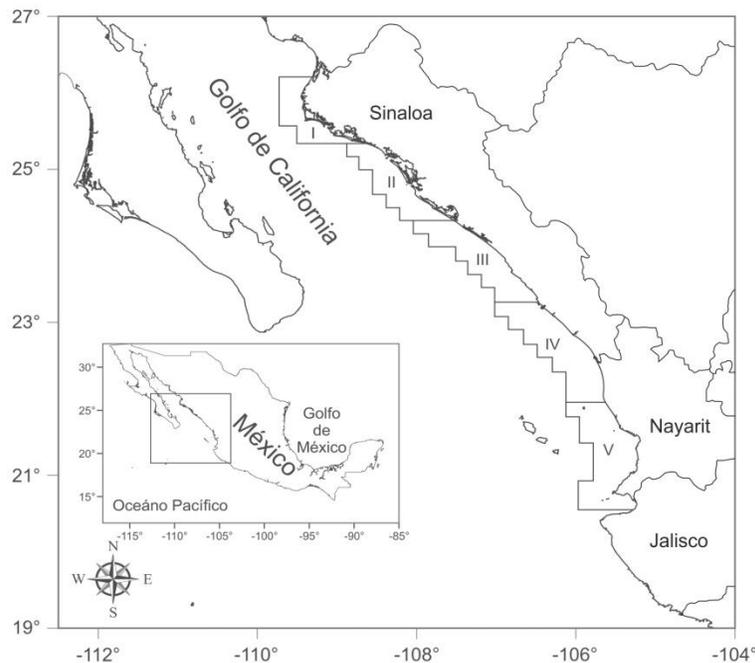


Figura 1. Costa del sur del Golfo de California. Se incluyen las cinco áreas administrativas de pesca de la flota sardinera que descarga en el puerto de Mazatlán, Sinaloa.

La zona de transición es una banda ancha centrada aproximadamente a 200-300 km paralela a la costa, presenta desplazamientos latitudinales y coincide con el núcleo de flujo de la corriente de California. Durante el período invernal, cuando la Corriente de California es más intensa, se localiza más hacia el sur, mientras que en el verano cuando la contracorriente Norecuatorial es más intensa, se mueve hacia el norte (Aguirre-Gómez, 2002). La región tiene una estructura termohalina de remolinos, frentes e intrusiones originadas por la concurrencia de estas corrientes marinas (Álvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991).

La zona sur del Golfo de California se ve influenciada por las surgencias que genera la acción del viento en la capa superficial del agua, donde el análisis del índice de surgencia ha permitido identificar las máximas durante el invierno y la primavera, esto provoca que el agua desplazada que va costa-afuera es reemplazada por el movimiento vertical de agua proveniente de profundidades desde 50 a 100 m o más. Estas aguas son más frías y poseen mayor salinidad que la capa original y típicamente presentan altas concentraciones de nutrientes tales como nitratos, fosfatos y silicatos, que son pieza clave de la producción primaria. Lo que genera que durante la temporada de pesca de sardina, se obtengan los más altos valores de abundancia precisamente en estas estaciones del año. (Vallarta-Zarate, 2010).

Muestreo

Los ejemplares de sardina crinuda (*Opisthonema* spp.) se recolectaron mensualmente en el puerto de Mazatlán, Sin. Las muestras se obtuvieron de las descargas comerciales de la pesquería de pelágicos menores en la planta Maz-Industrial.

Desde septiembre de 2011 a enero de 2014, cuando fue posible, un mínimo de 30 ejemplares fueron seleccionados al azar de la captura comercial. Se midió la longitud estándar (LE), furcal (LF) y total (LT) a una precisión ± 1 mm. Se registró el peso total (PT ± 1 g) y se asignó el sexo por apreciación visual de las gónadas de acuerdo a la escala morfocromática propuesta por Holden & Raitt (1975). Para estimar la edad, se recolectaron escamas por arriba de la aleta pectoral, el *cleitrum* y los otolitos *sagitta*.

Las escamas fueron lavadas utilizando jabón libre de fosfatos y enjuagadas con agua corriente. Los otolitos fueron sumergidos por 24 h en jabón libre de fosfatos y enjuagados con agua corriente y se retiró cualquier resto de tejido. Para limpiar el *cleitrum*, este se sumergió en agua caliente y con ayuda de un cepillo de cerdas duras se retiró cualquier resto de tejido. Estas estructuras fueron almacenadas en seco hasta su análisis.

Identificación taxonómica

Para la identificación de las especies de la sardina crinuda *Ophistonema* spp., se extrajo el primer arco branquial, se limpió en agua corriente, fue secado a temperatura ambiente durante 24 h y se digitalizó utilizando luz reflejada sobre un fondo oscuro. La identificación taxonómica se realizó contando el número de branquiespinas en el hueso ceratobranquial utilizando las claves propuestas por Berry & Barret (1963). Los ejemplares con un número mayor a 69 branquiespinas fueron revisadas utilizando los criterios de Torres-Ramírez (2004), estos criterios están basados en rasgos de las branquiespinas como la inclinación de la base de la branquiespina en el punto de inserción en el hueso ceratobranquial, presencia-ausencia de espículas en las branquiespinas y coloración del hueso ceratobranquial.

Estructura de tallas

La estructura de tallas de la sardina crinuda *O. libertate* se analizó por período (cálido y templado) y zonas de pesca (I, II, III, IV y V). Se obtuvieron histogramas generados por la función de densidad obtenidas de agrupar tallas en intervalos de 5 mm LE, por zona de pesca y período cálido (mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre) y templado (diciembre, enero, febrero, marzo y abril). Para definir los períodos, cálido y templado, se utilizó el promedio mensual de la temperatura superficial del mar (TSM) durante el período de 2011 a 2014 (<http://coastwatch.pfel.noaa.gov/erddap>). Se consideró la TSM de 26°C como referencia para agrupar los meses en los períodos. Las diferencias en la TSM por período fueron significativas (ANOVA, $F=113.165$, $p<0.05$). Para evaluar las diferencias en las estructuras de tallas entre sexos, períodos y

zonas de pesca se utilizó la prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov (KS) utilizando el software STATISTICA 6.0.

Relación peso-talla

Para describir la relación entre el peso y la talla de la sardina crinuda *O. libertate*, se utilizó una ecuación potencial (Sparre & Venema, 1995):

$$PT = a * LE^b$$

Donde PT es el peso total, LE la longitud estándar. La ecuación se ajustó a los datos combinados y por sexo. Para la estimación de los coeficientes *a* y *b* se aplicó una transformación logarítmica a los datos de LE y PT para linealizar la ecuación y posteriormente se realizó una regresión lineal por mínimos cuadrados.

Se aplicó una prueba *t* a la pendiente de la relación LE-PT respecto de 3 (crecimiento isométrico) para determinar el tipo de crecimiento de la sardina crinuda *O. libertate*. El valor de *t* se obtuvo a partir de la formula (Walpole, 1982):

$$t = (\beta_1 - \beta_2) / S_b$$

Donde *t* es el estadístico *t* de *Student*; β_1 es el valor estimado de la pendiente; β_2 el valor de 3 (crecimiento isométrico); y S_b el error típico del estimado.

Selección de la estructura dura más adecuada para determinar la edad

Del total de ejemplares de sardina crinuda *O. libertate* recolectados. Se seleccionó una submuestra de 30 ejemplares representando a todo el intervalo de tallas de la muestra total.

Las estructuras duras de las sardinias seleccionadas fueron preparadas para registrarse digitalmente usando un sistema digitalizador (una cámara de video empotrada en un estereoscopio Olympus SZX-TR30 conectado a un monitor y a una computadora) y luz reflejada sobre fondo negro. Las escamas fueron hidratadas con agua destilada y alcohol, montadas entre 2 portaobjetos y observadas utilizando un ocular 8X, los otolitos fueron sumergidos en glicerina observando la cara distal mediante un ocular

12.5X y finalmente los cleitra se observaron en seco utilizando un ocular 10X. Posteriormente, Se utilizó el programa SigmaScan Pro para medir el radio de cada estructura sobre las imágenes digitales y evaluar la relación entre el aumento en talla y edad de los organismos en relación al aumento del radio de las estructuras.

Se establecieron los criterios de lectura de las marcas de crecimiento entre lectores (1 y 2). Cada marca se definió por una banda opaca y una banda hialina, las cuales lucen claras y oscuras respectivamente al ser observadas bajo luz reflejada. Se consideró una marca de crecimiento completamente depositada hasta que aparece el inicio de la siguiente banda opaca. La determinación de la edad se realizó contando bandas hialinas por 2 lectores de manera independiente (siendo el lector 1 el de mayor experiencia). Una vez obtenidas las lecturas de marcas de crecimiento por ambos lectores, se evaluó la precisión por estructura dura, utilizando los siguientes índices: Porcentaje Promedio de Error (APE) propuesto por Beamish & Fournier (1981):

$$APE_j = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left[\frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij} - X_j)}{X_j} \right] * 100$$

Donde N es el número de organismos a los que se les determino la edad, R es el número de lecturas por estructura, X_{ij} es la i -ésima lectura de la j -ésima estructura, X_j es el promedio del número de marcas de crecimiento para la j -ésima estructura.

Coeficiente de Variación (Chang 1982):

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

Las variables son las mismas que en el caso anterior.

En ambos casos, valores inferiores a 10% se consideran adecuados (Morison *et al.*, 1998).

Además, se utilizó el Coeficiente de Correlación de Concordancia de Lin para determinar la simetría entre las lecturas realizadas (McBride, 2005).

$$p_c = \frac{2S_{xy}}{S_x^2 + S_y^2 + (\bar{x} - \bar{y})^2}$$

Donde \bar{X} y \bar{Y} son las lecturas por lector, S_x^2 y S_y^2 la varianza y S_{xy} la covarianza.

Si el valor obtenido es > 0.99 la concordancia es casi perfecta, es sustancial si el valor > 0.95 , moderada > 0.90 y pobre < 0.90 .

Se evaluaron las relaciones del radio de cada estructura con la talla del pez y el número de marcas de crecimiento usando un análisis de regresión lineal, esto con la finalidad de identificar que estructura presenta una mejor relación entre el aumento en tamaño y el aumento de la talla de los organismos y número de marcas de crecimiento, para fortalecer la identificación de la estructura que mejor describe el crecimiento. Los valores de coeficiente de determinación (R^2) de las regresiones lineales por cada estructura se utilizaron como criterio de precisión entre las estructuras evaluadas. Además, cuando los valores de R^2 fueron similares entre estructuras duras, se realizó un análisis de covarianza (ANCOVA) para evaluar las diferencias entre los resultados obtenidos.

Quemado de estructuras

En caso de que la estructura seleccionada como la más adecuada pueda ser sometida a un proceso de quemado, se implementara la metodología propuesta por Cabrera-Neri (2003), donde se utilizara un micro-ondas convencional a la máxima potencia, evaluando diferentes tiempos de quemado (Incrementos de 5 mm).

Determinación de la edad

Para la determinación de la edad, se obtuvieron 222 otolitos de sardina crinuda *O. libertate*. El criterio de selección fue por intervalo de talla, se seleccionaron 10 otolitos por cada 5 mm LE. La lectura de marcas de crecimiento se realizó por 2 lectores de manera independiente manteniendo los criterios previamente establecidos en el análisis de la selección de la estructura dura adecuada para determinar la edad.

Periodicidad de marcas de crecimiento

Para asignar una unidad de tiempo a las marcas observadas, se estimó la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento, a través del análisis mensual del tipo de borde (opaco-hialino) de los otolitos, utilizando todos los grupos de edad identificados. Los valores máximos de bordes hialinos indican la formación de una marca de crecimiento.

Descripción del crecimiento individual (enfoque multimodelo)

Para describir el crecimiento individual de la sardina crinuda *O. libertate*, se evaluaron cinco modelos: von Bertalanffy, Gompertz, Logístico, Richards y Schnute (tipo 1). La característica general entre ellos es que tienden a un valor asintótico de longitud en función a la edad.

Tabla 1. Modelos de crecimiento individual evaluados mediante un enfoque multimodelo en la sardina crinuda *O. libertate*.

Modelo	Ecuación	Incógnitas
von Bertalanffy	$LE_t = LE_\infty(1 - e^{-k_1(t-t_1)})$	LE_t = talla a la edad t LE_∞ = talla asintótica k_1 = coeficiente de crecimiento anual t_1 = edad a la longitud 0 (t_0)
Gompertz	$LE_t = LE_\infty e(-e^{-k_2(t-t_2)})$	t = edad en años k_2 = tasa instantánea 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. t_1 = edad menor de los datos t_2 = edad mayor de los datos, a es la tasa relativa de crecimiento
Schnute	$LE_t = (y_1^b + (y_2^b - y_1^b) + \frac{1 - e(-a(t-t_1))}{1 - e(-a(t_2-t_1))})$	b = incremento relativo en la tasa de crecimiento (incremento constante en tiempo) y_1 = talla a la edad t_1 y_2 = talla a la edad t_2

En el caso del modelo de crecimiento de Schnute (Tipo 1), una vez calculado los parámetros de este modelo, estos se utilizarán para calcular LE_∞ y t_0 con las siguientes ecuaciones (Schnute, 1981):

$$LE_\infty = \left[\frac{e^{at_2}y_2^b - e^{at_1}y_1^b}{e^{at_2} - e^{at_1}} \right]^{\frac{1}{b}}$$

$$t_0 = t_1 + t_2 - \frac{1}{a} \ln \left[\frac{e^{at_2}y_2^b - e^{at_1}y_1^b}{y_2^b - y_1^b} \right]$$

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

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

Donde LE_o y LE_e son las longitudes estándar observadas y esperadas, donde la longitud estándar esperada es obtenida de cada modelo evaluado., y σ^2 es la varianza.

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

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

dónde: $L\left(\frac{y}{p_{est}}\right)$ 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. $\chi_{1, 1-a}^2$ es el valor de la distribución χ^2 a un nivel de confianza $1 - a$ ($a = 0.05$) y grados de libertad ($df = 1$).

Selección del mejor modelo (criterio de Akaike)

Con el fin de seleccionar el mejor modelo (el mejor ajuste) para describir el crecimiento de la sardina crinuda *O. libertate* se utilizó el criterio de información de Akaike (AIC):

$$AIC=2LL+2k$$

Donde 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}) será el más adecuado entre los evaluados. Se estimaran las diferencias de AIC_i ($\Delta_i=AIC_i-AIC_{min}$) para todos los modelos. Modelos con $\Delta_i>10$ no tendrán un soporte estadístico y serán descartados; los

modelos con $\Delta_i < 2$ tendrán un fuerte soporte estadístico; y los modelos con $4 < \Delta_i < 7$ tendrán un menor soporte estadístico (Burnham & Anderson, 2002).

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

$$w_i = \frac{\exp(-0.5\Delta_i)}{\sum_{k=1}^5 \exp(-0.5\Delta_k)}$$

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

De acuerdo al enfoque multimodelo se calculara el valor promedio de la longitud asintótica ($\overline{L_\alpha}$). La $\overline{L_\alpha}$ será un estimado ponderado usando los estimados de los modelos multiplicados por $w_i^* = w_i (w_1 + w_2 + w_3)^{-1}$ (Katsanevakis, 2006):

$$\overline{L_\alpha} = \sum_{i=1}^3 w_i^* \widehat{L_{\alpha,i}}$$

6. RESULTADOS

Muestreo

Como resultado del muestreo en las descargas de la flota sardinera con sede en Mazatlán, Sin., entre septiembre de 2011 y enero de 2014, se recolectaron un total de 1,606 sardinas del género *Opisthonema* (Tabla2). Después de la identificación taxonómica, 898 sardinas fueron *O. libertate*, a las cuales se les registro la longitud estándar (LE), furcal (LF), y total (LT) y el peso total (PT), a 797 se les determino el sexo (383 hembras y 414 machos) y se extrajeron las estructuras duras (escamas, *cleitrum* y otolitos) de 472 sardinas.

Tabla 2. Número de sardinas crinuda y de *O. libertate* recolectadas e identificadas por mes. Muestréos realizados en las descargas de la flota sardinera en Mazatlán, Sinaloa, durante 2011 a 2014.

Mes	Sardinas recolectadas	<i>O. libertate</i>
Sep-11	80	79
Nov-11	92	92
Dic-11	99	99
Ene-12	51	
Jun-12	22	19
Jul-12	278	74
Ago-12	259	54
Sep-12	30	3
Dic-12	40	
Ene-13	143	118
Feb-13	4	4
Mar-13	139	58
Abr-13	32	2
May-13	100	90
Jun-13	42	42
Jul-13	20	20
Ago-13	20	20
Sep-13	80	80
Dic-13	55	31
Ene-14	20	13
Total	1467	898

Identificación taxonómica

De acuerdo a los criterios de identificación taxonómica de Berry & Barret (1963) y de Torres-Ramírez (2004), del total de sardinas crinuda recolectadas, solo fue posible identificar hasta especie a 1,041 ejemplares, de los cuales 154 (11%) corresponden a *O. bulleri*, 415 (28%) a *O. medirastre* y 898 (61%) a *O. libertate*.

Estructura de tallas

Durante el período de estudio, la talla de la sardina crinuda *O. libertate* varió entre 11 y 21 cm de LE (Fig. 3). El promedio de la talla fue 15.6 cm y 1.5 cm de desviación estándar.

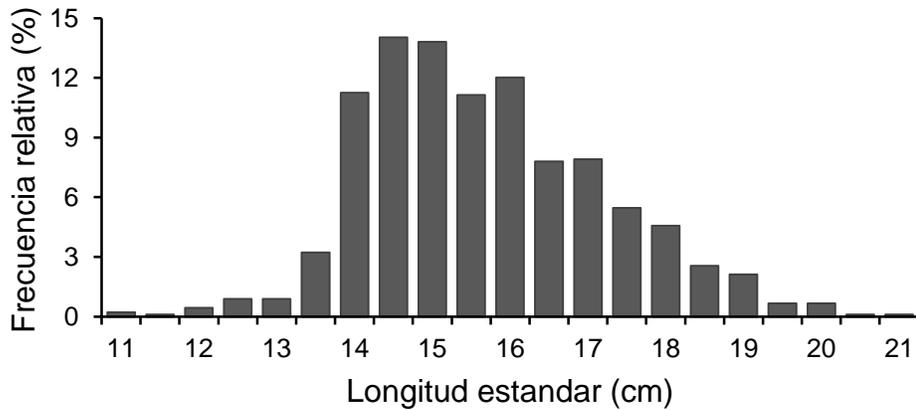


Figura 2. Estructura de tallas de la captura de la sardina crinuda *O. libertate* en la región sur del Golfo de California, durante 2011-2014.

La distribución de frecuencia de tallas entre sexos fue analizada utilizando una prueba KS (no satisficieron criterios de normalidad; Shapiro-Wilks, $W=0.96$, $p<0.05$), se detectaron diferencias significativas ($p<0.01$, $Z= 7.8$) (Fig. 3a). El 50% de las tallas registradas para hembras se encuentra entre 15-17 cm LE, y para el caso de los machos entre 14-16 cm LE (Fig. 3b). Adicionalmente, se calculó el promedio y la desviación estándar de las tallas por sexos, para hembras es de 16.2 ± 1.5 cm, machos es 15.5 ± 1.4 cm.

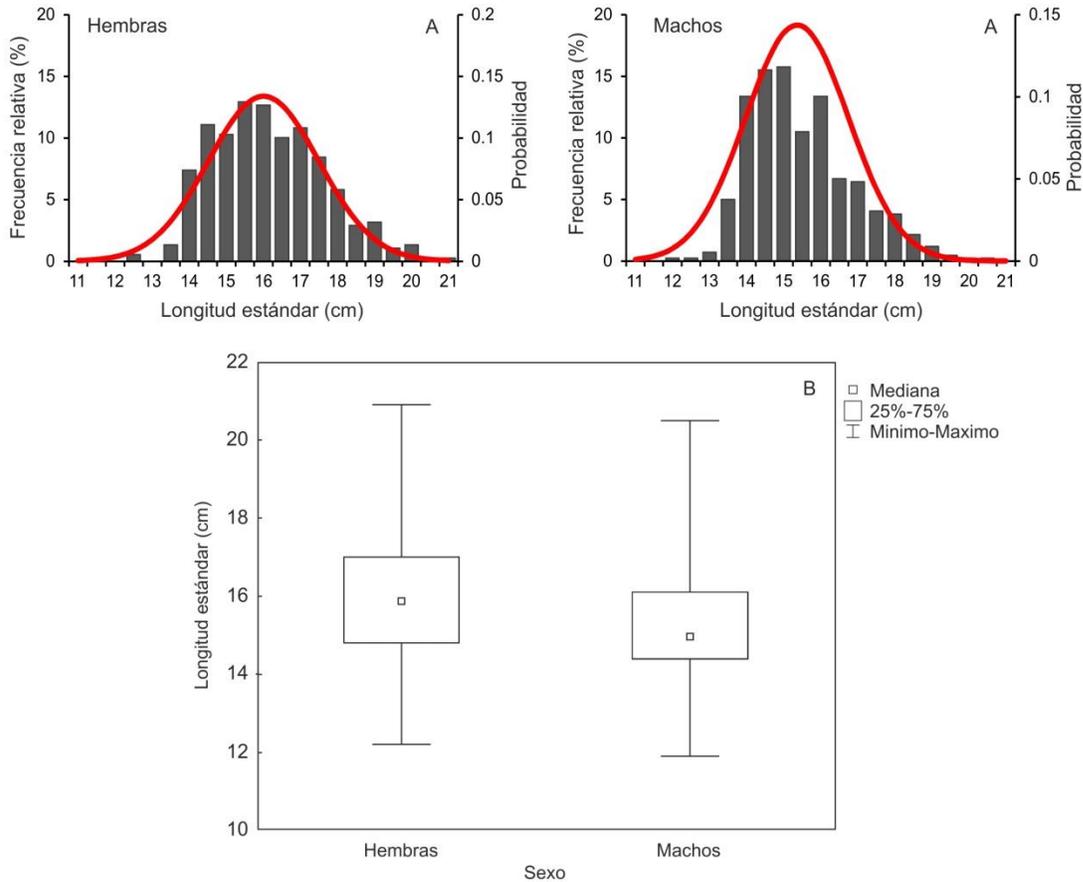


Figura 3. Estructura de tallas (A) y cuartiles (B) para hembras y machos de la sardina crinuda *O. libertate* de la captura descargada en Mazatlán, Sinaloa, durante 2011-2014. Las curvas representan la función de densidad de una distribución normal.

La distribución de tallas para cada sexo presento un coeficiente de asimetría positivo ($Asimetría > 0$), donde la cola de la distribución se alarga para valores superiores al promedio.

Al evaluar los cambios en la estructura de tallas entre períodos de TSM (Fig. 4a) se identificaron diferencias significativas (KS, $Z=8.35$, $p<0.05$). Durante el período frío, el rango de tallas en la captura fue más amplio (Fig. 4b) y también se presentaron las sardinas más pequeñas (<13.5 cm) y las más grandes (>18.5 cm)

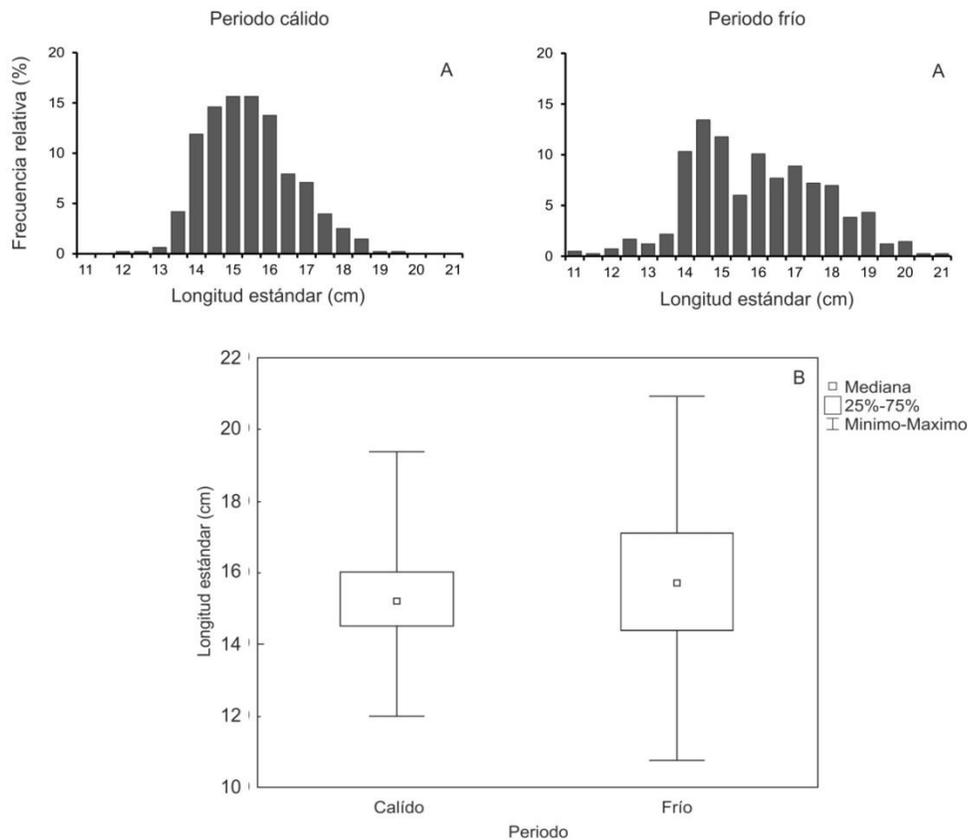


Figura 4. Estructura de tallas (A) y cuartiles (B) de la sardina crinuda *O. libertate* durante el período cálido y período frío en la zona sur del Golfo de California, durante 2011-2014.

Para evaluar el potencial efecto de la temperatura superficial del mar (TSM) en la estructura de tallas de la sardina crinuda *O. libertate*, se reconstruyó un ciclo anual promedio con los valores mensuales de la TSM durante 2011-2014 (Fig. 5a). Considerando el valor de 26 °C, como la temperatura de separación en el patrón estacional en dos períodos: uno cálido de mayo a octubre y otro frío de noviembre a

abril. Al evaluar los promedios mensuales entre período, identificamos diferencias significativas en la TSM entre períodos (ANOVA, $F=195.52$, $p<0.05$).

La tendencia de la TSM por zonas de pesca, muestra un gradiente positivo de norte (zona 1) a sur (zona 5) con las mayores diferencias entre la zona I y la V durante el mes de febrero (19.5 °C - 24.5 °C). Las diferencias entre las zonas se minimizan durante agosto y septiembre, alcanzando una temperatura de hasta 31.03 °C.

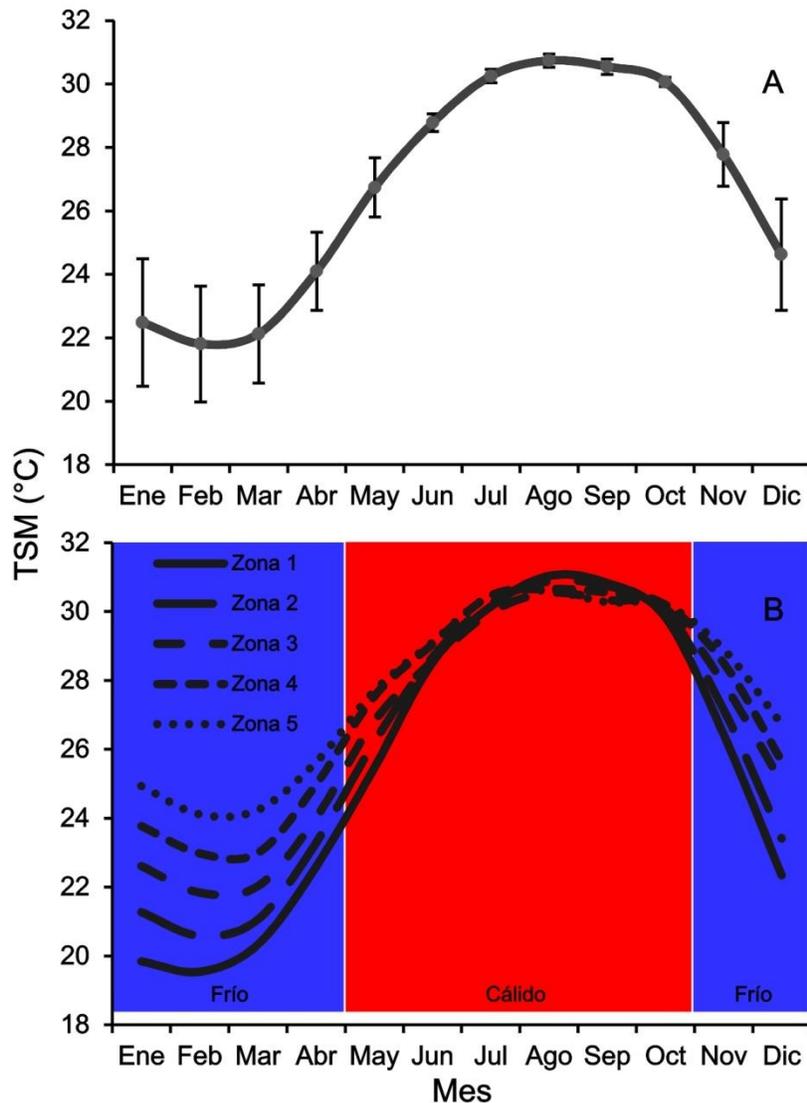


Figura 5. Ciclo anual de la temperatura superficial del mar (TSM) en la región sur del Golfo de California (A) y por zona de pesca (B), período 2011-2014.

Es posible observar que las sardinas crinuda con menores tallas se capturaron en el período frío en las zonas III y IV, y las de tallas mayores en las zonas II y III. Durante el período cálido, la mayor proporción de sardinas se concentró entre 14-17 cm LE, y el muestreo representó mejor la estructura de tallas en las zonas I, II, y III (Fig. 6).

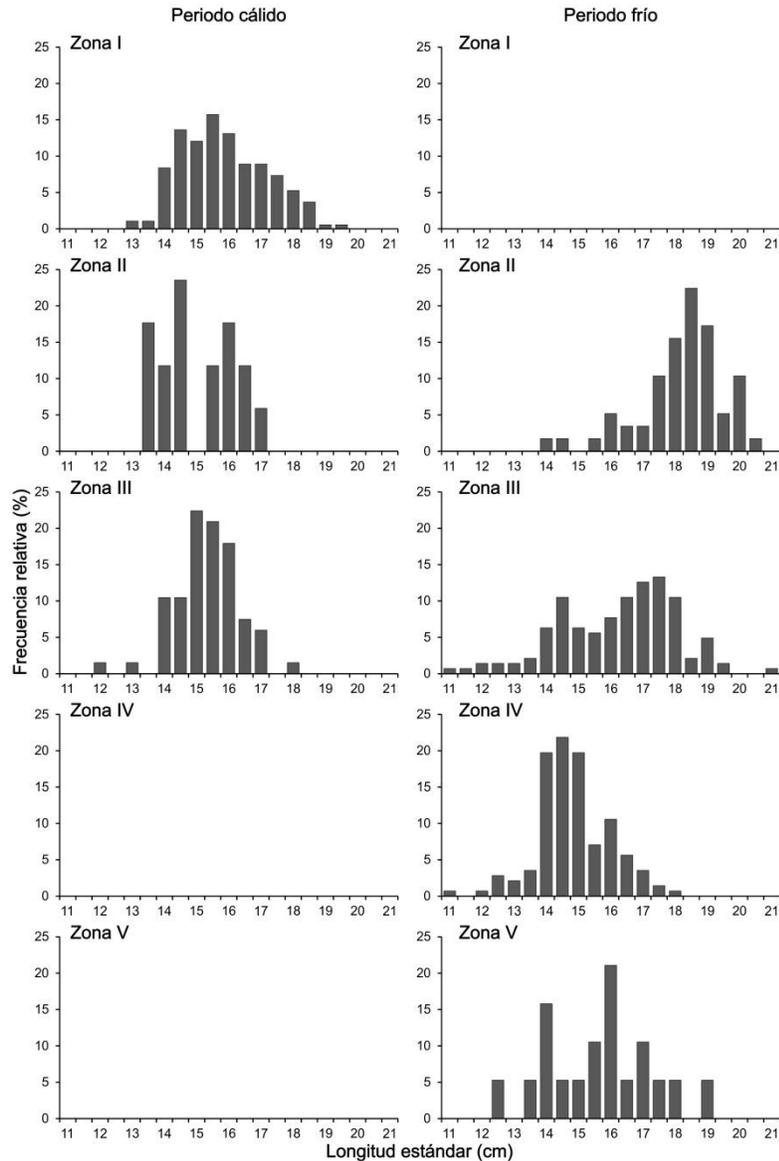


Figura 6. Estructura de tallas de la sardina crinuda *O. libertate* por zona de pesca y periodo cálido y frío en la región sur del Golfo de California, durante 2011-2014.

Relación peso-talla

La relación peso-talla (PT-LE) se estimó para hembras ($PT = 2E - 05 LE^{3.01}$, $n = 383$, $R^2 = 0.90$) y machos ($PT = 3E - 05 LE^{2.94}$, $n = 414$, $R^2 = 0.81$). El ANCOVA indicó que las diferencias entre sexos no son significativas ($F=0.047$, $p>0.05$), por lo tanto, se estimó la relación PT-LE para sexos combinados (Fig. 7) y el valor de la pendiente no difirió significativamente del valor teórico de 3 ($t=-0.432$, $p>0.05$), por lo que la sardina crinuda *O. libertate* presenta un crecimiento de tipo isométrico dentro del intervalo de tallas y pesos analizado.

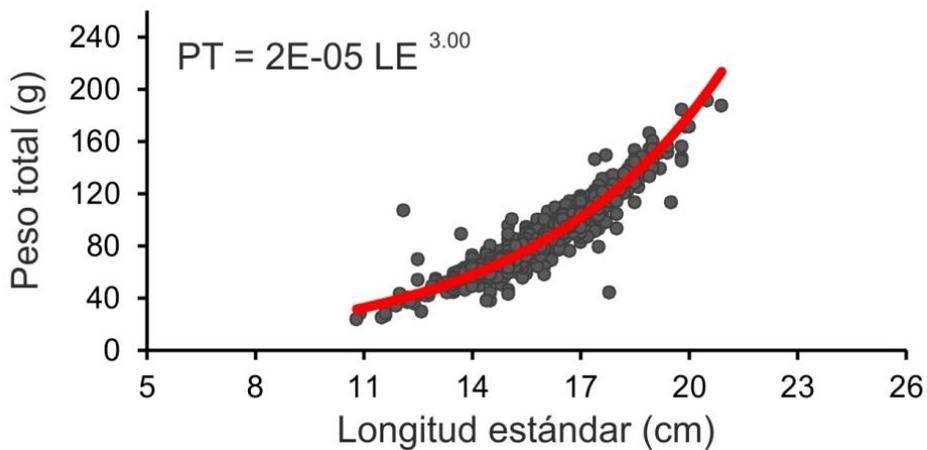


Figura 7. Relación longitud-peso de la sardina crinuda *O. libertate* en la zona sur del Golfo de California, durante 2011-2014.

Selección de la estructura adecuada para determinar la edad

Al observar los otolitos, escamas y *cleitrum* de la sardina crinuda *O. libertate* (Fig. 8), mostraron diferencias en la definición de las marcas de crecimiento, siendo mejor en el caso de los otolitos y menor en el caso de las escamas. Además, la presencia de marcas dobles y falsas fue muy común en el *cleitrum* y escamas, mientras que en el otolito la presencia de estas fue menor. No obstante, fue posible realizar el conteo de marcas de crecimiento en las tres estructuras, y se identificaron hasta 4 grupos de edad (1-4) en las tres estructuras.



Figura 8. Estructuras duras de la sardina crinuda *O. liberte* en condiciones para lectura. Otolitos sumergidos en glicerina (izquierda), escama (medio) y *cleitrum* (derecha).

Precisión

Al evaluar la precisión de las lecturas por estructura entre lectores, no se detectaron diferencias significativas, estas no superaron el 10%. Los valores del APE fueron: escama = 3.87%, otolito = 4.12 % y *cleitrum* = 4.94 %; Para el CV los porcentajes obtenidos fueron: escama = 7.2%, otolito = 7.4% y *cleitrum* = 8.2%

Al evaluar la simetría de las lecturas de las marcas de crecimiento, se obtuvieron valores desde 0.87 para *cleitrum*, siguiendo otolitos con 0.95 y para escamas fue 0.97. De acuerdo a los criterios de este índice, significa que la simetría entre lecturas es sustancial en el caso de la escama y el otolito, pero pobre en el caso del *cleitrum*.

Repetibilidad

El análisis gráfico de la dispersión de las lecturas para las tres estructuras duras (Fig. 9) fue realizado tomando como referencia la bisectriz, la cual indica la relación ideal 1:1 entre lectores. En otolitos y escamas el lector 1 registró un mayor número de marcas de crecimiento en comparación con el lector 2, lo cual significa que el lector 2 (menor experiencia) tiende a subestimar el número de marcas de crecimiento. Mientras que en el caso de los cleitra las diferencias entre lectores disminuyen, pero en los puntos bajo la línea se concentran un mayor número de lecturas; la tendencia de las diferencias

entre lectores en este análisis gráfico no parecen ser importantes, el Porcentaje Promedio de Error (APE) y Coeficiente de variación (CV) nos indica que existe correspondencia entre lectores en las tres estructuras evaluadas.

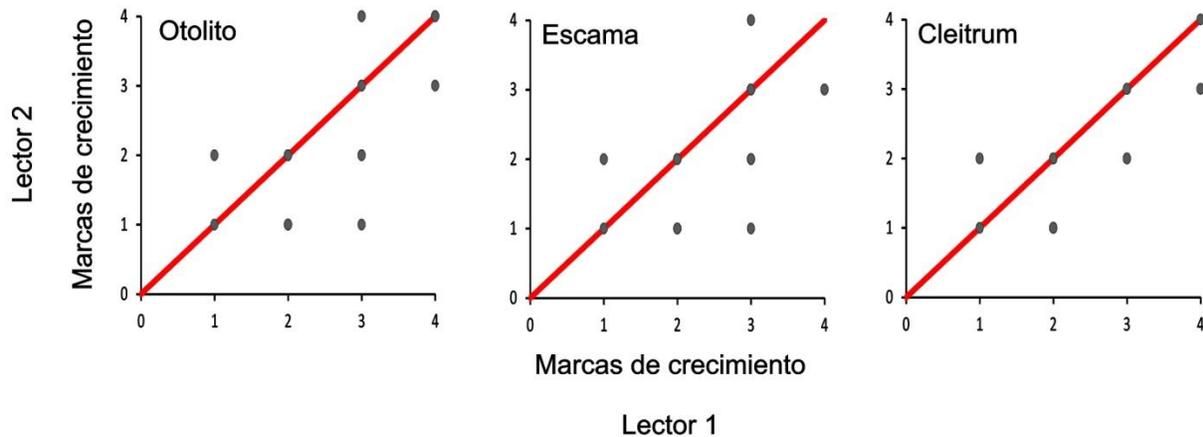


Figura 9. Dispersión entre lectores del número de marcas de crecimiento por estructura dura de la sardina crinuda *O. libertate*. Cada punto puede indicar más de un par de lecturas, las líneas son la bisectriz y señalan una correspondencia 1:1.

Proporcionalidad

Para evaluar el crecimiento de las estructuras respecto al crecimiento somático en *O. libertate*, se utilizaron las medidas del radio de las estructuras (RO), LE de las sardinas y número de marcas de crecimiento. Las relaciones se evaluaron usando análisis de regresión y se utilizó el coeficiente de determinación como criterio de ajuste. Las regresiones en los todos los casos fueron significativas ($p < 0.05$) (Fig. 10, Tabla 3). Sin embargo, los otolitos presentaron los valores más altos de significancia. Las evidencias de precisión y de proporcionalidad del crecimiento soportan a los otolitos como la estructura más adecuada para estimas la edad de *O. libertate*.

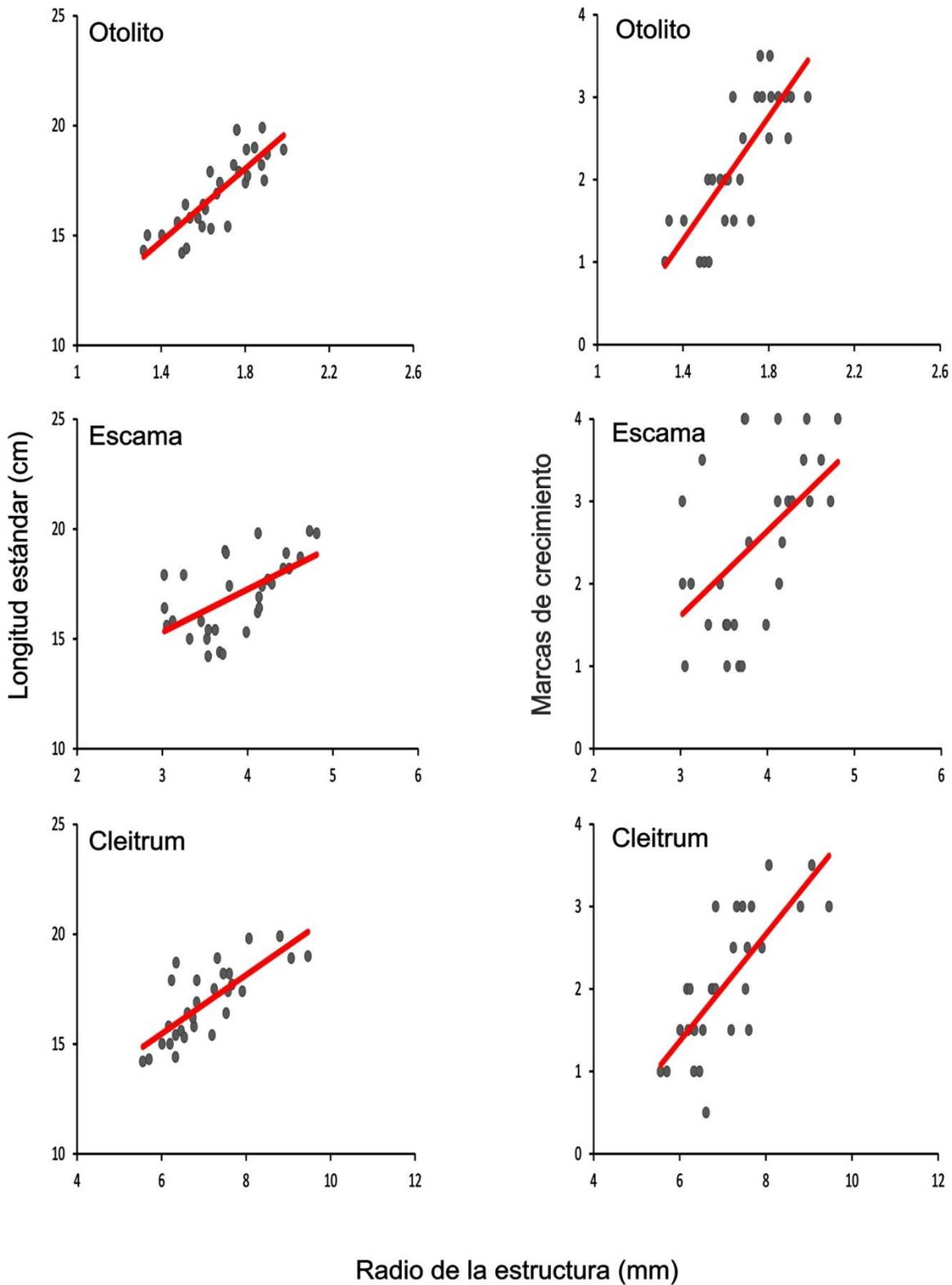


Figura 10. Diagrama de dispersión y línea de ajuste lineal entre el radio de las estructuras duras versus la longitud estándar y número de marcas de crecimiento de la sardina crinuda *O. libertate*.

Tabla 3. Coeficientes de determinación y probabilidad de las relaciones lineales de las estructuras duras *versus* la longitud estándar y número de marcas de crecimiento de la sardina crinuda *O. libertate*.

Relación	R ² (%)	Probabilidad
Radio Escama vs LE	34	0.0007
Radio Otolito vs LE	68	1.9455E-08
Radio <i>Cleitrum</i> vs LE	59	1.2219E-06
Radio Escama vs Marcas de crecimiento	27	0.0032
Radio Otolito vs Marcas de crecimiento	63	1.7722E-07
Radio <i>Cleitrum</i> vs Incremento	57	1.9535E-06

Quemado de estructuras

Al ser los otolitos la estructura dura seleccionada como la más adecuada en la determinación de la edad, estos fueron quemados para evaluar una posible mejora en la claridad de marcas de crecimiento, esto se realizó utilizando un micro-ondas convencional, se evaluaron diferentes tiempos de quemado (5-20), aumentando en intervalos de 5 minutos. El tiempo de quemado ideal fueron 15 minutos, cuando la banda hialina de una marca de crecimiento se vuelve notablemente más oscura y el contraste de esta con la banda opaca aumenta significativamente (Fig. 11). Cuando los otolitos fueron quemados durante 20 minutos, presentaron evidencia de daño en la estructura.



Figura 11. Otolitos sumergidos en glicerina (izquierda) y otolitos quemados durante 15 minutos (derecha) de la sardina crinuda *O. libertate*. Los otolitos en glicerina se observaron con luz reflejada sobre fondo negro y los otolitos quemados con luz trasmitida.

Determinación de la edad

Se identificaron hasta 6 grupos de edad, correspondientes a los grupos de edad 0 a 5 (Tabla 4), el grupo de edad 1 fue el que predominó en el muestreo, seguido por el grupo 2 y 0. Los grupos de edad menos representados fueron 4 y 5.

Tabla 4. Frecuencia absoluta y relativa del número de marcas de crecimiento en los otolitos de la sardina crinuda *O. libertate*.

Marcas	Frecuencia	Porcentaje
0	22	9.9
1	122	55.0
2	56	25.2
3	14	6.3
4	6	2.7
5	2	0.9
N	222	100

Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento

Al evaluar el tipo de borde de los otolitos (Fig. 12), se observó que el porcentaje de bordes opacos fue mayor de diciembre a marzo, mientras que los valores menores se registraron en julio y agosto. Esto sugiere que la periodicidad de formación de una marca de crecimiento es anual y termina de formarse en la transición entre agosto y septiembre. Por lo tanto, el número de marcas de crecimiento corresponde a la edad en años.

Para el análisis no se consideraron los meses de febrero y abril debido al reducido tamaño de la muestra, mientras que en octubre la pesquería detiene las actividades de pesca.

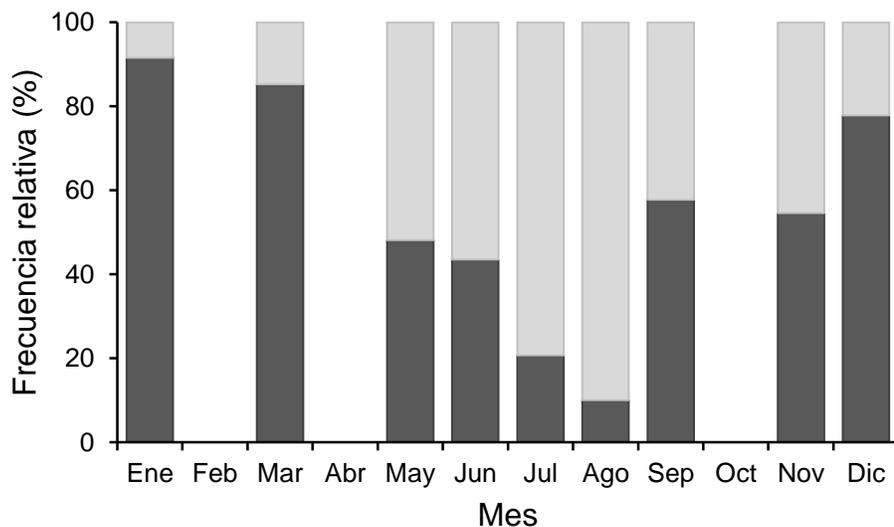


Figura 12. Porcentaje mensual de otolitos con borde opaco (barra en negro) e hialino (barra en gris) de la sardina crinuda *O. libertate*.

Estimación de los parámetros de crecimiento

Para describir el crecimiento de la sardina crinuda *O. libertate* se ajustaron a los datos talla-edad cinco modelos (Tabla 5, Fig. 13).

Todos los modelos se ajustaron satisfactoriamente a los datos de talla-edad ($R^2 > 0.90$). Los modelos en los que se obtuvo un mayor porcentaje de varianza explicada fueron von Bertalanffy, Richards y Schnute, igualmente para ellos se obtuvieron los menores valores de verosimilitud, lo que significa que describen mejor la tendencia de los datos. En cada caso, los parámetros de los modelos no son comparables entre sí, ya que tienen diferente formulación matemática

Tabla 5. Parámetros de crecimiento por modelo ajustado a los datos talla-edad de la sardina crinuda *O. libertate* en la zona sur del Golfo de California.

Modelo	LE_{∞}	K	t_0	y1	y2	A	B	M	R^2	ln(LL)
von Bertalanffy	20.3	0.5 (k1)	-1.9						91.5	312.5
Gompertz	19.9	0.6(k2)	-1.2						91.3	312.7
Logístico	19.7	0.7(k3)	-0.7						91.1	313.0
Richards	20.4	0.4(k4)	-1.7					-0.1	91.5	312.5
Schnute	24.5	0.1	-0.5	10.6	19.4	0.5	1.0		91.5	312.5

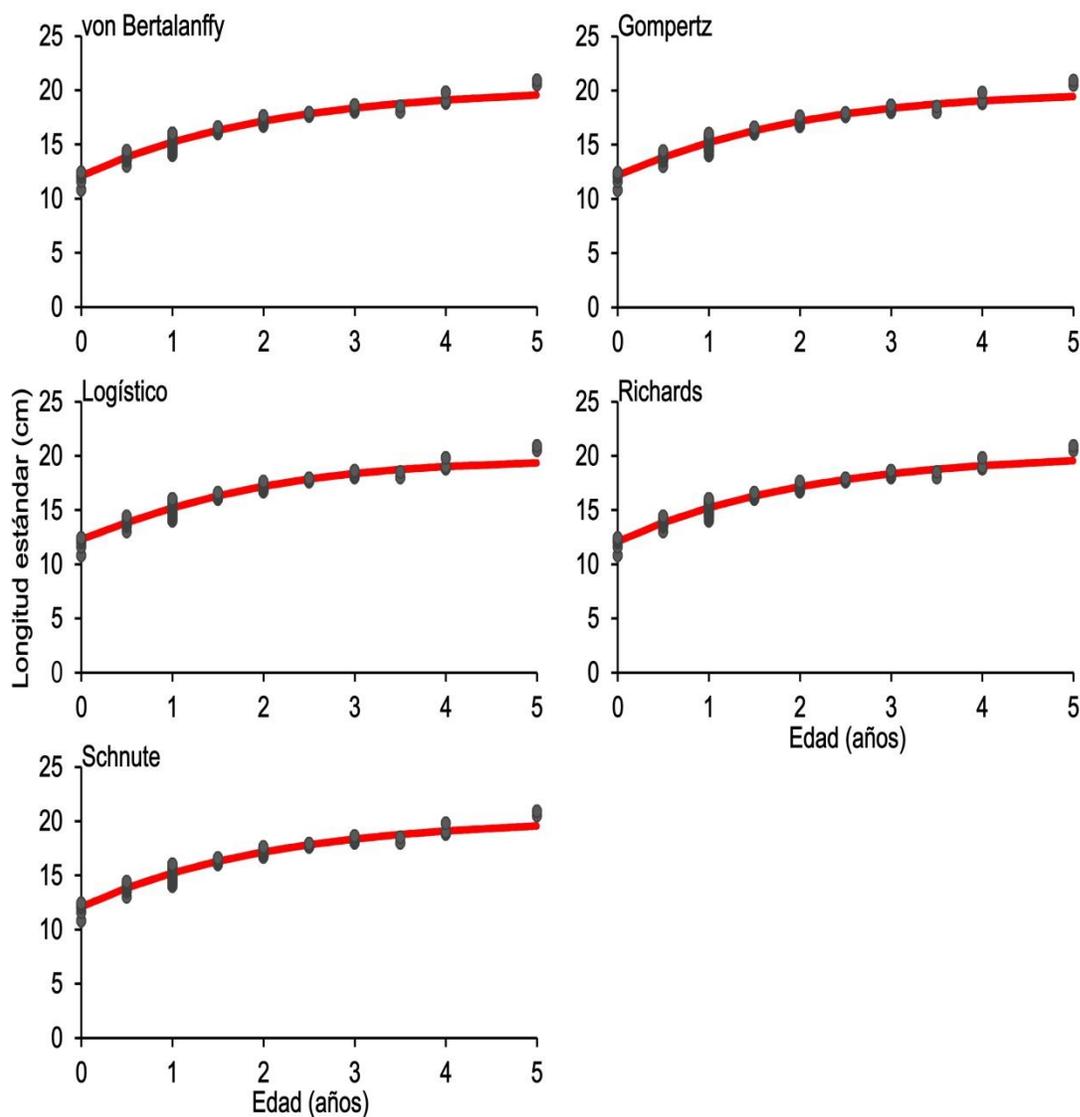


Figura 13. Diagrama de dispersión de los datos talla-edad y curvas por cada modelo de crecimiento evaluado en la sardina crinuda *O. libertate*.

Selección del modelo de crecimiento (criterio de información de Akaike)

El modelo de von Bertalanffy obtuvo el menor valor de AIC (Tabla 6), lo cual significa que es el modelo más adecuado en la descripción del crecimiento de la sardina crinuda *O. libertate*; seguido por los modelos de Gompertz y Logístico. Los modelos de Richards y Schnute fueron los que obtuvieron mayor valor de AIC.

De acuerdo a la teoría de la información de AIC, los modelos con una diferencia (Δ) igual o menor a 2 representan un fuerte soporte estadístico. En el caso de los 5 modelos evaluados, todos se consideran estadísticamente aptos para describir el crecimiento de la sardina crinuda *O. libertate* (Tabla 6). Al estimar el peso de Akaike, el modelo que explica la mayor varianza en comparación con los otros es el von Bertalanffy y en el otro extremo se ubicaron los modelos de Richards y Schnute.

Tabla 6. Valores de AIC, diferencias de Akaike y W_i por modelo en la descripción del crecimiento de la sardina crinuda *Opisthonema libertate*.

	# de parámetros	AIC	Diferencias de Akaike (Δ)	W_i
von Bertalanffy	3	631.0	0.0	0.3
Gompertz	3	631.4	0.4	0.3
Logístico	3	631.9	0.9	0.2
Richards	4	633.0	2.0	0.1
Schnute	4	633.0	2.0	0.1

El único parámetro en común y comparable en los cinco modelos es LE_{∞} , por lo tanto y de acuerdo al enfoque multimodelo, se estimó el parámetro $LE_{\infty\text{promedio}}$ sumando los productos de LE_{∞} y peso de Akaike (w_i) por cada modelo evaluados, obteniendo una $LE_{\infty\text{promedio}}$ 20.56 cm. Este valor sustituyo al estimador del parámetro correspondiente en el modelo de von Bertalanffy.

Se observó que la sardina crinuda *O. libertate* presento un periodo de crecimiento acelerado durante el primer año de vida, durante el cual alcanzo el 74 % de la $L_{\infty\text{Promedio}}$

Intervalos de confianza

Los perfiles de verosimilitud de los parámetros de modelos de von Bertalanffy, se presentan en la figura 14. Los intervalos de confianza son: $LE_{\infty} = 20.38\text{-}20.68$ cm, $k = 0.466\text{-}0.496$ año⁻¹, y $t_0 = -1.982\text{-}(-1.794)$ años.

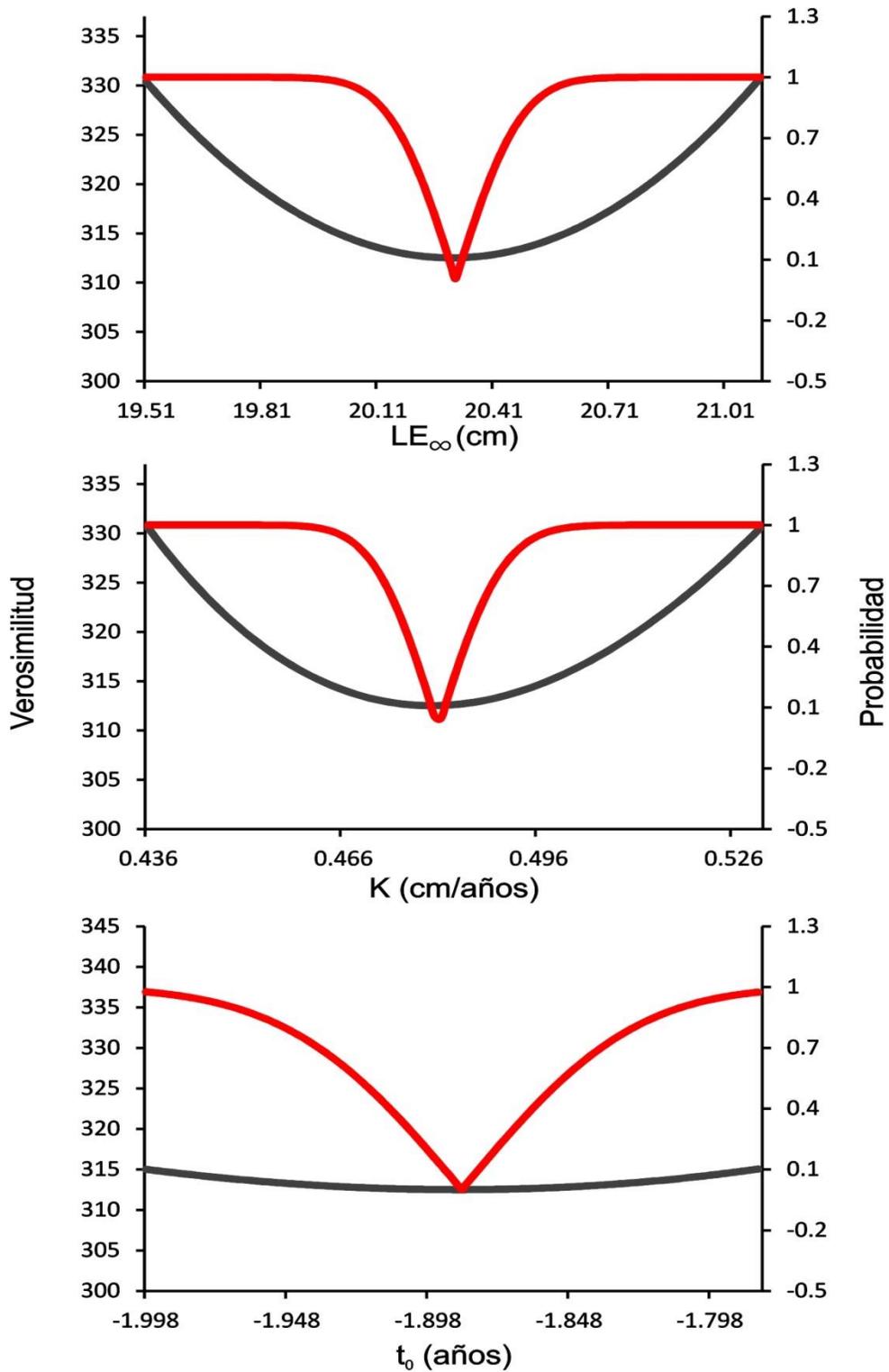


Figura 14. Perfiles de verosimilitud de los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy para la sardina crinuda *O. libertate*. La línea en negro es el negativo del logaritmo de la verosimilitud y la línea en rojo es la probabilidad Chi-cuadrada.

7. DISCUSIÓN

Identificación taxonómica

Las claves y criterios de identificación taxonómica propuestos por Berry & Barret (1963) y Torres-Ramírez (2004), han sido validados por Pérez-Quiñonez (2014), quien reporta que la identificación de especies realizada con estas claves y criterios, basadas en caracteres merísticos y morfológicos, son congruentes con los resultados de análisis moleculares, por lo cual es posible identificar correctamente a los organismos del genero *Opisthonema* en el litoral noroeste de México utilizando estas herramientas.

Después de la identificación taxonómica de los organismos recolectados de la captura de pelágicos menores en la costa sur del Golfo de California durante 2011-2014, el mayor porcentaje correspondió a *O. libertate* (61 %), seguido de *O. medirastre* (28 %) y finalmente *O. bulleri* (11%). Claramente, el porcentaje de organismos correspondientes a *O. bulleri* es mucho menor. Esto coincide con lo publicado por Berry & Barret (1963) donde indican que el límite norte de la distribución de *O. bulleri* es la zona de Mazatlán, Sin. Esto sugiere que la flota sardinera que pesca en la costa sur del Golfo de California tendrá mayores posibilidades de capturar esta especie en las zonas estadísticas de pesca IV y V. Sin embargo, en otras regiones del Pacífico Oriental se han reportado porcentajes por especie similares a los obtenidos en el presente trabajo. Vega-Corrales (2010) registro en el Golfo de Nicoya, Costa Rica, 78% de *O. libertate*, 17% de *O. medirastre* y 5% de *O. bulleri* de un total de 2,831 organismos analizados. En ambos casos la especie que representa el menor porcentaje de organismos es *O. bulleri*. Castro-González *et al.*, (1997) publicaron que para las costas de Sinaloa y Nayarit, la especie con menores capturas es *O. bulleri*. Ruiz & Lyle (1992) mencionan que las especies del genero *Opisthonema* presentan diferencias en la distribución espacio-temporal, por lo que la composición específica de la captura varía a lo largo de la temporada y asumen que *O. libertate* representa el mayor aporte en las capturas en la zona sur del Golfo de California. Las diferencias en la proporción entre *O. libertate*, *O. medirastre* y *O. bulleri* en el presente trabajo, permiten asumir que *O. libertate* es la especie que domina en las capturas de la zona sur del Golfo de California.

Stevenson & Carranza (1981) indican que la pesquería del complejo *Opisthonema* es una pesquería multiespecífica, esto significa que no existe evidencia de que esta sea selectiva y se realiza una captura indiscriminada de las tres especies del complejo *Opisthonema*. Una posible explicación a la menor representación de *O. bulleri* y la variabilidad temporal de aparición en aguas someras, donde la flota sardinera realiza maniobras de pesca, se atribuye a que el hábitat de esta especie se considera más oceánico (Rodríguez-Domínguez, 1987; Castro-González *et al.*, 1997).

Estructura de tallas

Se detectaron diferencias en la estructura de tallas asociadas al sexo de la sardina crinuda *O. libertate*, las hembras presentaron un intervalo más amplio y un promedio mayor. El promedio de la talla de la sardina crinuda *O. libertate* (15.56 cm LE) durante el periodo de estudio resultó ser menor a la talla mínima de captura (16 cm LE) establecido por la NOM-003-Pesq-1993, es común que se capturen sardinias crinudas inferiores a la talla mínima de captura (Jacob-Cervantes, 2010). Martínez-Zavala (2006) comenta que la norma sobre la talla mínima de captura se basó en organismos que se capturan en el interior del Golfo de California; los cuales alcanzan tallas mayores a las reportadas para la zona sur del golfo, por lo cual esta norma debería establecerse para cada una de las zonas de captura del genero *Opisthonema* en el Pacifico Mexicano (zona sur del Golfo de California, interior del Golfo de California y Costa Occidental de la península de Baja California). Una evidencia de esto, son las diferencias en las estimaciones de L50% para el interior del Golfo de California y la zona sur de Golfo de California; Cisneros-Mata *et al.*, (1988) estimaron para este parámetro poblacional en 163 mm LE y en un trabajo más reciente Martínez-Zavala *et al.* (2006) estiman entre 160 y 173 mm LE. Mientras que para la zona sur del Golfo de California, Cisneros-Mata *et al.*, (1988) estimo 148 mm LE y Cervantes & Villaseñor (2014) estimaron 135 mm LE, lo que pone de manifiesto importantes diferencias entre los estimados de L50 para las dos zonas de pesca. Cervantes & Villaseñor (2014) mencionan que diferencias interanuales en talla, consecuencia de la tasa de crecimiento, afectaran los estimados de las talla media de madurez.

Diferencias en la estructura de tallas de la captura de la sardina crinuda *O. libertate* se detectaron por zona de pesca y entre período cálido y frío. Las diferencias en la estructura de tallas entre periodos pueden estar asociadas al comportamiento de la flota pesquera, la cual durante el periodo cálido captura en la parte norte de la zona de pesca.

No se detectó un efecto de la temperatura superficial del mar (TSM) sobre la estructura de tallas de sardina crinuda *O. libertate*. Las variaciones estacionales de la TSM en la boca del Golfo de California están influenciadas por las corrientes marinas que ahí confluyen, contracorriente Norecuatorial, corriente de California y corriente del Golfo de California (Vallarta-Zarate, 2012). Además, Vallarta-Zarate, (2012) comenta que la parte norte de la zona de pesca de la flota sardinera con base en Mazatlán, Sin., se ve influenciada por la corriente de California y la contracorriente Ecuatorial, principalmente influenciada por la primera, por tanto las zonas I y II se consideran frías y presentan mayor intervalo de temperatura; la zona III estaría influenciada por las mismas corrientes pero principalmente por la contracorriente Ecuatorial; y las zonas IV y V presentan una temperatura mayor debido a la influencia de la contracorriente ecuatorial durante la mayor parte del año.

Durante el período cálido, en la zona I se registró el intervalo más amplio de tallas; se registraron principalmente sardinas mayores a 14 cm LE, sardinas que podrían considerarse adultos y que utilizan esta zona como área de desove (Jacobo-Cervantes & Aguirre-Villaseñor, 2014).

Relación peso-talla

La sardina crinuda *O. libertate* presenta un crecimiento isométrico, entre el peso y la talla. De igual manera Carmona & Alexandres (1994) identifican este tipo de crecimiento para *O. libertate* en la costa occidental de Baja California Sur. Sin embargo, en el trabajo de Quintana-Soto (2014) determina para las costas de Mazatlán crecimiento alométrico negativo que *O. libertate*, esto sugiere que el pez llega a ser más delgado para su longitud a medida que crece (Woottom, 1990). Este resultado puede estar influenciado por una pobre representación de la estructura de tallas de la población,

donde la ausencia de organismos adultos o de tallas mayores a la media, no están presentes, lo que provoca que el coeficiente de asimetría tienda a disminuir. Similar a este trabajo, Antony-Raja (1967) explica que al analizar la relación peso-talla de *Sardinella longiceps*, en el caso de 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.

Selección de la estructura adecuada en la determinación de la edad

Para identificar la estructura adecuada en la determinación de la edad de la sardina crinuda *O. libertate* se evaluaron escamas, cleitra y otolitos. Los criterios de precisión (APE y CV) indican que las 3 estructuras presentan valores aceptables. Además, el error entre lectores y desviación estándar del número de marcas de crecimiento en las diferentes estructuras no difiere estadísticamente.

En el caso de un recurso sujeto a explotación como es el caso de la sardina crinuda *O. libertate*, es importante utilizar criterios estadísticos que nos permitan disminuir la incertidumbre, por esta razón se utilizó el coeficiente de correlación de concordancia de Lin para reforzar los resultados obtenidos del APE y CV. Este índice sugirió que para la determinación de la edad de *O. libertate* el uso de la escama y/o del otolito es adecuado. Este resultado se complementó evaluando la relación entre las estructuras duras (tamaño y número de marcas de crecimiento) y la talla del pez.

Esta evaluación indicó que los otolitos presentaron una mayor relación entre el aumento en tamaño de la estructura y aumento en talla de los organismos, así como entre el aumento en tamaño de la estructura y aumento del número de marcas de crecimiento. En el caso de García & Molina (1986), utilizaron escamas para determinar la edad de sardina crinuda, asumiendo que esta estructura era adecuada. Sin embargo, en su evaluación de la relación entre el radio de la escama y la longitud furcal de la sardina crinuda, obtuvieron valores bajos de correlación, lo que significa que esta estructura no es la que mejor describe el crecimiento de la especie.

Khan *et al.* (2013) evaluaron la precisión de otolitos, huesos operculares, escamas y vertebras en la determinación de la edad de *Channa punctata*, los resultados reportados indican que los otolitos fueron considerados la estructura más precisa, debido a que presentaron menor coeficiente de variación y porcentaje promedio de error entre lectores, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Las escamas analizadas en el presente estudio presentaron alta variación en el tamaño (radio) para un mismo grupo de edad, el tamaño difiere de acuerdo a la zona de extracción, no en todos los casos fue posible obtener escamas de la misma zona del organismo, lo cual es una fuente de variación que afecta la relación entre el crecimiento de la estructura y el crecimiento somático. Además, al ser una estructura que protege al pez de potenciales ataques algunas de estas podrían haber sufrido daños estructurales y reflejar esto en la calidad de la estructura al momento de realizar la medición del tamaño. Una característica común entre la escama y el *cleitrum*, fue la presencia de marcas falsas o marcas dobles, las cuales fueron una fuente de variación en la determinación de edad. Una marca falsa es una zona hialina en medio de una zona opaca, la cual generalmente no es continua alrededor de la estructura. Una marca doble es una zona hialina compuesta, la cual consiste en dos o más zonas hialinas que siguen un mismo patrón de formación (Leta & Keim, 1982). El origen de estas marcas puede relacionarse a enfermedades o migraciones, entre otras cosas (Aguayo & Gili, 1984).

Khan *et al.*, (2013) reportan que para *C. punctata* las marcas de crecimiento en escamas fueron poco claras e inconsistentes, independientemente de la talla de los organismos. La menor precisión de las escamas en la determinación de la edad se atribuye a la reabsorción y formación de anillos falsos, los cuales pueden deberse a estrés y deficiencias alimenticias. Además, las marcas de crecimiento tienden a obscurecerse cuando la tasa de crecimiento disminuye asociada a la edad (Beamish & McFarlane, 1987; Maceina & Sammons, 2006).

Es probable que el otolito solo este representando eventos en la historia de vida del pez correspondiente a eventos anuales, como lo explica Campana & Thorrod (2001), donde

las bandas opacas corresponden a períodos de rápido crecimiento con buena condición corporal y bandas hialinas concuerdan con períodos de lento crecimiento y actividad reproductiva.

Quemado de otolitos

Debido a que la estructura seleccionada como la más adecuada fue el otolito, este se sometió al proceso de quemado utilizando un micro-ondas convencional con una potencia de salida de 700 watts, lo que mejoró considerablemente la apariencia de las marcas de crecimiento, esto se debe a que el proceso de quemado provoca un cambio en la coloración de cada banda de crecimiento, en el caso de la banda opaca esta se vuelve café claro, mientras que la banda hialina se vuelve café obscura, aumentando así el contraste y permitiendo una mejor identificación de las marcas de crecimiento (Forsberg, 2001). El tiempo de quemado adecuado fue de 15 minutos, si el tiempo de quemado es mayor el otolito tiende a quebrarse y puede dificultar la observación de las bandas de crecimiento, si el tiempo es menor a 15 minutos, los efectos del quemado no son perceptibles en su totalidad.

Este proceso no pudo ser utilizado en las otras estructuras evaluadas (escama y cleitra), debido a su naturaleza. En las escamas, el colágeno inicia un proceso de gelatinización como una reacción al calor, lo cual destruye las escamas y eliminaría cualquier evidencia de marcas de crecimiento. En el caso de los cleitra, no se recomienda el quemado, DeNiro et al. (1985) y Richter (1986) indican que el quemado de una estructura ósea debilita la composición orgánica de estos. Además, McCutcheon (1992) menciona que también aumenta la porosidad, lo que hace que se vuelvan propensos a quebrarse (Lubinski, 1996).

Finalmente, aseguramos que la estructura dura adecuada en la determinación de la edad es el otolito posterior al proceso de quemado durante 15 minutos. Además, el tiempo de preparación previo a la lectura de marcas de crecimiento es menor para el otolito y su extracción es más sencilla que la cleitra.

Periodicidad de las marcas de crecimiento

El cambio mensual del porcentaje del tipo de borde de los otolitos de la sardina crinuda *O. libertate* sugirió que las marcas de crecimiento tienen una periodicidad anual. Algunos autores como Manickchand-Heilmar & Kenny (1990), Beckman *et al.*, (1991) y González (1999) han mencionado que en especies de peces tropicales, como *O. libertate*, la formación de las marcas de crecimiento está relacionada con el período de actividad reproductiva.

Los trabajos de edad y crecimiento sobre esta especie no reportan información precisa sobre la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento, por ejemplo Carmona & Alexandres (1994) y Gallardo *et al.* (1993) asumen que la periodicidad de formación de marcas de crecimiento es anual sin realizar algún análisis cualitativo o cuantitativo. García & Molina (1986) reportan que observaron en las escamas dos marcas de crecimiento por año, relacionadas a dos períodos reproductivos, uno en la época fría del año y otro en la época cálida. Sin embargo, en su trabajo no realizaron una correcta identificación taxonómica de las especies correspondientes al género *Opisthonema*, lo cual pudo incluir estructuras correspondientes a *O. libertate* y *O. medirastre*, las cuales como menciona Rodríguez-Domínguez (1987) tienen diferentes época de actividad reproductiva, una desova en verano y la otra en invierno respectivamente. En el presente trabajo se identificó una periodicidad anual en las marcas de crecimiento, la cual puede asociarse a la época de desove.

Para otras especies de pelágicos menores, se han reportado resultados similares en la periodicidad de las marcas de crecimiento. Alvarado & Félix (1996) realizaron un seguimiento de edades a través del tiempo y definieron que para la sardina del Pacífico *Sardinops sagax* que las marcas de crecimiento son anuales. Para esta especie, se ha analizado la frecuencia relativa mensual de otolitos con bordes opacos e hialinos y se ha identificado que son anuales (Nevarez *et al.*, 1996; Samamé, 1997; Quiñonez-Velázquez *et al.*, 2002). Chiappa y Gallardo (1992) indican que la formación de marcas de crecimiento en la anchoveta norteña *Engraulis mordax* también es anual, donde la banda opaca se forma en verano-otoño y la banda hialina se forma en invierno-primavera. En el caso de *Scomber japonicus*, Gluyas-Millan (1990) identificó un solo

grupo modal de frecuencia correspondiente al borde hialino, que va de noviembre a marzo y un grupo modal de bordes opaco de abril a octubre, indicando que cada marca de crecimiento corresponde a un año.

De acuerdo a lo anterior y a nuestros resultados, la periodicidad de la formación de las marcas de crecimiento en los otolitos de la sardina crinuda *O. libertate* es similar al de otros pelágicos menores, donde una marca de crecimiento corresponde a un año de vida. Además, como se ha mencionado la formación de marcas de crecimiento puede estar asociado a la época reproductiva de las especies.

Determinación de la edad

En todos los otolitos de la sardina crinuda *O. libertate* analizados se observaron bandas de crecimiento. Se registraron hasta 5 marcas de crecimiento, siendo estas edades las más escasas (1%) y las más abundantes fueron para el grupo de edad 1 (55%). 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 pequeños.

En general, se observó con claridad las bandas opacas seguidas de las hialinas. El conjunto de una banda opaca y una banda hialina se consideró como una marca de crecimiento. La presencia de otolitos rotos no imposibilitó la lectura de estos, pues la determinación de la edad se realizó en sobre la región posterior, por lo tanto, la ausencia en algunos casos del rostrum y antirostrum no representó un problema.

Durante el proceso de lectura de 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 disminución del ancho de las marcas de crecimiento. Esta situación se presentó en los grupos de edad 4 y 5. Hayashi (1976), Landa & Piñero (2000), Masuda *et al.*, (2000) y Lucena & O'Brien (2001) comentan que esta situación es común para muchas otras especies, ya que la tasa de crecimiento disminuye de manera significativa en individuos adultos. Sin

embargo, las marcas de crecimiento se continúan depositando sobre el borde del otolito.

Para la sardina crinuda *O. libertate*, solo existen dos estudios con determinaciones directas de edad. Carmona & Alexandres (1994) identificaron cinco grupos de edad (0 a 4) utilizando otolitos, un grupo de edad menos que en el presente trabajo y los resultados corresponden a la costa occidental de la península de Baja California. En el caso del trabajo de García & Molina (1986) identificaron hasta siete grupos de edad (0 a 6) utilizando escamas. Sin embargo, no realizaron identificación taxonómica de los organismos del genero *Opisthonema*, por lo que podrían integrar las 3 especies del genero *Opisthonema* distribuidas en el noroeste Mexicano, por esto no es posible considerar este trabajo como referente de la estructura de edades para la sardina crinuda *O. libertate*.

Crecimiento individual

Al evaluar el crecimiento individual de la sardina crinuda *O. libertate* se determinó que presenta un crecimiento rápido durante el primer año de vida (74 % de la LE_{∞}) y a partir de este punto, la tasa de crecimiento disminuye considerablemente.

A la fecha existen pocos trabajos sobre el crecimiento individual de la sardina crinuda *O. libertate*, y no se ha evaluado otro modelo distinto al de von Bertalanffy, este modelo ha sido utilizado en la descripción del crecimiento de gran número de especies, sus parámetros han sido incorporados a modelos para la evaluación de los recursos y se considera que el parámetro K y L_{∞} tienen significado biológico.

La práctica común entre los investigadores que estudian el crecimiento de los peces es que *a priori* adoptar el modelo de crecimiento de von Bertalanffy, que es la ecuación más utilizada en la literatura de la evaluación pesquera. Sin embargo, en muchos casos este modelo de crecimiento no describe adecuadamente la tendencia de los datos y muchas especies parecen seguir diferentes trayectorias de crecimiento (Katsavenakis & Maravelias, 2008). Por lo tanto, en el presente estudio se evaluó el crecimiento individual de la sardina crinuda *O. libertate* a través de un enfoque multimodelo,

utilizando el criterio de información de Akaike (AIC) para seleccionar el mejor de los modelos evaluados, el cual se considera que tiene una mayor plausibilidad estadística. Las ventajas de utilizar el AIC son que los modelos pueden ordenarse jerárquicamente según su ajuste a los datos, y la obtención del parámetro promedio común en los modelos evaluados. Burnham & Anderson (2002) mencionan que es necesario evaluar más de un modelo de crecimiento, para evidenciar cual es el que mejor se ajusta a los datos con lo que se cuenta. Además, el establecer una comparación entre diferentes modelos con distintos supuestos biológicos, tipos y formas de curva, resulta valioso para hacer inferencias objetivas sobre los estimados de crecimiento (Beninger *et al.*, 2012). Otro argumento para la utilización de un enfoque multimodelo es el planteado por Ricker (1975), quien plantea que el crecimiento de los peces varía en las distintas etapas de su vida y debido a la discontinuidad en el desarrollo, madurez, cambios en el comportamiento o cambios en el hábitat, lo cual podría reflejarse en que para dos stocks de la misma especie deban evaluarse con diferentes modelos de crecimiento.

De los cinco modelos evaluados en el presente trabajo, el modelo de crecimiento individual de von Bertalanffy fue el que obtuvo el menor valor del AIC, por tanto se considera que este es el modelo más adecuado para describir la tendencia de los datos edad-talla analizados. No obstante, como se menciona en el apartado de resultados de acuerdo a teoría del inferencia multimodelo todos los modelos evaluados son estadísticamente adecuados para describir el crecimiento de la sardina crinuda *O. libertate*.

Los supuestos que definen a cada modelo de crecimiento difieren entre sí, en este caso el modelo seleccionado como el más adecuado (von Bertalanffy), está planteado bajo el supuesto de que las condiciones ambientales son constantes (Araya & Cubillos, 2006) y sostiene que el crecimiento en peces está condicionado a procesos fisiológicos y que es el resultado neto de dos procesos opuestos, el catabolismo y anabolismo. De acuerdo a esto, los estimadores de los parámetros obtenidos en los trabajos anteriores de edad y crecimiento para la sardina crinuda *O. libertate* como García & Molina (1986), Gallardo-Cabello *et al.*, (1993) y Carmona & Alexandres (1994), podrían ser comparables con los estimados de los parámetros correspondientes a este trabajo,

debido a que ellos utilizan el modelo de crecimiento de von Bertalanffy. Sin embargo, a lo largo de este trabajo se han comentado las limitaciones que presentan estos trabajos y resultan incompatibles.

En el caso del modelo de Richards, el cual presenta un parámetro de forma, el cual hace posible modelar las curvas con mayor precisión y que el punto de inflexión presente cualquier valor entre la asíntota mayor y la menor (Birch, 1999); y el modelo de Schnute (Tipo 1), el cual presenta una curva teórica versátil capaz de tomar la forma de distintos modelos dependiendo de los valores de los parámetros (Schnute, 1981), y permite hacer estimaciones de parámetros en ausencia de individuos muy jóvenes o muy viejos (Cerdenares-Ladrón de Guevara *et al.*, 2011), se obtuvieron valores bajos de verosimilitud lo cual se traduce en un buen ajuste y estos fueron similares a los obtenidos para von Bertalanffy. La capacidad de estos modelos de variar la forma que describe la curva hace que tengan la facilidad de ajustarse a diferentes tendencias que podrían presentar los datos analizados. Sin embargo, estos modelos pierden fortaleza estadística al ser penalizados por el número de parámetros de acuerdo al criterio de AIC.

Al evaluar los modelos que describen una curva en forma de S, como es el caso de los modelos Gompertz y logístico; estos obtuvieron los valores más altos de verosimilitud, lo que significa que estos modelos no tuvieron el mejor ajuste. Es probable que esto se deba a que de acuerdo a la función matemática que genera estas curvas, tienden a describir un crecimiento con inicio relativamente lento, seguido de una sección que bien podría describir un crecimiento exponencial y finalmente la tasa de crecimiento decrece, donde aparece la parte asíntótica del crecimiento. En el caso de los datos analizados, es probable que debido a la baja desviación estándar que presenta la dispersión de la LE por cada grupo de edad, estos modelos describan una figura similar a una curva asíntótica y genere la diferencia entre los valores de verosimilitud obtenidos para estos modelos. El resto de los modelos, mencionados anteriormente, están respondiendo a la tendencia de los datos y se ajustan más adecuadamente. No obstante estas diferencias, los valores de verosimilitud de los modelos candidatos son mínimas, al aplicar el criterio de información de AIC, se considera que estos modelos también son

estadísticamente adecuados para describir el crecimiento de la sardina crinuda *O. libertate* en la zona sur del Golfo de California.

Finalmente, en el presente trabajo obtuvimos valores del coeficiente de determinación que van de 91.1% a 91.5% respecto al ajuste del modelo a los datos, estos valores no deben ser utilizados como criterio en la selección de un modelo de crecimiento, pues este valor responde a la complejidad del modelo y no al mejor ajuste. Zhu *et al.*, (2009) indican que el coeficiente de determinación tiende a seleccionar el modelo más complejo. El cual en este caso sería el modelo de Schnute (Tipo 1), lo cual demuestra que esta no siempre es una herramienta confiable en la selección del modelo adecuado.

8. CONCLUSIONES

- Las tres estructuras duras evaluadas para la determinación de la edad de la sardina crinuda *O. libertate*, son viables para cuantificar el número de marcas de crecimiento.
- De acuerdo los análisis de precisión y simetría, la estructura seleccionada como la más adecuada para determinar la edad fueron los otolitos.
- El quemado de los otolitos durante 15 minutos mejora considerablemente la claridad de las marcas de crecimiento.
- Se detectaron seis grupos de edad (0-5) predominando los individuos con una marca de crecimiento.
- La periodicidad de formación de marcas de crecimiento es anual
- El modelo que mejor describe el crecimiento de la sardina crinuda *O. libertate* fue von Bertalanffy.
- De acuerdo al criterio de AIC, los cinco modelos evaluados en el análisis de la relación edad-talla son estadísticamente adecuados para describir el crecimiento de la sardina crinuda *O. libertate*.
- Los estimadores de los parámetros de crecimiento para la especie son: $LE_{\infty \text{ promedio}}=20.56$ cm, $K= 0.48$ cm*año⁻¹ y $t_0=-1.89$ año; y los intervalos de confianza para cada parámetro son: $LE_{\infty \text{ promedio}}= 20.38-20.68$ cm, $k= 0.466 - 0.496$ cm*año⁻¹ y $t_0= -1.982 - -1.794$ años.

9. BIBLIOGRAFIA

- Aguayo, H. M. & V. R. Gili. 1984. Edad y crecimiento de Merluza de cola (*Macruronus magellanicus*, Lonnberg). *Investigación pesquera*, 31: 47-57
- Aguirre-Gómez R. 2002. Los mares mexicanos a través de la percepción remota. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. 95 p.
- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *Automatic Control, IEEE Transactions*. 19(6): 716-723.
- Alvarado-Castillo, R. & R. Félix-Uraga. 1996. Age and growth of the Pacific sardine *Sardinops caeruleus* (Pisces: Clupeidae) at isla de Cedros, Baja California, Mexico, during 1985 and 1986. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR*, 25(1): 77-86.
- Álvarez-Borrego, S. & R. Lara-Lara. 1991. The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. En: The Gulf of California and peninsular province of the California (Dauphin J.P. & Simoneit B.R., eds.). E.U.A.: American Association of Petroleum Geologist, 834 p.
- 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 multi modelo. *Revista de biología tropical*, 61(3):1167-1174.
- Araya, M. y L. A. Cubillos. 2006. Evidence of two-phase growth in elasmobranchs. *Environmental Biology of Fishes*, 77(3-4): 293-300.
- Beamish, R. J. & D. A. Fournier. 1981. A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38:982-983.

- Beamish, R. J. & G. A. McFarlane. 1987. Current trends in age determination methodology. En: Age and growth of fish. R.C. Summerfelt & G.E. Hall (Eds). The Iowa State University Press, Ames, 444 p.
- Beckman, D. W., A. L. Stanley, J. H. Render & C. A. Wilson. 1991. Age and growth rate estimation of sheepshead *Archosargus probatocephalus* in Louisiana waters using otoliths, *Fishery Bulletin*, 89:1-8.
- Beninger, P. G., I. Boldina & S. Katsanevakis. 2012. Strengthening statistical usage in marine ecology. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 426-427:97-108.
- Berry, F. H. & I. Barrett. 1963. Gillraker analysis and speciation in the thread herring genus *Opisthonema*. *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin*, 7(2):113-190 (English and Spanish versions).
- Birch, C. P. D. 1999. A new generalized logistic sigmoid growth equation compared with the Richards growth equation. *Annals of Botany*, 83(6):713-723.
- Burnham, K. P. & D. R. Anderson. (2002). Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach. Springer Science & Business Media. 488 p.
- Cabrera-Neri, E. 2003. Uso del microondas convencional para el horneado de otolitos del robalo prieto (*Centropomus nigrescens*). *Revista Ciencia y Mar*, 7(19):33-36.
- Cailliet, GM., W. D. Smith, H. F. Mollet & K. J. Goldman. 2006. Age and growth studies of chondrichthyan fishes: the need for consistency in terminology, verification, validation, and growth function fitting. *Environmental Biology of Fishes*, 77(3):211-228.
- Campana, S. E, & S. R. Thorrold. 2001. Otoliths, increments and elements: Keys to a comprehensive understanding of fish populations? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 58(1): 30-38.

- Carmona, R. & F. Alexandres. 1994. Determinación del crecimiento de *O. libertate* (Clupeiformes: Clupeidae) mediante lectura de otolitos. *Revista de biología tropical*, 42(1/2):233-233.
- Castro-González, J. J., H. M. Lizárraga-Rodríguez & O. Chapa-Morales. 1997. Fecundidad de la sardina crinuda *O. bulleri* (Pisces: Clupeidae) entre las costas de Sinaloa y Nayarit, México. *Revista Biología Tropical*, 44(3)/45(1): 659-661.
- Cerdenares-Ladrón de Guevara, G., E. Morales Bojórquez y R. Rodríguez-Sánchez. 2011. Age and growth of the sailfish *Istiophorus platypterus* (Istiophoridae) in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Marine Biology Research*, 7(5):488-499.
- 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.
- Chávez, P. F., J. Ryan, S. E. Lluch-Cota & M. C. Niquen. 2003. From Anchovies to Sardine and Black: Multidecadal Change in the Pacific Ocean. *Science*, 299(5604):217-221.
- Chiappa-Carrara, X. & M. Gallardo-Cabello. 1992. Tallas y otolitos en la determinación de la edad de la anchoveta *Engraulis mordax* (Pisces: Engraulidae). *Revista de Biología Tropical*, 40(1):1-5.
- Cisneros-Mata, M. A., J. A. De Anda-Montañez, J. J. Estrada-García, F. Páez-Barrera & A. Quiroz-Solís. 1988. Pesquería de sardina del Golfo de California y costa de Sinaloa: Informe 1986/87 y diagnóstico. SEPESCA, Instituto Nacional de la Pesca, Centro Regional de Investigaciones Pesqueras-Guaymas, 68 pp.
- Cruz-Vázquez, R., G. Rodríguez-Domínguez., E. Alcántara-Razo & E. A. Aragón-Noriega. 2012. Estimation of individual growth parameters of the Cortes Geoduck *Panopea globosa* from the Central Gulf of California using a multi-model approach. *Journal of Shellfish Research*, 31(3):725-732.

- Csirke, J. 1980. Introducción a la dinámica de poblaciones de peces. FAO. Documento Técnico de Pesca. Roma, Italia. (192):82 p.
- DeNiro, M. J., M. J. Schoeninger & C. A. Hastorf. 1985. Effect of heating on the stable carbon and nitrogen isotope ratios of bone collagen. *Journal of Archaeological Sciences*, 12:1–7.
- 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. CICIMAR-IPN, 86 p.
- Forsberg J. E. 2001. Aging manual for Pacific halibut: procedures and methods used at the International Pacific Halibut Commission. International Pacific Halibut Commission. Technical Report No. 46, 56 p.
- Gallardo-Cabello *et al.*, 1993. Análisis de la edad, crecimiento y mortalidad natural de la sardina crinuda *O. libertate* (Gunther, 1868) de las aguas del Sur del Golfo de California. *Ciencia pesquera*, (9):137-146.
- 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. CICIMAR-IPN, 77p.
- García-Gómez, C. M. & D. Molina. 1986. Edad y crecimiento de la sardina crinuda de la zona de Guaymas. *Ciencia Pesquera*, (5):17-31.
- Gluyas-Millán M.G. 1990. Edad, crecimiento y composición de la captura de macarela *Scomber japonicus* de Bahía Vizcaíno durante 1984-1986. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN, 83 p.
- González, L. W. & N. Eslava. 1999. Edad y crecimiento del pargo *colorado* *Lutjanus purpureus* Poey, 1867 (Teleostei: Lutjanidae) de la región oriental de Venezuela. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 34(1):99-107.

- Gulland, J.A. 1971. Manual de métodos para la evaluación de poblaciones de peces. FAO, Manuales en Ciencia Pesquera, Madrid, 164 p.
- Hayashi, Y. 1976. Studies on the growth of the red tilefish in the East China Sea. A fundamental consideration for age determination from otoliths. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 42(11):1237-1242.
- Hedgecock, D, K. Nelson & L. G. López-Lemus. 1988. Biochemical genetic and morphological divergence among three species of thread herring (*Opisthonema*) in northwest Mexico. CalCOFI, 29: 110-121.
- Holden, M. J. & D. F. S. Raitt. 1975. Manual de ciencia pesquera. Parte 2. Métodos para investigar los recursos y su aplicación. Documento Técnico de Pesca, FAO. (115): 211 p.
- Jacob-Cervantes, M. L. 2010. La pesquería de peces pelágicos menores en el sur del Golfo de California. Análisis de la temporada de pesca 2008. *Ciencia pesquera*, 2(18):47-58.
- Jacob-Cervantes, M. L., & H. Aguirre-Villaseñor 2014. Inferencia multimodelo y selección de modelos aplicados a la determinación de L50 para la sardina crinuda *O. libertate* del sur del Golfo de California. *Ciencia Pesquera*, 22(1):61-68.
- 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):178–187.
- Katsanevakis, S. 2006. Modelling fish growth: model selection, multi-model inference and model selection uncertainty. *Fisheries Research*, 81: 229–235.
- Khan, S., Afzal Khan, M. & K, Miyan. 2013. Precision of age determination from otoliths, opercular bones, scales and vertebrae in the threatened freshwater snakehead, *Channa punctata* (Bloch, 1793). *Journal of Applied Ichthyology*, 29(4):757-761.

- Lagler, K. F., J. E. Bardach, R. R. Miller & D. R. May Passino. 1977. Ichthyology. John Wiley & Sons. New York, 506 p.
- Landa, J. & C. Piñeiro. 2000. Megrim (*Lepidorhombus whiffiagonis*) growth in the Northeastern Atlantic based on back-calculation of otolith rings. ICES. Journal Marine Science, 57(4):1077-1090.
- Leta, H & A. Kleim. 1982. Lectura de edades en otolitos de peces teleósteos. FAO. Uruguay, 41 p.
- Lubinski, P. 1996. Fish heads, fish heads: an experiment on differential bone preservation in a salmonid fish. Journal of Archaeological Science, 23(2):175-181.
- Lucena, F. M. & C. M. O'Brien. 2001. Effect of gear selectivity and different calculation methods on estimating growth parameters of bluefish, *Pomatomus saltatrix* (Pisces: Pomatomidae), from southern Brazil. Fishery Bulletin, 99(3):432-442.
- Maceina, M. J. & S. M. Sammons. 2006. An evaluation of different structures to age freshwater fish from a Northeastern US river. Fisheries Management and Ecology, 13(4):237-242.
- Manickchand-Heilman, S. C. & Kenny, J. S. 1990. Reroduction, age and growth of the whitemouth croaker *Micropogonias furnieri* (Desmarest 1823) in Trinidad waters. Fishery Bulletin, 88:523-529.
- Martínez-Zavala, M. Á., M. O. Nevárez-Martínez, M. L. Anguiano-Carrasco, J. P. Santos-Molina & A. R. Godínez Cota. 2006. Diagnósis de la pesquería de pelágicos menores en el golfo de California, temporadas de pesca 1998/99 a 2002/2003. SAGARPA, Instituto Nacional de la Pesca, Centro Regional de Investigación Pesquera (Guaymas, Sonora, México). 94 p.
- Masuda, Y.; T. Ozawa, O. Onoue & T. Hamada. 2000. Age and growth of the flathead, *Platycephalus indicus*, coastal waters of wheat Kyushu. Japan. Fish. Res., 46(1):113-121.

- McBride, G.B. (2005a). A proposal for strength-of-agreement criteria for Lin's concordance correlation coefficient. NIWA Client Report: HAM2005-062. Report to Ministry of Health. 10 p.
- McCutcheon, P. T. 1992. Burned archaeological bone. En: Deciphering A Shell Midden. San Diego. Academic Press, 347–370.
- MerCier L., J. Panfili, C. Paillon, AN'diaye, D. Mouillot & AM Darnaude. 2011. Otolith reading and multimodel inference for improved estimation of age and growth in the gilthead seabream *Sparus aurata* (L.). Estuarine, Coastal and Shelf Science, 92(4):534-545.
- Morales-Bojórquez, E. 2006. Estimación del rendimiento de la pesquería de sardina Monterrey (*Sardinops caeruleus*), de Bahía Magdalena, Baja California sur, México: un análisis de riesgo e incertidumbre basado en el teorema de Bayes. Tesis de Doctorado. CICIMAR-IPN, 142 p.
- Morison, A. K., S. G. Robertson & D. C. Smith. 1998. An integrated system for production fish aging: image analysis and quality assurance. North American Journal of Fisheries Management, 18(3):587-598.
- Nevaréz-Martínez, M. O., Cisneros-Mata, M. A., Montemayor-López, G., & Santos-Molina, P. 1996. Estructura por edad, y crecimiento de la sardina monterrey (*Sardinops sagax caeruleus*) del Golfo de California, México: Temporada de pesca 1990/91. Ciencia Pesquera, 13:30-36.
- Nevárez-Martínez, M.O. 2000. Variabilidad de la población de sardina Monterrey *Sardinops caeruleus* en el Golfo de California, México. Tesis de Doctorado. CICIMAR-IPN, 147 p.
- Pérez-Quiñonez, C. I. 2014. Discriminación de las especies del género *Opisthonema* Gill, 1861 en el Sur del Golfo de California usando análisis morfométricos y genéticos. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN, 74 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.
- Quintana-Soto, L. 2014. Composición espacio-temporal de tallas y relación peso-longitud del complejo sardina crinuda *O. bulleri*, *O. libertate* y *O. medirastre* capturadas frente a las costas de Sinaloa, Mexico. Tesis licenciatura. FACIMAR-UAS, 52 pp.
- 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.
- Ricker, W. E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Department of the Environment Fisheries and Marine Service. *Bull. Fish. Board. Can.*, 191:382.
- Rodríguez Sánchez, R. 1989. Taxonomía de las especies del genero *Opisthonema* (sardina crinuda) en el Noroeste de México. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. 101 p.
- Rodríguez-Domínguez, G. 1987. Caracterización bioecológica de las tres especies de sardina crinuda (*O. libertate*, *O. medirastre* y *O. bulleri*) del Pacífico mexicana. Tesis de Maestría. CICESE. 139 p.
- Ruiz, A. L., & L. P. Lyle. 1992. Fluctuaciones periódicas de la captura de Sardina crinuda (*Opisthonema spp.*) en el Golfo de California, 1972–1990. *CalCOFI Report*, 33, 124-129.
- SAGARPA. 2012. Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca. 2012. México.
- Samamé, M. 1977. Determinación de la edad y crecimiento de la sardina *Sardinops sagax sagax* (J.). *Bol. Inst. Mar Perú–Callao*, 3(3):95-112.

- Schnute J. 1981. A versatile growth model with statistically stable parameters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38(9):1128-1140.
- Schwartzlose, R. A., J. Alheit, A. Bakun, T. R. Baumgartner, R. Cloete, R. J. M. Crawford, W. J. Fletcher, Y. Green-Ruiz, E. Hagen, T. Kawasaki, D. Lluch-Belda, S. E. Lluch-Cota, A. D. MacCall, Y. Matsuura, M. O. Nevárez-Martínez, R. H. Parrish, C. Roy, R. Serra, K. V. Shust, M. N. Ward & J. Z. Zuzunaga. 1999. Worldwide large-scale fluctuations of sardine and anchovy populations. *African Journal of marine Science*, 21(1):289-347.
- Sparre, P. y S. C. Venema. 1997. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual. FAO Documento Técnico de Pesca, 306, 1(2):420 p.
- StatSoft, Inc. 1995. STATISTICA for windows [Computer program manual]. Tulsa, OK, 1000 p.
- Stevenson, D. & F. Carranza. 1981. Maximum yield estimates for the pacific thread herring, *Opisthonema* spp., fishery in Costa Rica. *Fishery Bulletin*, 79(4):689-703.
- Torres-Ramírez, M. N. 2004. Nueva clave de identificación para la sardina crinuda del género *O.* (Gill 1861) en el Pacífico mexicano. Tesis Licenciatura. FACIMAR-UAS. 19 pp.
- Vallarta-Zarate, J. R. F. 2012. Distribución y abundancia de la sardina crinuda (*O.* spp) en el sur del golfo de California asociada a la variabilidad ambiental durante el período 1996-2010. Tesis de Maestría. UNAM. 133 p.
- Vega-Corrales, I. 2010. Evaluación poblacional del stock explotable del complejo *O.* (pisces: clupeidae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 2:83-94.
- Walpole, R. E. 1982. Introduction to statistics. Editorial Macmillan. Third Edition, 521 p.

Whitehead, P. J. P. & Y. R. Rodríguez-Sánchez. 1995. Clupeidae. Sardinias, sardinetas, machuelos, sábalos, piquitingas. p. 1015-1025. En: Guía FAO para Identificación de Especies para los Fines de la Pesca. Pacífico Centro-Oriental. FAO, Rome, 3:1201-1813.

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

Zhu, L. Li. L. & Z. Liang. 2009. Comparison of six statistical approaches in the selection of appropriate fish growth models. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 27(3):457-467.

Zwolinski, J. P., & D. A. Demer. 2012. A cold oceanographic regime with high exploitation rates in the Northeast Pacific forecasts a collapse of the sardine stock. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(11):4175-4180.