



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**EDAD Y CRECIMIENTO DE JUVENILES DE LA
SARDINA CRINUDA (*Opisthonema libertate*)
DEL GOLFO DE CALIFORNIA**

TESIS

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

PRESENTA

Edgar Francisco Martínez Ochoa

La Paz, BCS., ENERO DE 2019



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 21 del mes de Diciembre del 2018 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:

**"EDAD Y CRECIMIENTO DE JUVENILES DE LA SARDINA CRINUDA
(*Opisthonema libertate*) DEL GOLFO DE CALIFORNIA"**

Presentada por el alumno:

MARTÍNEZ
Apellido paterno

OCHOA
materno

EDGAR FRANCISCO
nombre(s)

Con registro:

A	1	7	0	8	8	7
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

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

LA COMISION REVISORA

Director(a) de Tesis

DR. CASIMIRO QUIÑONEZ VELÁZQUEZ

DR. LEONARDO ANDRÉS AVELTA CÁRDENAS

M. en C. FELIPE NERI MELO BARRERA

DR. XCHEL GABRIEL MORENO SÁNCHEZ

M en C. RICARDO JAVIER SALDIERNA MARTÍNEZ

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO



I.P.N.
CICIMAR
DIRECCIÓN



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

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 09 del mes de Enero del año 2019

El (la) que suscribe BIÓL. EDGAR FRANCISCO MARTÍNEZ OCHOA Alumno (a) del Programa
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro A170887 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

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

DR. CASIMIRO QUIÑONEZ VELÁZQUEZ

y cede los derechos del trabajo titulado:

"EDAD Y CRECIMIENTO DE JUVENILES DE LA SARDINA CRINUDA

(*Ophisthionema libertate*) 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: edgar.martinezchoa@gmail.com - cquinone@ipn.mx

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

BIÓL. EDGAR FRANCISCO MARTÍNEZ OCHOA

Nombre y firma del alumno

AGRADECIMIENTO

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

Al que considero más que mi director de tesis, mi amigo el Dr. Casimiro Quiñonez Velázquez, gracias por todos sus consejos y apoyo brindado a lo largo de mi estancia.

Al Dr. Xchel Gabriel Moreno Sánchez, MC. Ricardo Javier Saldierna Martínez, MC. Felipe Neri Melo Barrera y al Dr. Leonardo Andrés Abitia Cárdenas miembros del comité, por el esfuerzo en tiempo para los comentarios y sugerencias al presente trabajo.

A la Biól. Jessica Dolores Arrona Ortiz con quien compartir esta parte de mi vida académica.

A mi familia por su apoyo incondicional desde la distancia en la travesía de la maestría.

A mis compañeros de CICIMAR con los cuales se generó una buena amistad académica y social, gracias por su apoyo e incondicional compañerismo.

INDICE

	Pagina
LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABLAS	iv
GLOSARIO	v
RESUMEN	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. JUSTIFICACIÓN	5
4. HIPÓTESIS	5
5. OBJETIVO GENERAL	5
Objetivos particulares	6
6. MATERIAL Y MÉTODOS	6
Zona de estudio	6
Muestreo	8
Juveniles	8
Identificación taxonómica	9
Relación peso-longitud	9
Determinación de la edad	11
Descripción del crecimiento	12
Intervalos de confianza	13
Criterio de Akaike	13
Fechas de nacimiento y condiciones ambientales	14
7. RESULTADOS	16
Muestreo e identificación taxonómica	16
Relación peso-longitud	19
Determinación de la edad	20
Descripción del crecimiento	22
Criterio de Akaike	23

	Pagina
Fechas de nacimiento y condiciones ambientales (TSM y Clorofila-a)	27
8. DISCUSIÓN	36
Identificación taxonómica	36
Relación peso-longitud	37
Determinación de la edad	38
Descripción del crecimiento	38
Fechas de nacimiento y condiciones ambientales (TSM y Clorofila-a)	42
9. CONCLUSIONES	45
10. LITERATURA CITADA	46

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Golfo de California. Los puntos rojos indican estaciones positivas durante las prospecciones exploratorias del INAPESCA.	7
Figura 2	Línea blanca discontinua muestra el ángulo de la base de las branquiespinas del primer arco branquial (A-C-E) y la flecha blanca la presencia de espículas (B-D-F). <i>O. bulleri</i> (A-B), <i>O. medirastre</i> (C-D) y <i>O. libertate</i> (E-F).	10
Figura 3	Relación entre el número de branquiespinas ceratobranquiales y la longitud estándar para los juveniles de sardina del género <i>Opisthonema</i> . Área de estudio: zona central del Golfo de California.	17
Figura 4	Relación entre el número de branquiespinas ceratobranquiales y la longitud estándar para los juveniles de <i>O. libertate</i> , <i>O. medirastre</i> y <i>O. bulleri</i> . Área de estudio: zona central del Golfo de California.	18
Figura 5	Estructura de tallas de los juveniles de sardina crinuda <i>O. libertate</i> en la región central del Golfo de California, en junio-julio de 2014, noviembre de 2014-15 y marzo de 2015.	19
Figura 6	Relación peso-longitud de los juveniles de sardina crinuda <i>O. libertate</i> en la zona centro del Golfo de California.	20
Figura 7	Otolito de juvenil de la sardina crinuda <i>O. libertate</i> en condiciones de lectura. Otolito completo (izquierda), acercamiento para observar marcas de crecimiento (derecha).	21
Figura 8	Frecuencia de edad de juveniles de <i>O. libertate</i> por intervalos de 5 días entre los 41 y 226 días de edad, recolectados en el 2014 y 2015 en la zona central del Golfo de California.	22
Figura 9	Modelos de crecimiento de Gompertz, von Bertalanffy y Richards para los datos edad-talla de juveniles de sardina crinuda <i>O. libertate</i> .	24

	Página	
Figura 10	Perfiles de verosimilitud de los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy para los juveniles de sardina crinuda <i>O. libertate</i> . La línea negra es el negativo del logaritmo de la verosimilitud y la línea azul es la probabilidad Chi-cuadrada.	26
Figura 11	Distribución de frecuencias de fechas de nacimiento de juveniles de la sardina crinuda <i>O. libertate</i> muestreados en 2014 y 2015, en la zona central del Golfo de California. El valor en paréntesis indica el número de muestreos correspondiente a la misma fecha.	28
Figura 12	Distribución de frecuencias de fechas de nacimiento de juveniles de la sardina crinuda <i>O. libertate</i> muestreados en 2014 y 2015, en la zona central del Golfo de California. Línea roja representa la temperatura superficial del mar (TSM).	29
Figura 13	Distribución de la frecuencia de fechas de nacimiento de juveniles de la sardina crinuda <i>O. libertate</i> muestreados en 2014 y 2015, en la zona central del Golfo de California. Línea verde representa los valores promedios de la Clorofila-a.	30
Figura 14	Relación entre las tasas de crecimiento y la temperatura superficial del mar para los juveniles de <i>O. libertate</i> capturados en la zona central del Golfo de California en el año 2014. En la parte inferior de la línea roja son juveniles de los picos de supervivencia y la parte superior son juveniles de los meses con baja frecuencias de nacimientos.	32
Figura 15	Relación entre las tasas de crecimiento y la Clorofila-a para los juveniles de <i>O. libertate</i> capturados en la zona central del Golfo de California en el año 2014.	33
Figura 16	Relación entre las tasas de crecimiento y la temperatura superficial del mar para los juveniles de <i>O. libertate</i> capturados en la zona central del Golfo de California en el año 2015.	34

Figura 17 Relación entre las tasas de crecimiento y la Clorofila-a para los juveniles de *O. libertate* capturados en la zona central del Golfo de California en el año 2015.

LISTA DE TABLAS

		Página
Tabla 1	Parámetros de crecimiento por modelo y valores de verosimilitud de los datos edad-talla de los juveniles de la sardina crinuda o. <i>libertate</i> , en la zona centro del Golfo de California.	23
Tabla 2	Valores de AIC, diferencia de Akaike y W_i , para cada modelo aplicado en la descripción del crecimiento de los juveniles de la sardina crinuda o. <i>libertate</i> en la zona centro del Golfo de California.	25
Tabla 3	Pronóstico de tasas de crecimiento absoluto (mm por día) de juveniles de sardina crinuda <i>O. libertate</i> por intervalos de 5 días entre los 0 y 230 días, recolectados en 2014 y 2015 en la zona central del Golfo de California.	41

GLOSARIO

Banda hialina: Banda de crecimiento lento, que permite el paso de la luz cuando se observa al otolito utilizando un estereoscopio.

Banda opaca: Banda de crecimiento rápido, que por su composición densa impide el paso de la luz cuando se observa al otolito utilizando un estereoscopio.

Clase anual: Un grupo de peces de un stock nacido en un mismo año.

Crecimiento: Es el incremento en el tamaño de longitud o peso, durante un periodo o como el incremento en calorías almacenadas en tejidos somáticos y reproductivos.

Crecimiento alométrico: Es cuando el crecimiento en peso y longitud no es proporcional con el tiempo, por lo tanto, si $b > 3$ el crecimiento es alométrico positivo, y será alométrico negativo si $b < 3$.

Crecimiento isométrico: Este tipo de crecimiento se puede definir, cuando el peso y longitud, crecen en la misma proporción con el tiempo. En los peces se ha encontrado que el volumen o masa total del cuerpo es directamente proporcional al cubo de su longitud ($b = 3$).

Criterio de información de Akaike (AIC): Método que mide la aproximación del modelo calculado con los datos reales, seleccionando así el mejor modelo candidato. Permite jerarquizar los modelos, al ordenarlos de forma ascendente, en función de los valores de AIC (el menor valor será el mejor). La premisa de AIC es penalizar la cantidad de parámetros de cada uno de los modelos (criterio basado en la bondad de ajuste del modelo a los datos definidos a través de la función de máxima verosimilitud o suma de cuadrados).

Edad: Medida del tiempo transcurrido desde el nacimiento (en días, meses o años).

Máxima verosimilitud: Criterio estadístico para la estimación de los parámetros en los modelos. El método potencializa al máximo la probabilidad de haber recogido los datos observados, dadas las predicciones del modelo.

Modelo de crecimiento individual: Idea conceptual y simple que trata de describir el proceso del crecimiento real a lo largo de la vida de un organismo.

Otolito: Estructuras del oído interno que desempeñan funciones en los sentidos de orientación y equilibrio, contienen concreciones de calcio que son útiles para identificar especies y determinar la edad.

Otolito cristalino: Otolito total o parcialmente anómalos, compuestos de calcita y no utilizables para determinar la edad.

Pelágicos menores: Peces marinos que forman grandes cardúmenes, tienen una distribución cosmopolita y constituyen los principales recursos pesqueros en todo el mundo.

Reclutas: El nuevo grupo de edad de la población que ingresa al componente explotado de la población por primera vez, o peces jóvenes en crecimiento que ingresan a ese componente explotable.

Ventana de supervivencia: Condiciones bióticas y abióticas que favorecen la sobrevivencia durante las fases tempranas del desarrollo en peces.

RESUMEN

El recurso pesquero denominado sardina crinuda presenta importantes volúmenes de captura. A la fecha, es una de las principales pesquerías en México. El tamaño de la clase anual queda definido durante las fases tempranas del desarrollo de los peces, previo al reclutamiento. Para evaluar estas etapas de la ontogenia se requiere la edad de los juveniles en días. Esta información nos permite estimar las tasas de crecimiento y las fechas de nacimientos; y en consecuencia conocer las condiciones ambientales que promueven altas tasa de crecimiento y supervivencia. Durante 2014 y 2015 se recolectaron en el Golfo de California peces juveniles de pelágicos menores, con la finalidad de obtener indicadores tempranos del reclutamiento. En el presente trabajo, se analizaron las muestras biológicas de la sardina crinuda *Opisthonema libertate*. Se estimó la relación peso-longitud, se determinó la edad utilizando la microestructura de los otolitos, el crecimiento individual fue descrito utilizando un enfoque multimodelo (Gompertz, von Bertalanffy y Richards), y los estimadores de los parámetros se obtuvieron por máxima verosimilitud. Para elegir el mejor modelo se aplicó el criterio de información de Akaike. Se estimaron las fechas de nacimiento y se relacionaron con variables ambientales (TSM y Clorofila-a). Se identificó un crecimiento alométrico ($b=3.4$, $p<0.05$) para los juveniles menores a 100 mm de LE. Se estimó un APE=4.6% entre dos lecturas independientes del número de marcas de crecimiento en los otolitos. Cada marca de crecimiento corresponde a un día de edad, y varió entre 41 y 226 días. Las diferencias de Akaike (<2) identificaron a los modelos de von Bertalanffy y Richards como estadísticamente robustos para describir el crecimiento de los juveniles de *O. libertate*, mientras que el modelo de Gompertz no mostro soporte estadístico. De acuerdo con el criterio de Akaike, el modelo para describir la tendencia de los datos edad-talla fue von Bertalanffy ($L_{\infty} = 114.6$, $k = 0.0086$ y $t_0 = -0.198$). Las distribuciones de fechas de nacimiento mostraron que los picos de supervivencia ocurrieron en marzo y mayo de 2014 entre una TSM de 19° a 22°C y un máximo de Clorofila-a (19.74 mg/m³). Durante 2015, la supervivencia fue comparativamente menor y los sobrevivientes nacieron principalmente en mayo, junio y julio con TSM de 22° a 29°C y valores bajos de Clorofila-a (7.27–0.70 mg/m³). La identificación de condiciones ambientales que promueven adecuadas tasas de crecimiento y supervivencia durante las etapas tempranas del desarrollo de los peces

permitirá identificar las potenciales ventanas ambientales que se asocien con adecuados índices de reclutamiento.

ABSTRACT

The fishery resource called thread herring presents important volumes of capture. To date, it is one of the main fisheries in México. The size of the annual class is defined during the early stages of fish development, prior to recruitment. To evaluate these stages of ontogeny the age of juveniles in days is required. This information allows us to estimate growth rates and hatching-dates; and consequently, know the environmental conditions that promote high growth and survival rate. During 2014 and 2015 juvenile pelagic fish were sampled in the Gulf of California, in order to obtain early recruitment indicators. In the present work, the biological samples of the sardine *Opisthonema libertate* were analyzed. The weight-length relationship was estimated, the age was determined using the otolith microstructure, the individual growth was described using a multimodal approach (Gompertz, von Bertalanffy and Richards), and the estimators of the parameters were obtained by maximum likelihood. An allometric growth was identified ($b=3.4$, $p<0.05$) for juveniles less than 100 mm of SL. An value of $IAPe=4.6\%$ was estimated between two independent readings of the number of growth marks in the otoliths. Each growth mark corresponds to one day of age and varied between 41 and 226 days. The Akaike differences (<2) identified the von Bertalanffy and Richards models as statistically robust to describe the growth of juveniles of *O. libertate*, whereas the Gompertz model did not show statistical support. According to Akaike's criterion, the model to describe the trend of age-length data was von Bertalanffy ($L_{\infty}=114.6$, $k=0.0086$ and $t_0=-0.198$). Hatch-date distributions showed that survival peaks occurred in March and May 2014 between an SST of 19° to 22°C and a maximum of chlorophyll-a (19.74 mg/m^3). During 2015, the survival was comparatively lower, and the survivors were born mainly in May, June and July with SST of 22° to 29°C and low values of Chlorophyll-a ($7.27\text{-}0.70\text{ mg/m}^3$). The identification of environmental conditions that promote adequate rates of growth and survival during the early stages of fish development will allow the identification of potential environmental windows that are associated with adequate recruitment indices.

1. INTRODUCCIÓN

La sardina crinuda *Opisthonema* spp., incluye a cinco especies que se distribuyen en aguas tropicales en ambas costas del continente americano (Berry & Barrett, 1963). *Opisthonema oglinum* se localiza en la costa occidental del Océano Atlántico, *O. berlangai* en el archipiélago de las Galápagos, y en la plataforma continental del Océano Pacífico, desde el norte de Perú hasta la costa occidental de Baja California Sur, se distribuyen *O. bulleri*, *O. libertate* y *O. medirastre* (García Gómez & Molina, 1986; Whitehead & Rodríguez Sánchez, 1995). Los cambios espacio-temporal en la composición específica de la captura de este recurso en el Golfo de California, hacen suponer diferencias en la distribución de las especies durante la temporada de pesca. El máximo aporte a la captura proviene de la especie *O. libertate* (Ruiz & Lyle, 1992), su importancia representa entre 50% y 75% de las capturas del complejo de sardina crinuda en el sur del Golfo de California (Jacob-Cervantes & Aguirre-Villaseñor, 2014). La captura promedio de pelágicos menores en el Golfo de California es de cerca de 350,000 t anuales y el complejo crinuda representa entre el 20% en la zona norte y hasta el 75% en la zona sur del golfo (SAGARPA, 2012). A pesar de su importancia para la pesca, e indudablemente para las interacciones tróficas en el ecosistema, el conocimiento de su biología es más escaso que el de otras especies en la pesquería. El conocimiento sobre la edad y el crecimiento es básico para evaluar el efecto de la pesca en la dinámica poblacional de las especies explotadas. Investigaciones previas sobre estos aspectos biológicos son pocos y se reducen a la etapa adulta (García Gómez & Molina, 1986; Gallardo Cabello *et al.*, 1993; Carmona & Alexandres, 1994; Ruiz-Domínguez, 2015); y ninguno durante la fase temprana del desarrollo.

Al respecto de la dinámica durante las primeras etapas de vida de los peces, Shepherd & Cushing (1980) mencionan que la resiliencia de las poblaciones de peces que soportan una fuerte explotación por la pesca es consecuencia de la denso-dependencia del reclutamiento, y este a la disponibilidad de alimento durante las fases tempranas de la vida de los peces. Esto afecta la tasa de crecimiento y la mortalidad por depredación. Por ello, conocer el mecanismo de control dependiente de la densidad del reclutamiento, además, de las grandes variaciones ambientales

que lo acompañan son clave para comprender los cambios de abundancia de las poblaciones de peces.

La mayoría de los estudios realizados en peces pelágicos pequeños en la costa occidental de México, hacen referencia a la sardina Monterrey *Sardinops sagax*, posiblemente porque es la especie más importante de este recurso pesquero y por su amplia distribución, desde Alaska hasta el Golfo de California. Para determinar la edad en peces se han utilizado diferentes estructuras, entre estas los otolitos han demostrado una estrecha relación con la edad y el crecimiento somático del pez (Quiñonez-Velázquez *et al.*, 2000); las marcas de crecimiento que se forman en la superficie de los otolitos se relacionan con la edad y la distancia entre ellas a la tasa de crecimiento (Carmona & Alexandres, 1994, Ruíz-Domínguez, 2015); otras estructuras como escamas han sido también usadas con la misma finalidad (García Gómez & Molina, 1986; Gallardo Cabello *et al.*, 1993). Sin embargo, como se menciona líneas arriba son pocos los trabajos realizados al respecto con especies de sardina crinuda, objeto del presente planteamiento de tesis. Los aspectos de edad y crecimiento son base para comprender la biología de las especies sujetas a explotación. Por tal motivo se pretende aportar información que sea de utilidad en la mejor comprensión de la biología de la sardina crinuda *Opisthonema libertate*.

2. ANTECEDENTES

La pesca de peces pelágicos pequeños es una actividad de gran importancia en el noroeste de México, el INAPESCA a través de los Centros Regionales de Investigación Pesquera, realiza estudios biológicos pesqueros, así como evaluaciones permanentes, que permiten conocer con mayor precisión el estado de estos recursos; para actuar ante una potencial disminución en la abundancia de sus poblaciones. Estas investigaciones se enfocan principalmente a la fase adulta de los organismos a través de los rendimientos de la pesquería y características biológicas de los peces adultos. Además, el INAPESCA realiza cruceros oceanográficos para tener indicadores tempranos sobre el reclutamiento del grupo de edad-0. Estos indicadores se basan en la abundancia de juveniles; se ha establecido que el tamaño de las clases anuales queda definido durante la fase juvenil, previo al reclutamiento a la explotación (Fortier & Quiñonez-Velázquez, 1988). De acuerdo con la hipótesis de la relación crecimiento-mortalidad planteada por Shepherd & Cushing (1980), se requiere conocer, además del número de juveniles, las condiciones ambientales (físicas y biológicas) durante las etapas tempranas del desarrollo que promuevan fuertes reclutamientos. Para esto se requiere conocer la edad de los juveniles en días y estimar las fechas de nacimiento.

A lo largo del Golfo de California se distribuyen las tres especies del género *Opisthonema*. Berry & Barrett (1963) establecieron los criterios para identificar específicamente a las sardinias crinuda mediante el número de branquiespinas del segmento ceratobranquial del primero arco branquial, estructuras que aumentan en número con el crecimiento somático hasta una talla de 120 mm de longitud estándar (LE) cuando el número de branquiespinas se estabiliza, encontrando en *O. bulleri* de 28 a 35 branquiespinas ceratobranquiales, para *O. medirastre* de 50 a 68 y finalmente con un mayor número de branquiespinas a *O. libertate* que contiene de 71 a 107. Se ha reportado gran utilidad de estas claves para las tres especies por algunos autores (Rodríguez-Domínguez, 1987; Hedgecock & López-Lemus, 1988; Carmona & Alexandres, 1994; Matus Nivon, 1994; Jacob-Cervantes & Aguirre-Villaseñor, 2014; Ruiz-Domínguez, 2015).

Frente a la dificultad de la identificación de las tres especies a tallas menores de 120 mm LE, durante la fase juvenil. Torres-Ramírez (2004), propone otras características para la identificación de las especies, la presencia- ausencia de espículas en las branquiespinas, la forma de la base de las branquiespinas (recta u oblicua) y la coloración del hueso ceratobranquial que es diferente para cada especie, siendo para *O. bulleri* de un color rojo oscuro, para *O. medirastre* un color menor rojo y para *O. libertate* un color casi blanco.

Pérez-Quiñonez (2014) confirma la diferencia de las tres especies a partir de distancias genéticas entre secuencias de ADN mitocondrial, validando el uso de las claves merísticas y morfológicas para la identificación de las especies de sardina crinuda.

Al respecto de la biología de las especies del género *Opisthonema*, Carmona & Alexandres (1994) mencionaron, en su momento, que la información que se tenía era escasa, además, de que la identificación de marcas o bandas de crecimiento anuales les fue difícil de interpretar. Eso, después de 20 años no ha cambiado significativamente. Recientemente, Ruiz-Domínguez (2015), utiliza tres estructuras duras, otolitos, escamas y *cleitrum*, para determinar la edad usando el número de marcas de crecimiento en la sardina crinuda *O. libertate*, evaluó la precisión y proporcionalidad del crecimiento, resultando los otolitos como la estructura más adecuada para estimar la edad de *O. libertate*.

Martínez-Pecero (2003) demuestra la naturaleza diaria de los micro incrementos en los otolitos de *O. libertate*. Valida el patrón diario de formación de las marcas de crecimiento de larvas de la sardina crinuda. La primera marca de crecimiento coincidió con la absorción del vitelo, este momento representa un periodo crítico relacionado con el cambio de alimentación.

3. JUSTIFICACIÓN

El recurso crinuda (*Opisthonema libertate*, *O. medirastre* y *O. bulleri*) dominado por *O. libertate*, forma parte de una de las pesquerías más importantes dentro de los pelágicos menores en el noroeste de México. A pesar de su importancia, la escasa información que existe sobre el recurso se enfoca principalmente a la fase adulta de los organismos, a través de los rendimientos de la pesquería y características biológicas de los peces adultos.

A través de una pesca dirigida, para obtener información precisa sobre el reclutamiento, conociendo la edad en días y fechas de captura es posible estimar la fecha de nacimiento de cada organismo, y esta información podría ser usada para identificar periodos de alta supervivencia de los juveniles de la sardina crinuda.

Además, indicadores tempranos del estado del recurso sobre la abundancia y tasas de crecimiento, son parte de la información biológica requerida para una adecuada regulación de la explotación pesquera, con la finalidad de mantener en buen estado los recursos renovables para generar una adecuada administración.

4. HIPÓTESIS

Mediante las características merísticas y morfológicas del primer arco branquial de los juveniles de sardina crinuda recolectados, en el Golfo de California, será posible discriminar a *Opisthonema libertate*, además, a partir de las marcas de crecimiento en los otolitos será posible determinar la edad en días y estimar los parámetros de crecimiento.

5. OBJETIVO GENERAL

Determinar la edad y describir el crecimiento de juveniles de sardina crinuda (*Opisthonema libertate*) en el Golfo de California.

Objetivos particulares

Evaluar el potencial de la presencia-ausencia de espículas en las branquiespinas, la forma de la base de las branquiespinas y la coloración del hueso ceratobranquial en la identificación taxonómica de juveniles de sardina crinuda.

Determinar la edad de juveniles de *Opisthonema libertate* mediante el conteo de las marcas diarias de crecimiento en los otolitos.

Describir la relación entre la edad y la talla de los juveniles de *Opisthonema libertate* utilizando el modelo de Gompertz, Richards y von Bertalanffy e identificar el más adecuado.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

Zona de estudio

El área de estudio comprende la parte central del Golfo de California, zona donde el INAPESCA prospecta dos veces al año (generalmente en invierno y verano) a través cruceros oceanográficos utilizando los Buques BIP IV, XI, y Selecta V. Particularmente, para este estudio, las estaciones positivas durante los cruceros de 2014 y 2015 están indicadas en la figura 1. Las posiciones geográficas son: Cabo San Miguel (28° N y 112° W), El piano (29° N y 112°W) Guaymas (27° N y 110° W), Bahía Kino (28° N y 111° W), Bahía de las Animas (25° N y 110 W), y Bahía de los Ángeles (28° N y 113° W).

El Golfo de California se ha dividido en varias zonas físicas y biogeográficas, características dadas por la dinámica de cada zona (sur, centro y norte). El área de estudio se ubica en la región central del Golfo de California. La dinámica en esta regiones debida a las corrientes de mareas, vientos, surgencias y al calentamiento solar, es posible observar corrientes en forma de chorros costeros, remolinos y filamentos térmicos por períodos de días; las masas de agua de la parte sur tienen características similares a las del Pacífico adyacente y son modificadas por procesos de evaporación, estas son de tres tipos a) agua fría de baja salinidad proveniente de la corriente de California, b) agua templada y muy salina del Golfo

de California y c) agua cálida de salinidad intermedia procedente del Pacífico tropical oriental (Aguirre-Gómez, 2002).

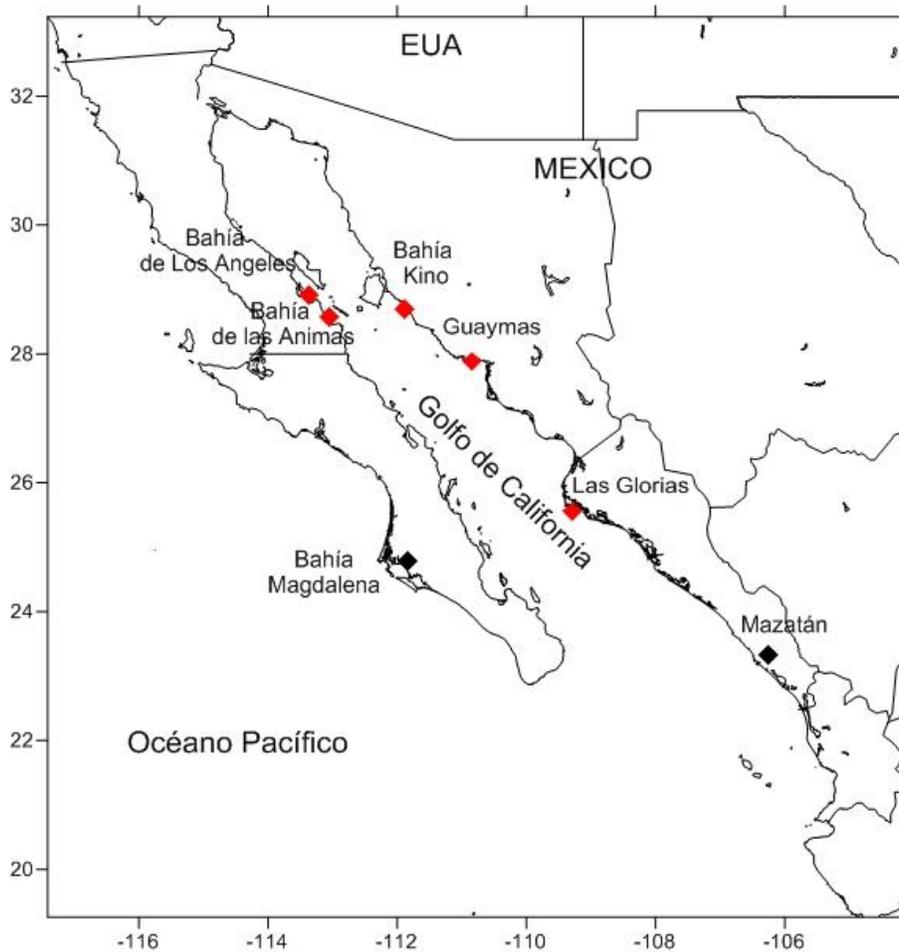


Figura 1. Golfo de California. Los puntos rojos indican estaciones positivas durante las prospecciones exploratorias del INAPESCA.

También, la distribución promedio de Clorofila-a en el Golfo de California es distinta en las tres zonas: oligotrófica (boca del golfo), mesotrófica (parte central) y eutrófica (región costera y parte norte del golfo); la variabilidad de la Clorofila-a en el Golfo de California producida por los eventos El Niño para un año en particular, refleja un incremento de la concentración de la Clorofila-a principalmente en los meses de febrero y marzo, lo contrario sucede hacia condiciones frías de La Niña donde se

presenta un disminución de la biomasa fitoplanctónica (Espinosa-Carreón & Valdez-Holguín, 2007).

La oscilación de la temperatura superficial es mayor al norte que en la boca y su variación es debida principalmente a la variación anual, las temperaturas más frías se registran en los meses de enero, febrero y marzo, y las más cálidas, en agosto y septiembre. En los meses de invierno, la región norte permanece más frías en comparación con el resto de las regiones del Golfo (centro y sur), y en los meses de verano la región central y sur son más cálidas (Soto-Mardones *et al.*, 1999).

Muestreo

Los ejemplares de sardina crinuda (*Opisthonema* spp.) se capturaron durante prospecciones exploratorias del INAPESCA, en junio-julio de 2014, noviembre de 2014-15 y marzo de 2015. Para la captura de peces juveniles y adultos se utilizó una red rectangular, la cual fue arrastrada horizontalmente aproximadamente a 10 m bajo la superficie del mar a una velocidad de 3-4 kn durante 30 min. Esta red tiene una boca de 10 m² y 30 m de largo con un copo de 2 m de largo y 1.87 cm de luz de malla. Los ejemplares se preservaron en frascos de plástico usando etanol al 96% para su conservación y posterior análisis en laboratorio.

A cada uno de los ejemplares se les midió la longitud total (LT), furcal (LF) y estándar (LE) a una precisión ± 1 mm y se registró el peso total (PT ± 1 g). Se retiraron los otolitos *sagitta*, estos fueron sumergidos por 24 h en agua corriente y se retiró cualquier resto de materia orgánica. Los otolitos se almacenaron en seco en bolsas plásticas hasta su análisis.

Juveniles

Del total de ejemplares recolectados de *Opisthonema* spp., para el análisis se incluyeron los juveniles iguales o menores a 100 mm LE. Ruiz-Domínguez (2015), comenta que a partir de 110 mm LE, es posible asignar el sexo a los organismos.

Identificación taxonómica

De los individuos recolectados de sardina crinuda *Opisthonema* spp., se extrajo el primer arco branquial, se limpió con una pizeta con agua corriente y un pincel para quitar toda materia orgánica y se dejó secar a temperatura ambiente durante 24 h. Esta estructura fue almacenada en seco en la bolsa plástica de sus correspondientes otolitos, hasta su análisis. La identificación taxonómica se realizó contando el número de branquiespinas en el hueso ceratobranquial utilizando la clave propuestas por Berry & Barret (1963), y se complementó con la observación de la presencia-ausencia de espículas en el cuerpo de las branquiespinas e inclinación de la base de las branquiespinas con respecto al hueso ceratobranquial (Fig. 2); en el caso de *O. libertate* y *O. medirastre* muestran bases rectas de las branquiespinas ceratobranquiales y para los ejemplares de *O. bulleri* su base es oblicua, esta característica separa a *O. bulleri* de las otras dos especies, además, de que sus branquiespinas presentan abundantes espículas; para discernir entre *O. libertate* y *O. medirastre*, la primera especie no muestra espículas en las branquiespinas y la segunda especie presenta una abundancia moderada de espículas (Torres Ramírez, 2004). Para estas características particulares se trabajó con la estructura en físico, usando un estereoscopio Olympus SZX-TR30 con luz reflejada sobre un fondo negro.

Relación peso-longitud

Para describir la relación entre el peso y la longitud de la sardina crinuda *O. libertate*, se utilizó una ecuación potencial (Sparre & Venema, 1997) (Ecuación 1), y se determinó el tipo de crecimiento, usando una prueba de *t* para probar la hipótesis de alometría, propuesta por Pauly & Munro (1984) (Ecuación 2): si el valor de *b* (pendiente) es significativamente distinto de 3, entonces la especie presentará alometría en el crecimiento.

$$P = a * L^b \quad (1)$$

Donde *P* es el peso del individuo (g); *L* la longitud estándar del organismo (mm) y; *a* y *b* son constantes, estimadas por análisis de regresión lineal. Para estimar los

coeficientes a y b se aplicó una transformación logarítmica a los datos de LE y PT, se obtuvieron los coeficientes del modelo.

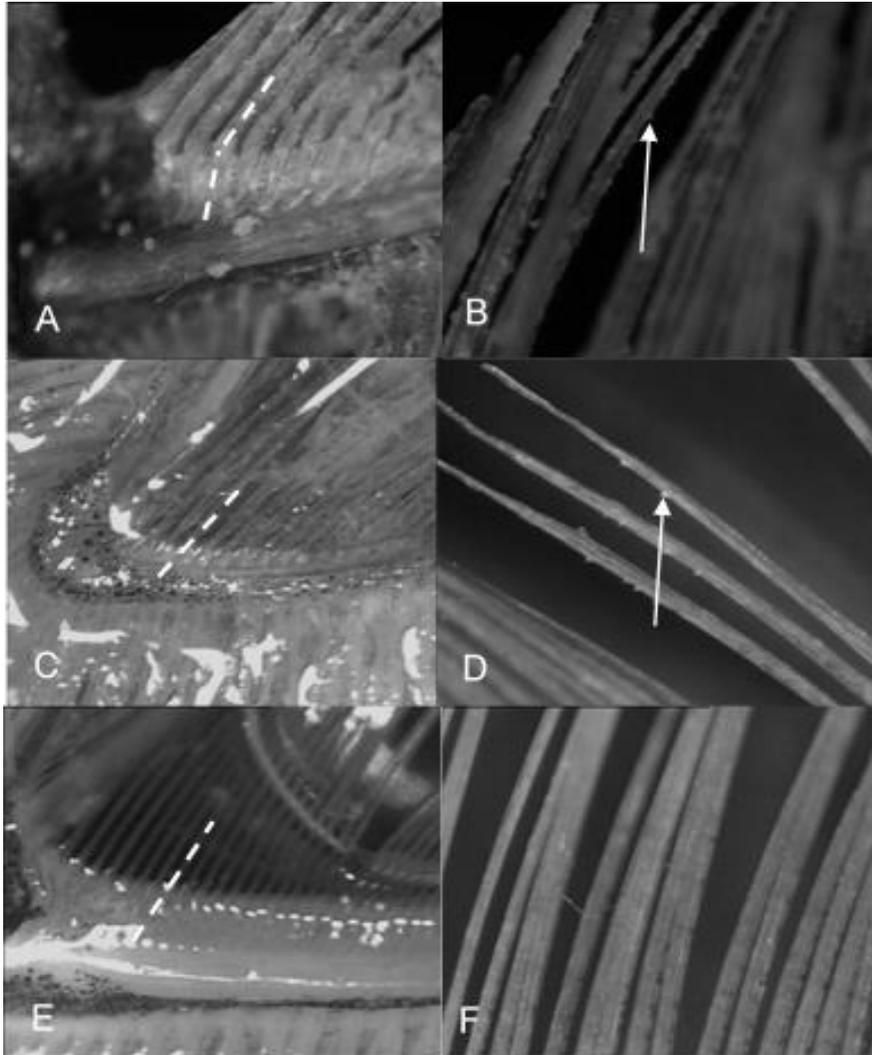


Figura 2. Línea blanca discontinua muestra el ángulo de la base de las branquiespinas del primer arco branquial (A-C-E) y la flecha blanca la presencia de espículas (B-D-F). *O. bulleri* (A-B), *O. medirastre* (C-D) y *O. libertate* (E-F).

La hipótesis de isometría ($b=3$), y se evaluó usando la prueba t-student

$$\hat{t} = \left(\frac{Slog(LE)}{Slog(P)} \right) \left(\frac{|\hat{b}-3|}{\sqrt{1-r^2}} \right) (\sqrt{n-2}) \quad (2)$$

Donde $S_{log (LE)}$ es la desviación estándar del logaritmo de la longitud estándar y $S_{log (P)}$ es la desviación estándar del logaritmo del peso total; \hat{b} es el parámetro obtenido en la ecuación 1; r^2 es el coeficiente de determinación obtenido en la ecuación 1; n es el número total de datos y $n-2$ son los grados de libertad.

Determinación de la edad

Para determinar la edad, el otolito (izquierdo o derecho) se montó en un portaobjeto usando pegamento instantáneo y se dejó secar durante 24 h a temperatura ambiente. El otolito se lijo en seco en el plano sagital hasta alcanzar el núcleo usando diferentes lijas de grano fino (1500c luego 1200c), después, se pulió con lijas de menor grosor (30 micras a 12 micras) para clarificar las marcas de crecimiento. El proceso de lijado y pulido requirió constante observación al otolito usando un microscopio con un aumento de 40x (Olympus CH30) con luz transmitida, tratando de no dañar las marcas de crecimiento.

El conteo de las marcas diarias de crecimiento se realizó por dos lectores de manera independiente (Campana & Thorrold, 2001). Cada marca se definió por una banda opaca y una banda hialina, las cuales lucen oscura y clara respectivamente al observarse bajo luz transmitida. Una vez obtenidas las lecturas de marcas diarias de crecimiento por ambos lectores, se evaluó la precisión por lector y entre lectores utilizando el índice de Porcentaje Promedio de Error (APE) propuesto por Beamish & Fournier (1981) (Ecuación 3).

$$APE_j = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left[\frac{1}{R} \frac{\sum_{i=1}^R (X_{ij} - X_j)}{X_j} \right] * 100 \quad (3)$$

Donde N es el número de organismo a los que se les determinó la edad, R es el número de lecturas por estructura, X_{ij} es la i -ésima lectura de la j -ésima estructura, y X_j es el promedio del número de marcas de crecimiento para la j -ésima estructura. Valores inferiores a 10% se consideran adecuados (Morison *et al.*, 1998).

La periodicidad de formación de las marcas diarias de crecimiento observadas para asignar una unidad de tiempo fue validada por Martínez-Pecero (2003), el cual estimó que *O. libertate* presenta una marca regular promedio por día.

Descripción del crecimiento

Para describir el crecimiento individual durante la fase juvenil de la sardina crinuda *O. libertate* se emplearon tres modelos: Gompertz, Richards y von Bertalanffy.

El modelo de Gompertz ha sido el más utilizado para describir el crecimiento durante las etapas tempranas del desarrollo en peces (Stevenson & Campana, 1992).

Se utilizará la siguiente formulación del modelo, de acuerdo con Ricker (1979) (Ecuación 4):

$$L_t = L_\infty \exp [-k \exp (-at_0)] \quad (4)$$

Donde: L_∞ corresponde es la longitud asintótica, a es la tasa instantánea de crecimiento a la edad t_0 , t_0 es el punto de inflexión de la curva y corresponde a la edad a la cual la tasa absoluta de crecimiento inicia a declinar, y k es un parámetro adimensional. L_t es la longitud a la edad t .

Modelo de Richards (Ecuación 5):

$$L_t = L_\infty (1 - \exp^{-k(1-m)(t-t_0)})^{1/(1-m)} \quad (5)$$

Donde: L_∞ es la longitud asintótica, k es la tasa de crecimiento al punto de inflexión, t_0 es la edad al punto de inflexión, m es el parámetro de ajuste de la curva, y t es la edad menor de los datos: L_t es la longitud a la edad t .

Modelo de von Bertalanffy (Ecuación 6):

$$L_t = L_\infty (1 - \exp^{-k(t-t_0)}) \quad (6)$$

Donde: L_∞ es la longitud asintótica, k es el constante de crecimiento, t es la edad en días y t_0 es el parámetro de ajuste (edad hipotética cuando la longitud del pez es cero): L_t es la longitud a la edad t .

La estimación de los parámetros (θ) de los modelos se ajustaron minimizando el negativo del logaritmo de verosimilitud con la función SOLVER en EXCEL 2016, con el algoritmo de búsqueda directa de Newton (Ecuación 7).

$$-\ln\left(\frac{\theta}{\text{data}}\right) = -\sum \left[\frac{1}{2} \ln(2\pi) \right] - \left[\frac{1}{2} \ln(\sigma^2) \right] - \left(\frac{\ln LE_0 - \ln LE_e}{2\sigma^2} \right) \quad (7)$$

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.

Intervalos de confianza

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) (Ecuación 8).

$$IC = 2 \left[L \left(\frac{Y}{P} \right) - L \left(\frac{y}{p_{est}} \right) \right] \leq \chi_{df^2, 1-\alpha}^2 \quad (8)$$

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

Criterio de Akaike

Para elegir el mejor modelo que describa el crecimiento de los juveniles de crinuda *O. libertate*, dado los datos, se utilizó el criterio de información de Akaike (AIC) (Ecuación 9):

$$AIC = LL + 2k \quad (9)$$

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 se seleccionó a partir del valor más bajo de AIC_{min} (Burnham & Anderson, 2004). Las diferencias de AIC fueron obtenidas para cada uno de los modelos (Ecuación 10):

$$\Delta_i = AIC_i - AIC_{min} \quad (10)$$

Los modelos con un $\Delta_i < 2$ son estadísticamente viables para estimar la variable de respuesta dado el conjunto de datos (Burnham & Anderson, 2002).

Para estimar la plausibilidad (veracidad) de cada modelo, dado los datos, se calculó el peso de Akaike (w_i) (Ecuación 11):

$$w_i = \frac{\exp(-0.5\Delta_i)}{\sum_{k=1}^3 \exp(-0.5\Delta_k)} \quad (11)$$

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

De acuerdo con el enfoque multimodelo, se calculó el valor promedio de la longitud asintótica ($\overline{L_\infty}$). La $\overline{L_\infty}$ 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) (Ecuación 12)

$$\overline{L_\infty} = \sum_{i=1}^3 w_i^* \overline{L_{\infty,i}} \dots\dots\dots(12)$$

Fechas de nacimiento y condiciones ambientales

Las fechas de nacimiento de los juveniles de *O. libertate* se obtuvieron restando la edad asignada de cada pez a la fecha de captura (Campana & Jones, 1992). Las fechas de nacimiento, se agruparon en intervalos de 7 a 8 días por mes (enero a diciembre) del año correspondiente, y se obtuvieron histogramas generados por la distribución de frecuencia absoluta (número de juveniles) por intervalo.

De las condiciones ambientales se consideró la temperatura superficial del mar (TSM) y la concentración de Clorofila-a, correspondientes a las fechas de nacimiento. El valor promedio por intervalo de 7 a 8 días por mes (enero a diciembre) de TSM y Clorofila-a se obtuvieron de la plataforma de internet de la NOAA (<https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/index.html>) del conjunto de datos de Global SST & Sea Ice Analysis, L4 OSTIA, UK Met Office, Global, 0.05°, Daily, 2013-present, y Chlorophyll-a, Aqua MODIS, NPP, 0.025°, Pacific Ocean, 2006-present, EXPERIMENTAL (1 Day Composite), respectivamente.

Se estimó el coeficiente de correlación de Spearman para explorar la relación entre la distribución de las fechas de nacimiento y los valores de las condiciones ambientales (TSM y Clorofila-a). También, se relacionaron las condiciones ambientales con el crecimiento. Las tasas de crecimiento se obtuvieron dividiendo

la talla (LE) a la edad asignada para cada organismo y se promediaron para cada intervalo establecido de las fechas de nacimiento.

7. RESULTADOS

Muestreo e identificación taxonómica

Con base en los criterios de identificación taxonómica propuestos por Berry & Barret (1963) y en particular con los criterios propuestos por Torres-Ramírez (2004), fue posible identificar hasta especie a los juveniles de sardina crinuda. Como resultados de los muestreos en la zona central del Golfo de California, se procesaron un total de 387 juveniles de sardina del género *Opisthonema*.

Del total, 338 fueron *O. libertate*, 33 *O. medirastre* y 16 *O. bulleri*. El número de branquiespinas ceratobranquial separa las tres especies simpátricas y es el criterio preferencial para la diferenciación interespecífica, sin embargo, existe un traslapo en el número de branquiespinas para especímenes menores de 120 mm (Berry & Barret, 1963), por lo que hace difícil discernir entre los juveniles de las tres especies de sardina crinuda (Fig. 3).

Las características de la base de las branquiespinas y la presencia o ausencia de espículas son caracteres fáciles de observar (Torres-Ramírez, 2004), ayudando a la identificación de organismos de sardina crinuda con tallas menores de 100 mm LE (Fig. 4). El mayor traslapo respecto al número de branquiespinas resulta entre *O. libertate* y *O. medirastre* hasta aproximadamente los 70 mm de LE; para *O. bulleri* el número de branquiespinas prácticamente varió poco desde los 28 mm hasta los 89 mm LE.

Para los ejemplares de *O. libertate* la talla varió entre 37 hasta 100 mm (Fig. 5). El promedio de la talla (LE) y el peso (PT) fue de 71.63 ± 16.55 mm y 6.15 ± 4.29 g, respectivamente.

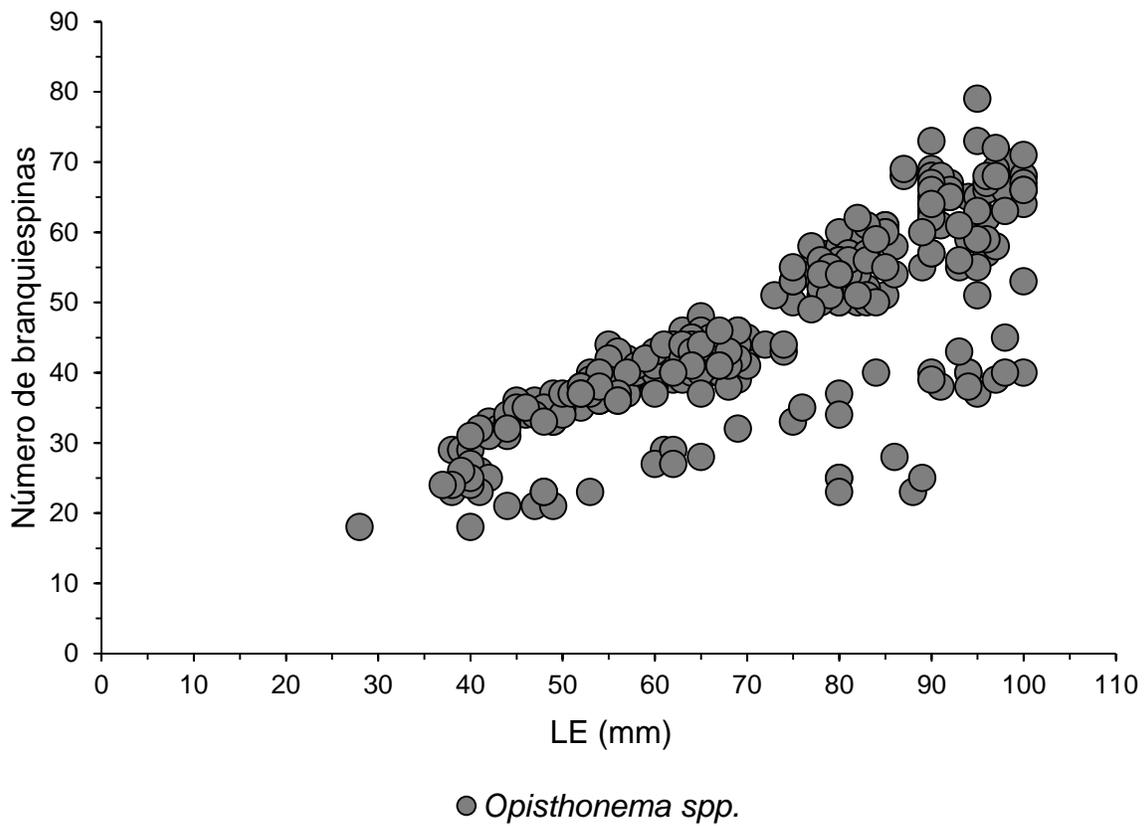


Figura 3. Relación entre el número de branquiespinas ceratobranquiales y la longitud estándar para los juveniles de sardina del género *Opisthonema*. Área de estudio: zona central del Golfo de California.

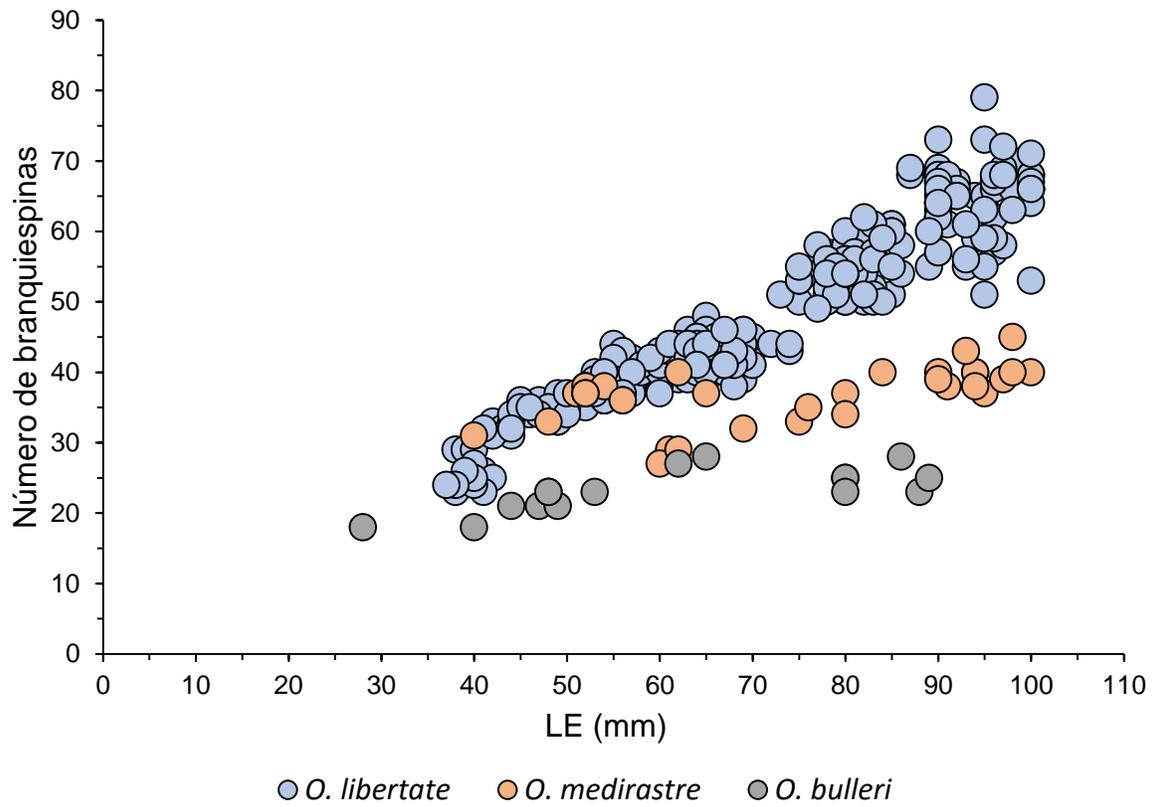


Figura 4. Relación entre el número de branquiespinas ceratobranquiales y la longitud estándar para los juveniles de *O. libertate*, *O. medirastre* y *O. bulleri*. Área de estudio: zona central del Golfo de California.

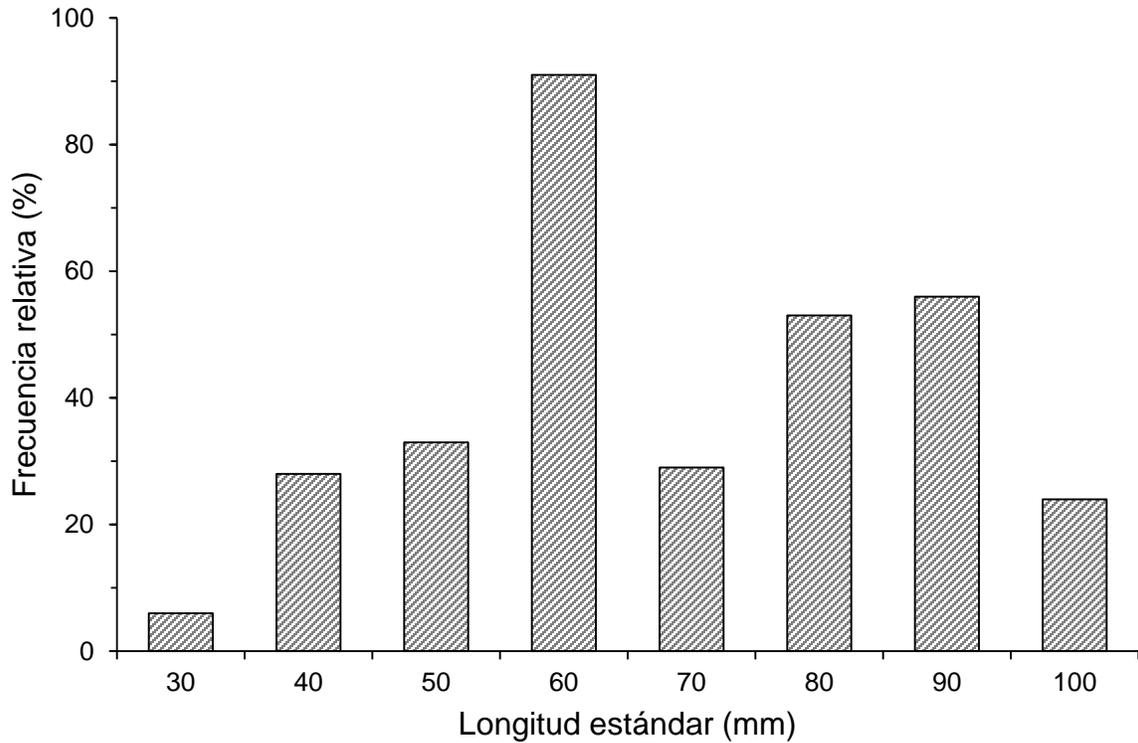


Figura 5. Estructura de tallas de los juveniles de sardina crinuda *O. libertate* en la región central del Golfo de California, en junio-julio de 2014, noviembre de 2014-15 y marzo de 2015.

Relación peso-longitud

Se estimaron los coeficientes de la relación peso-longitud (PT-LE), el valor obtenido de la pendiente fue $b=3.45$ (Fig. 6), siendo diferente significativamente del valor teórico de isometría $b=3$ ($t=11.88$, $p<0.05$, $n=338$), por lo que los juveniles de la sardina crinuda *O. libertate* analizados presentan un crecimiento de tipo alométrico.

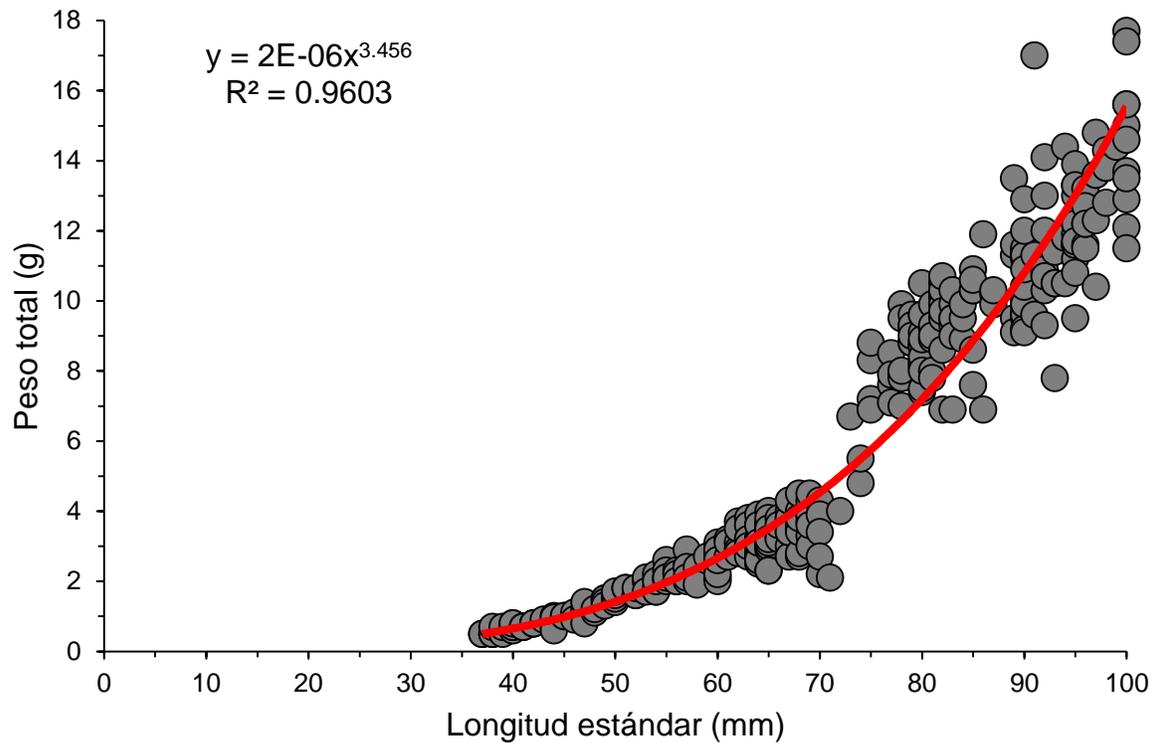


Figura 6. Relación peso-longitud de los juveniles de sardina crinuda *O. libertate* en la zona centro del Golfo de California.

Determinación de la edad

Se extrajeron los otolitos de 250 juveniles de sardina crinuda *O. libertate*, los cuales mediante el previo procesamiento (lijado y pulido) evidenciaron las marcas de crecimiento, presentándose bandas opacas (oscuras) y bandas hialinas (claras) (Fig. 7).

A pesar, que en algunos otolitos se presentó dificultad para evidenciar las marcas de crecimiento, fue posible realizar el conteo por ambos lectores de las marcas de crecimiento, asignando la edad a todos los ejemplares.

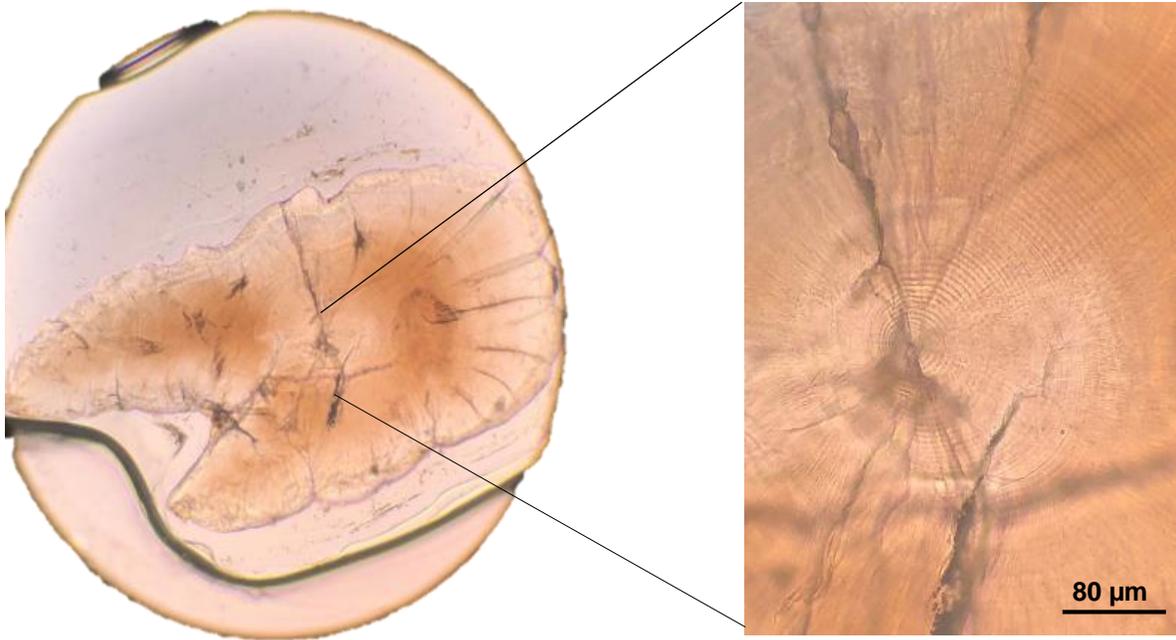


Figura 7. Otolito de juvenil de la sardina crinuda *O. libertate* en condiciones de lectura. Otolito completo (izquierda), acercamiento para observar marcas de crecimiento (derecha).

Al evaluar la precisión de las lecturas de las marcas de crecimiento por lector y entre lectores, estas fueron adecuadas en ambos casos, no superando el 10% (Morison *et al.*, 1998), pudiendo utilizar la asignación de la edad de alguno de los dos lectores, o bien, el promedio de ambos. Los valores del APE fueron: lector 1 = 3.67%, lector 2 = 2.07% y el promedio de ambos lectores = 4.60%. Por tanto, la edad fue asignada con el promedio de las lecturas de ambos lectores.

La formación de las marcas diarias de crecimiento en los otolitos identifica muchos grupos de edad en días, por el gran número de marcas de crecimiento presentes en cada otolito. Se obtuvieron edades de 41 días hasta los 226 días, estas de manera no consecutivas (Fig. 8).

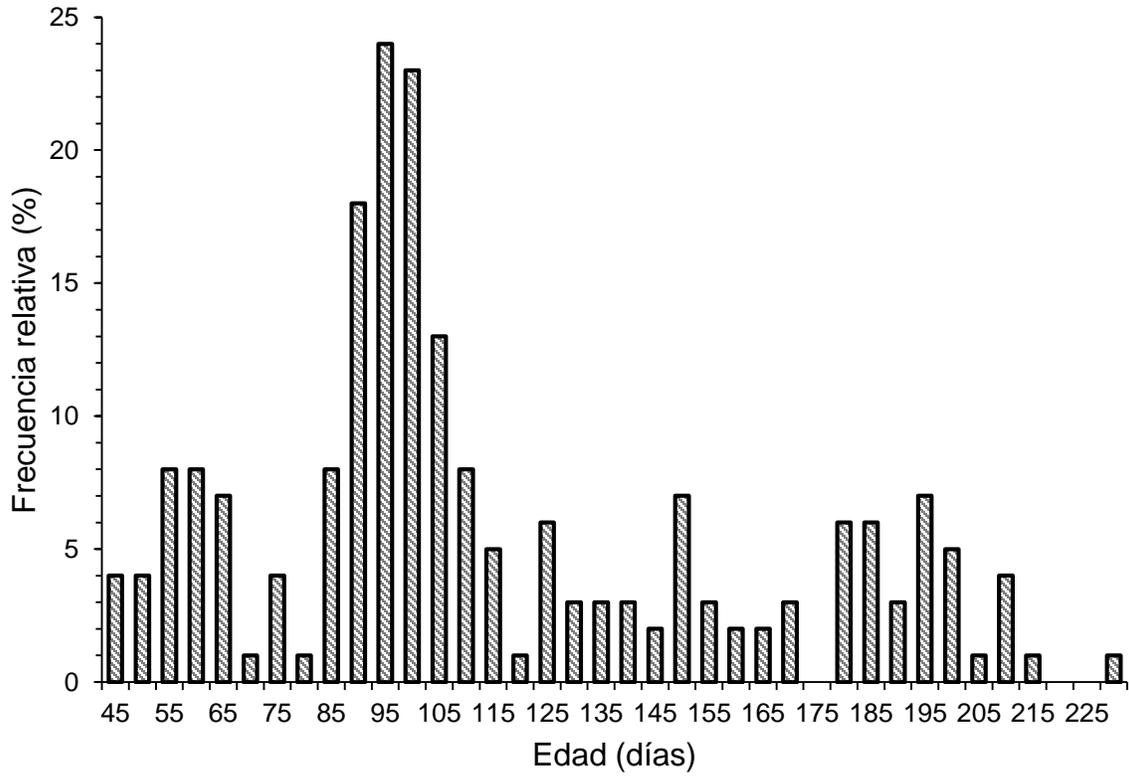


Figura 8. Frecuencia de edad de juveniles de *O. libertate* por intervalos de 5 días entre los 41 y 226 días de edad, recolectados en el 2014 y 2015 en la zona central del Golfo de California.

Descripción del crecimiento

Para describir el crecimiento de la sardina crinuda *O. libertate* durante la fase juvenil se ajustaron a los datos edad-talla tres modelos (Tabla 1, Fig. 9). En cada caso, los parámetros de los modelos no son comparables entre sí, ya que tienen diferente formulación matemática, excepto LE_{∞} . Dos de los tres modelos tuvieron los menores valores de verosimilitud, estos fueron von Bertalanffy y Richards, lo que significa que describen mejor la tendencia de los datos. Gompertz, a pesar de ser el modelo más utilizado para describir el crecimiento en etapas tempranas del desarrollo, obtuvo el mayor valor de verosimilitud.

Tabla 1. Parámetros de crecimiento por modelo y valores de verosimilitud de los datos edad-talla de los juveniles de la sardina crinuda *O. libertate*, en la zona centro del Golfo de California.

Modelo	LE_{∞}	K	t_0	m	-logLL
Gompertz	95.16	2.76	0.02		1130.40
Von Bertalanffy	114.61	0.01	-0.19		1090.12
Richards	125.04	0.01	-0.20	-0.09	1090.12

Criterio de Akaike

El valor mínimo de AIC fue 1096.12 y correspondió al modelo de von Bertalanffy que presentó el mejor ajuste a los datos, lo que significa que de los modelos evaluados es el más adecuado en la descripción del crecimiento de juveniles de *O. libertate*; seguido por el modelo Richards. El modelo de Gompertz fue el que obtuvo el mayor valor de AIC (Tabla 2).

De acuerdo con la teoría de la información de AIC, los modelos con una diferencia (Δ_i) igual o menor a 2 son estadísticamente viables para estimar la variable de respuesta dado el conjunto de datos. En el caso de los tres modelos evaluados, el de Gompertz no se consideró estadísticamente robusto para describir el crecimiento de los juveniles de la sardina crinuda *O. libertate* (Tabla 2). Al calcular el peso de Akaike, von Bertalanffy aporta la mayor evidencia del modelo, en comparación con los demás.

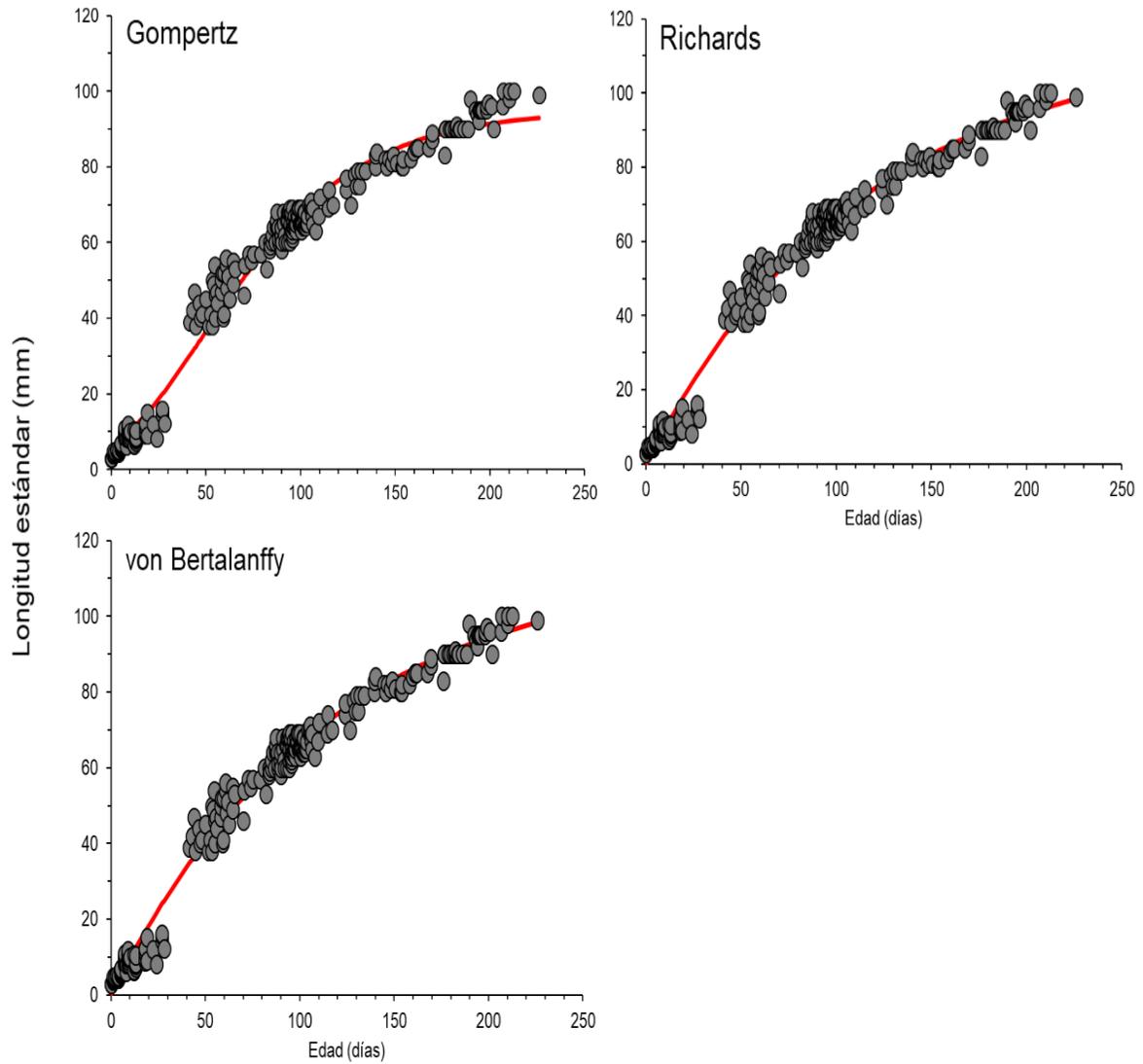


Figura 9. Modelos de crecimiento de Gompertz, von Bertalanffy y Richards para los datos edad-talla de juveniles de sardina crinuda *O. libertate*.

Tabla 2. Valores de AIC, diferencia de Akaike y W_i , para cada modelo aplicado en la descripción del crecimiento de los juveniles de la sardina crinuda *o. libertate* en la zona centro del Golfo de California.

Modelo	No. de parámetros	AIC	Δ_i	W_i
Gompertz	3	1136.40	40.28	0.00
Von Bertalanffy	3	1096.12	0	0.73
Richards	4	1098.12	2.00	0.26

El único parámetro en común y comparable en los tres modelos es LE_∞ , por lo tanto y de acuerdo con el enfoque multimodelo, se estimó el parámetro $LE_{\infty\text{promedio}}$ sumando los productos de LE_∞ y peso de Akaike (W_i) por cada modelo estadísticamente aceptable, obteniendo una $LE_{\infty\text{promedio}}$ de 117.41 mm. Este valor sustituyó al estimador del parámetro correspondiente en el modelo de von Bertalanffy.

Se calcularon los intervalos de confianza a partir del cálculo de los perfiles de verosimilitud de los parámetros del modelo de von Bertalanffy (Fig. 10). Los intervalos de confianza son: $LE_{\infty\text{promedio}} = 116.5\text{-}118.1$ mm, $k = 0.0082\text{-}0.0084$ mm/día⁻¹, y $t_0 = -1.24\text{-}0.2$ día.

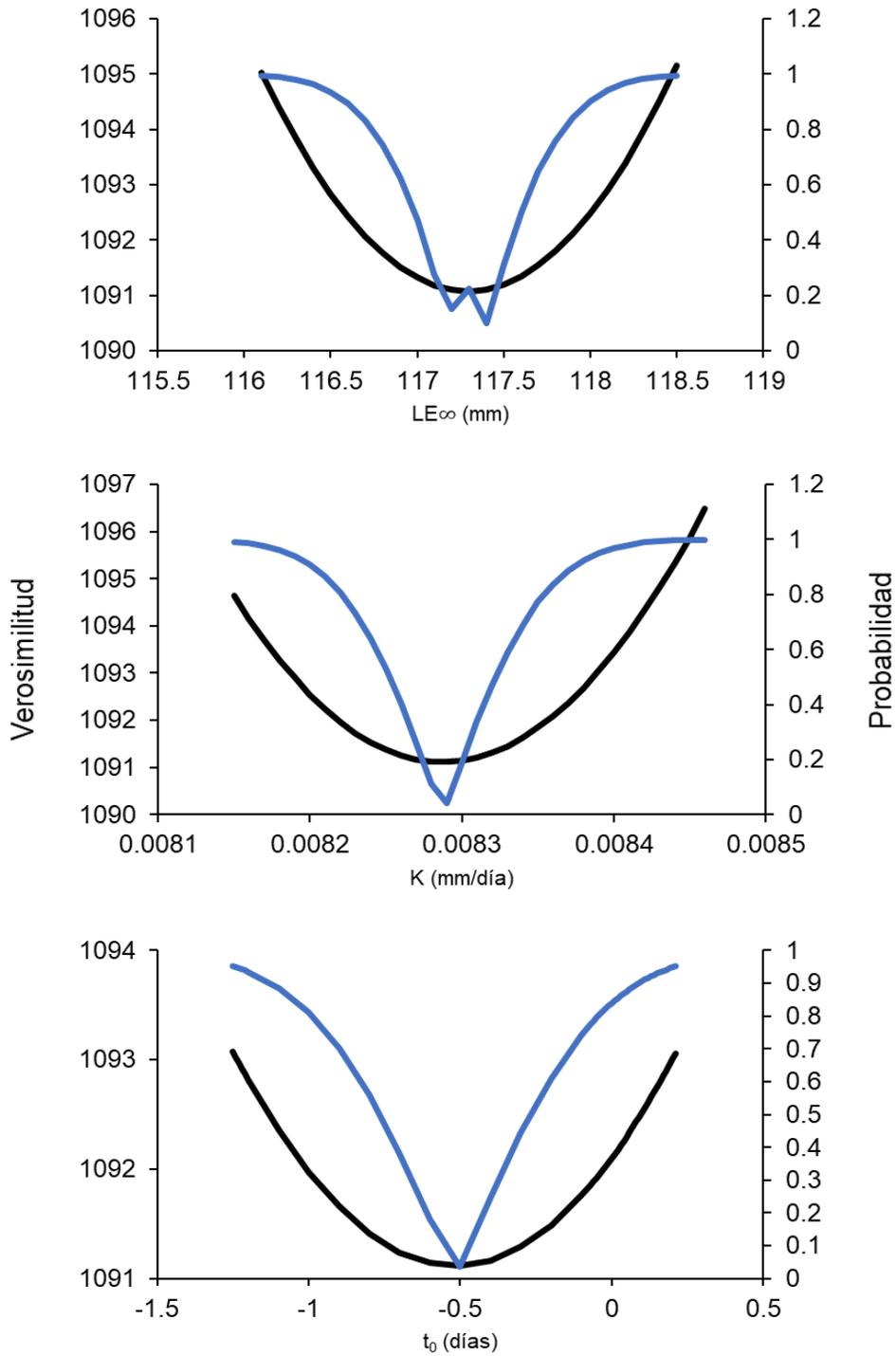


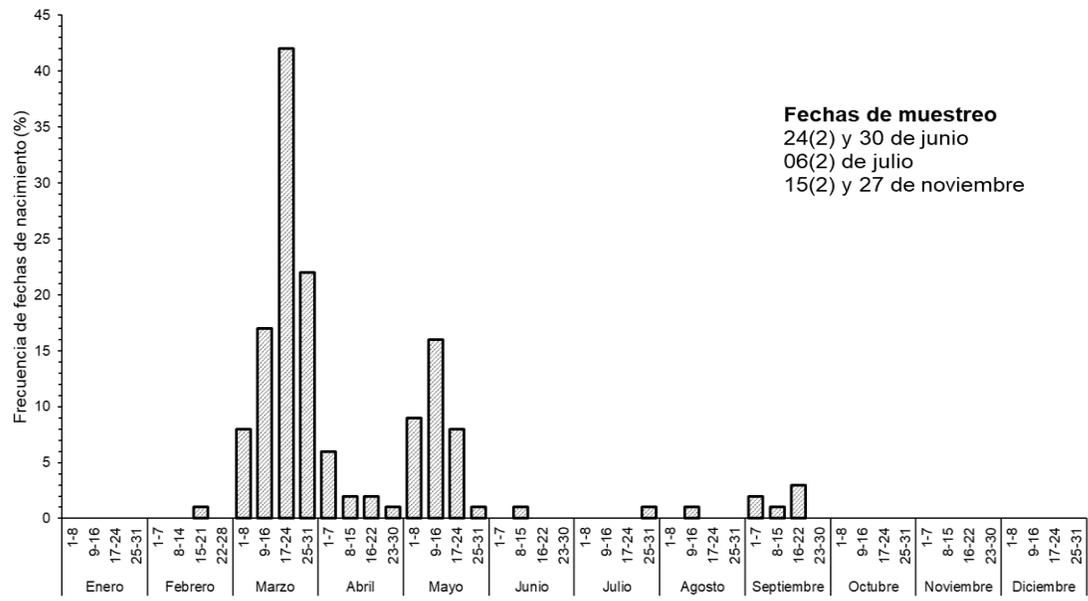
Figura 10. Perfiles de verosimilitud de los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy para los juveniles de sardina crinuda *O. libertate*. La línea negra es el negativo del logaritmo de la verosimilitud y la línea azul es la probabilidad Chi-cuadrada.

Fechas de nacimiento y condiciones ambientales (TSM y Clorofila-a)

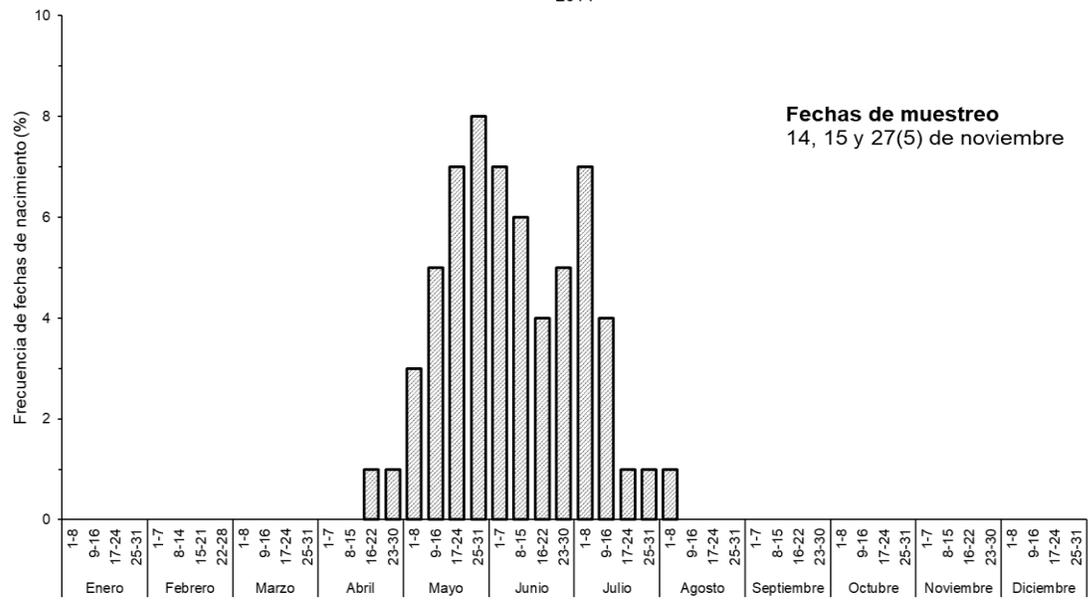
La distribución de frecuencias de fechas de nacimiento de los juveniles de sardina crinuda *O. libertate* capturados en los años 2014 y 2015 (Fig. 11), mostró que para el año 2014 el desove se produjo durante un largo período, de febrero a septiembre, pero los picos de supervivencia se concentraron principalmente en marzo y mayo; durante 2015, el periodo de desove fue de abril a agosto con un pico de supervivencia en mayo a julio. Los juveniles recolectados en marzo de 2015 fueron *O. bulleri*.

Respecto a la variación de la TSM asociada a las fechas de nacimiento de los juveniles de sardina crinuda *O. libertate* (Fig. 12), en el año 2014 se presentaron valores de temperatura en el mes de marzo y mayo (picos de supervivencia) de 19-20 y 21-26°C, respectivamente. Se observó relación entre las fechas de nacimiento y la TSM (figura superior) ($n = 19$, $p < 0.05$, correlación de Spearman). En el 2015, los picos de supervivencia del mes de mayo, junio y julio presentaron temperaturas entre los 22-24, 26-28 y 29° C, respectivamente; Sin embargo, no se observó una relación entre la frecuencia de fechas de nacimiento y la TSM (figura inferior) ($n = 14$, $p > 0.05$, correlación de Spearman).

La relación de la Clorofila-a con las fechas de nacimiento para el año 2014, mostró una coincidencia del periodo de máxima producción de Clorofila-a (16.76 mg-m³) con los picos de sobrevivencia de marzo y mayo (Fig. 13 - superior) ($n = 19$, $P < 0.05$, correlación de Spearman), después, en verano, la producción disminuyó y coincide con frecuencias de nacimientos menores. Lo contrario sucedió en el año 2015, la mayor producción (19.74 mg-m³) sucedió en el mes de enero; y valores bajos de producción (7.27 – 0.70 mg-m³) se presentaron en las fechas de los picos de supervivencia (Figura 13 - inferior). No se observó una relación significativa ($n = 14$, $P > 0.05$, correlación de Spearman).



2014



2015

Figura 11. Distribución de frecuencias de fechas de nacimiento de juveniles de la sardina crinuda *O. libertate* muestreados en 2014 y 2015, en la zona central del Golfo de California. El valor en paréntesis indica el número de muestreos correspondiente a la misma fecha.

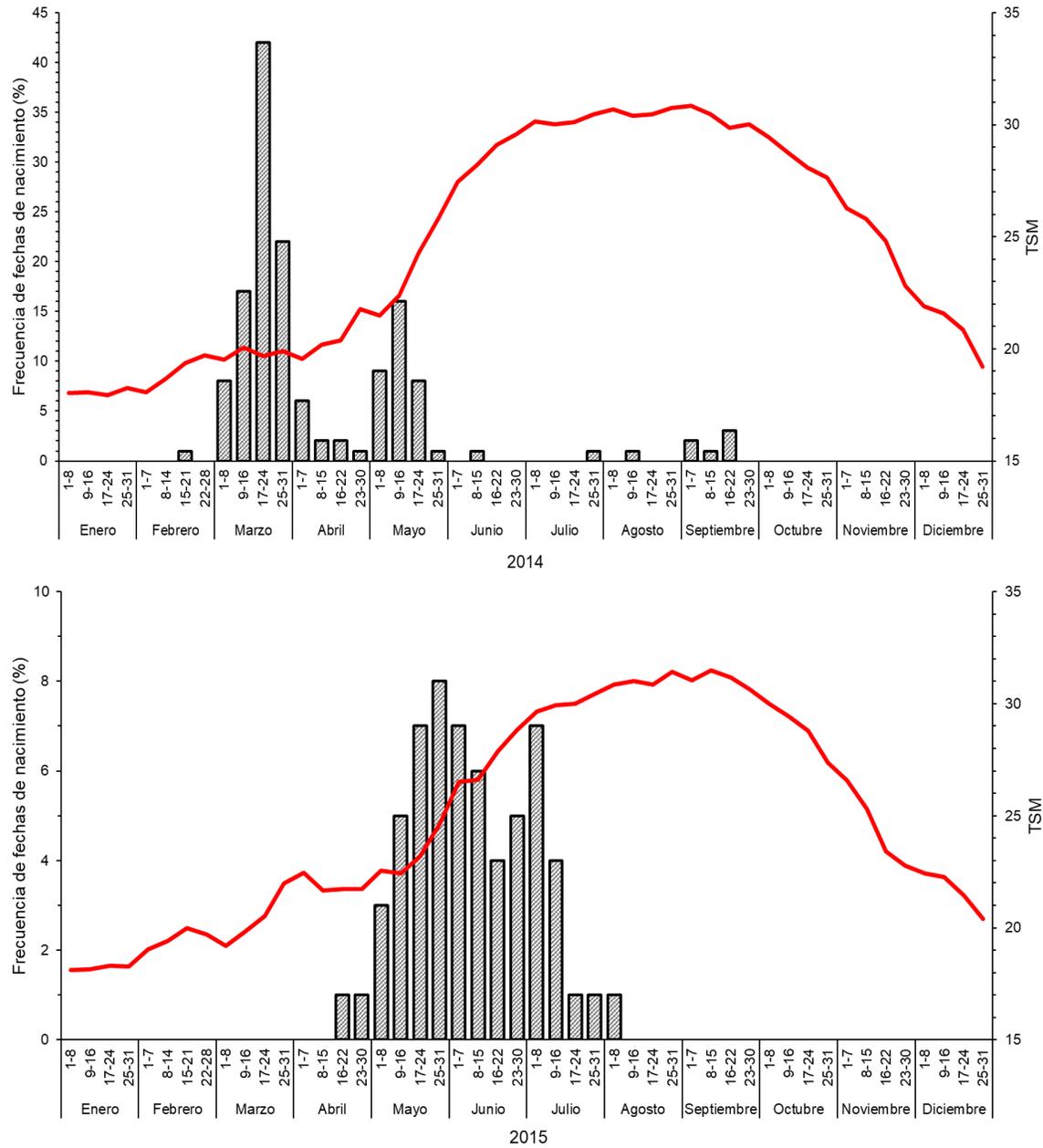


Figura 12. Distribución de frecuencias de fechas de nacimiento de juveniles de la sardina crinuda *O. libertate* muestreados en 2014 y 2015, en la zona central del Golfo de California. Línea roja representa la temperatura superficial del mar (TSM).

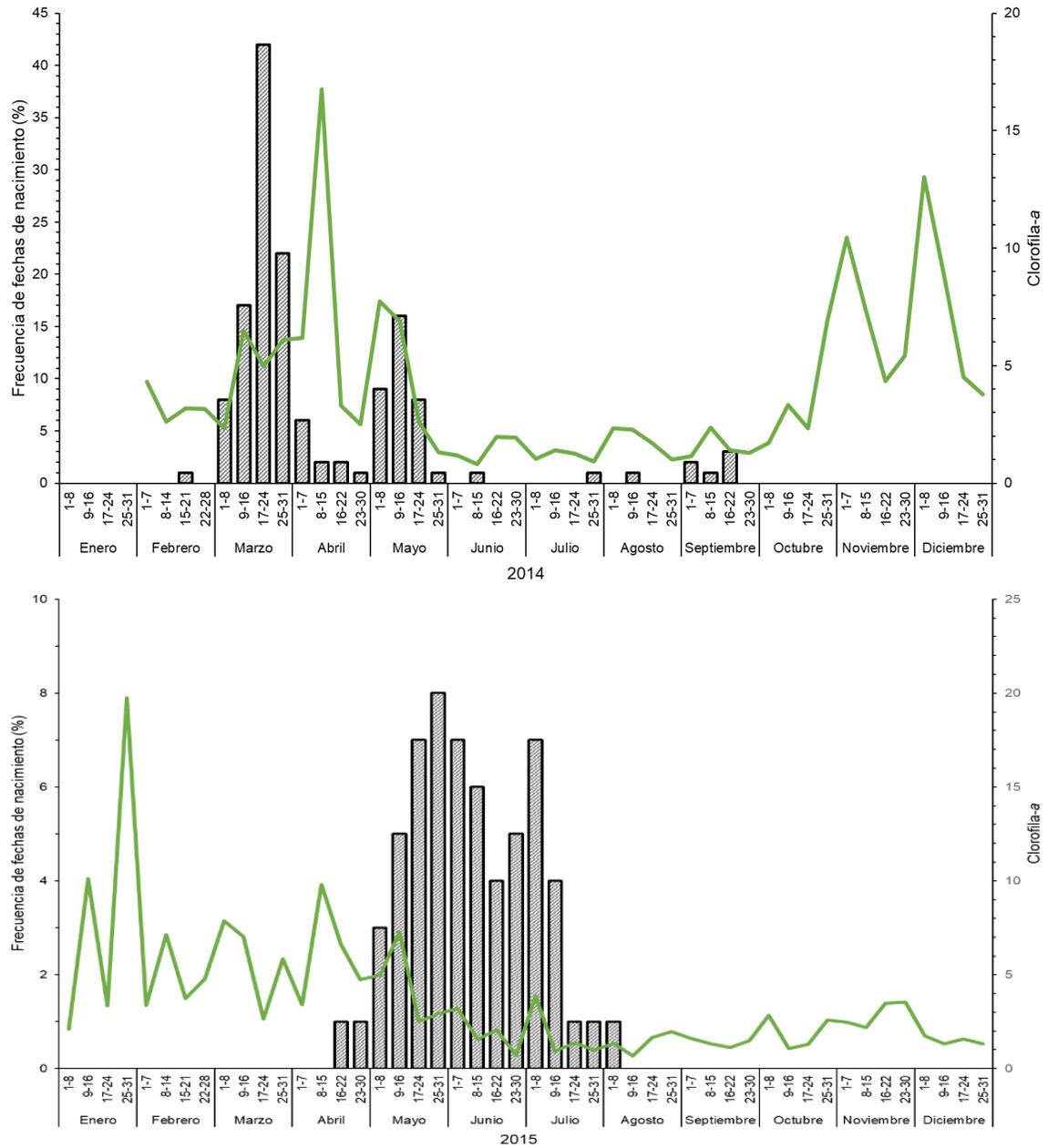


Figura 13. Distribución de la frecuencia de fechas de nacimiento de juveniles de la sardina crinuda *O. libertate* muestreados en 2014 y 2015, en la zona central del Golfo de California. Línea verde representa los valores promedios de la Clorofila-a.

Estas dos variables (TSM y Clorofila-a) para el año 2014 mostraron un patrón estacional directo. Cuando la temperatura era media, durante marzo-mayo y octubre a diciembre, las concentraciones de la Clorofila-a fueron máximas. Durante los mismos meses (marzo-mayo), las fechas de nacimientos mostraron las frecuencias máximas. Esto sugiere que los juveniles estuvieron expuestos a favorables condiciones de alimento (Clorofila-a). Para los meses donde la temperatura fue máxima, la frecuencia de fechas de nacimientos fue baja, al igual que la disponibilidad de alimento. La relación entre las variables para el 2015 mostraron un patrón estacional inverso. Las temperaturas fueron medianamente altas durante los meses de mayo a julio con las concentraciones más bajas de Clorofila-a. En estos mismos meses se presentaron las frecuencias máximas de fechas de nacimientos. En casi todo el año (mayo a diciembre) las temperaturas fueron $\geq 20^{\circ}\text{C}$ hasta alcanzar más de 30°C (agosto-septiembre), y la disponibilidad de alimento fue baja en el mismo periodo de tiempo. Esto sugiere condiciones de supervivencia más favorables para los juveniles nacidos en el año 2014, y menos favorables para los juveniles nacidos en el año 2015.

Para evaluar la relación entre el crecimiento y las condiciones ambientales. La tasa de crecimiento de los juveniles y la TSM para el año 2014 (Fig. 14) no tuvieron una relación significativa ($n = 19$, $P > 0.05$). La amplia distribución en el año de las fechas de nacimiento mostró diferencia en la TSM, pero el comportamiento en las tasas de crecimiento fue similar entre los juveniles de los picos de supervivencia y los juveniles de las últimas fechas de nacimiento. De igual forma, la relación de los valores de Clorofila-a y las tasas de crecimiento no fue significativa (Fig. 15) ($n = 19$, $P > 0.05$). Las bajas concentraciones de Clorofila-a, no condicionaron el crecimiento de los juveniles de las últimas fechas de nacimiento. A pesar de que altas concentraciones de Clorofila-a coincidieron en los picos de supervivencia y las bajas concentraciones con las fechas de nacimiento de los últimos meses, las tasas de crecimiento fueron similares.

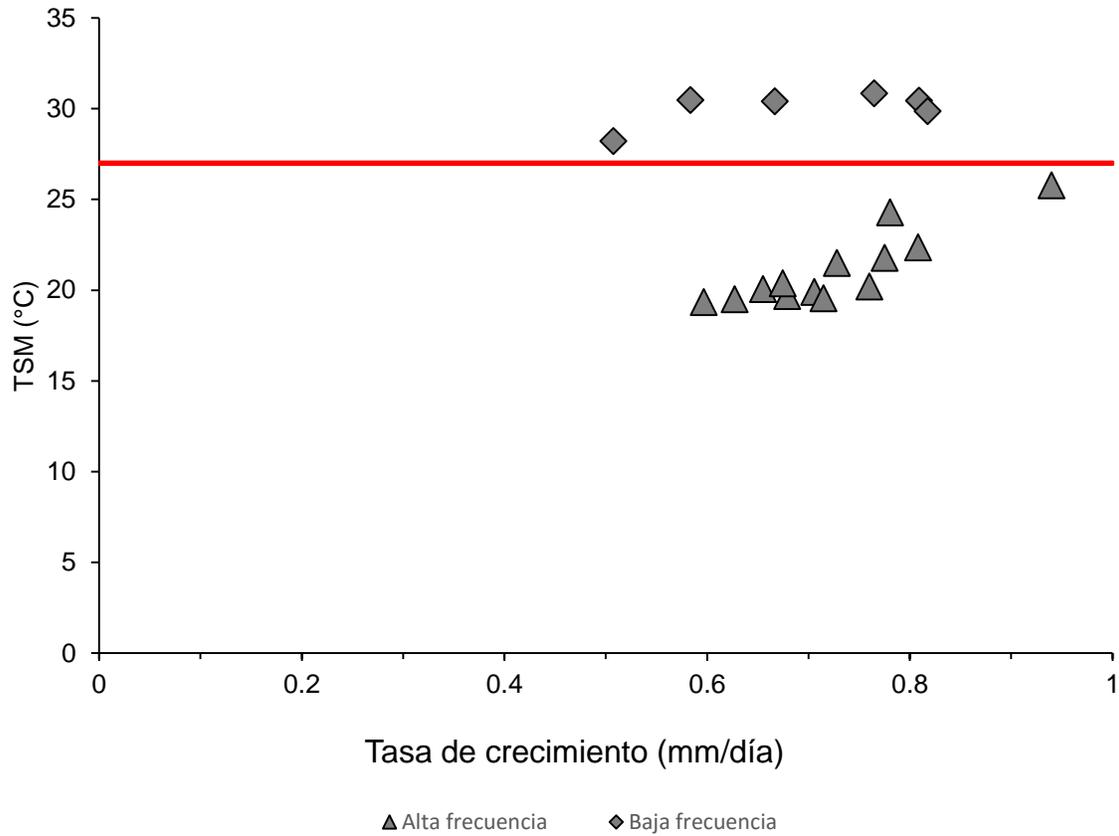


Figura 14. Relación entre las tasas de crecimiento y la temperatura superficial del mar para los juveniles de *O. libertate* capturados en la zona central del Golfo de California en el año 2014. En la parte inferior de la línea roja son juveniles de los picos de supervivencia y la parte superior son juveniles de los meses con baja frecuencias de nacimientos.

Sin embargo, podemos atribuir lo anterior a que los muestreos fueron realizados en distintos meses (junio-julio-noviembre) y que organismos relativamente jóvenes con tasas de crecimiento "altas" se distribuyeron en todo el periodo de nacimientos.

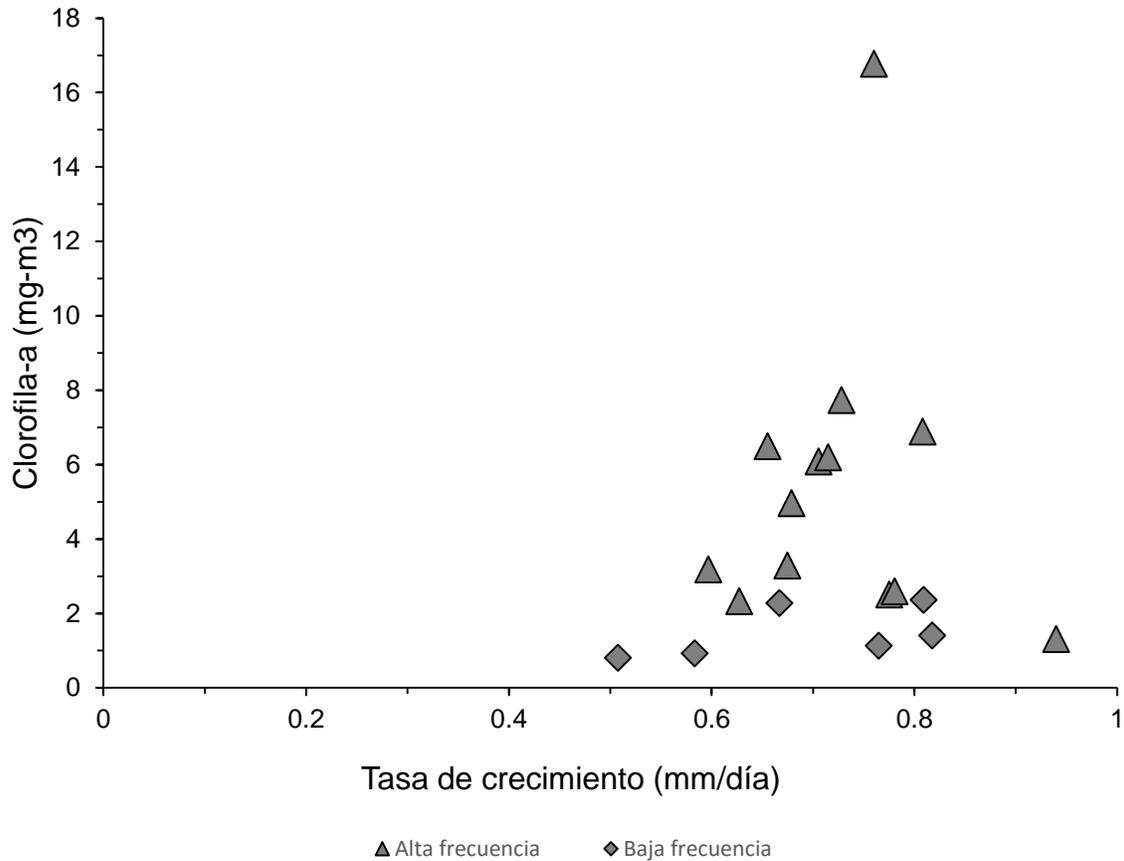


Figura 15. Relación entre las tasas de crecimiento y la Clorofila-a para los juveniles de *O. libertate* capturados en la zona central del Golfo de California en el año 2014.

Para los juveniles del año 2015. El crecimiento y la TSM mostraron una relación significativa (Fig. 16) ($n = 14$, $P < 0.05$). La fecha de muestreo indica que los juveniles solo fueron capturados en noviembre, por lo tanto, los organismos más jóvenes se encontraron en las fechas de nacimiento próximas a la fecha de captura. La tasa de crecimiento de los juveniles tardíos (primeros meses de nacimientos) fue “menor” y fue aumentando en juveniles tempranos de los meses cercanos a la fecha de captura. Esto fue proporcional con el aumento de la temperatura.

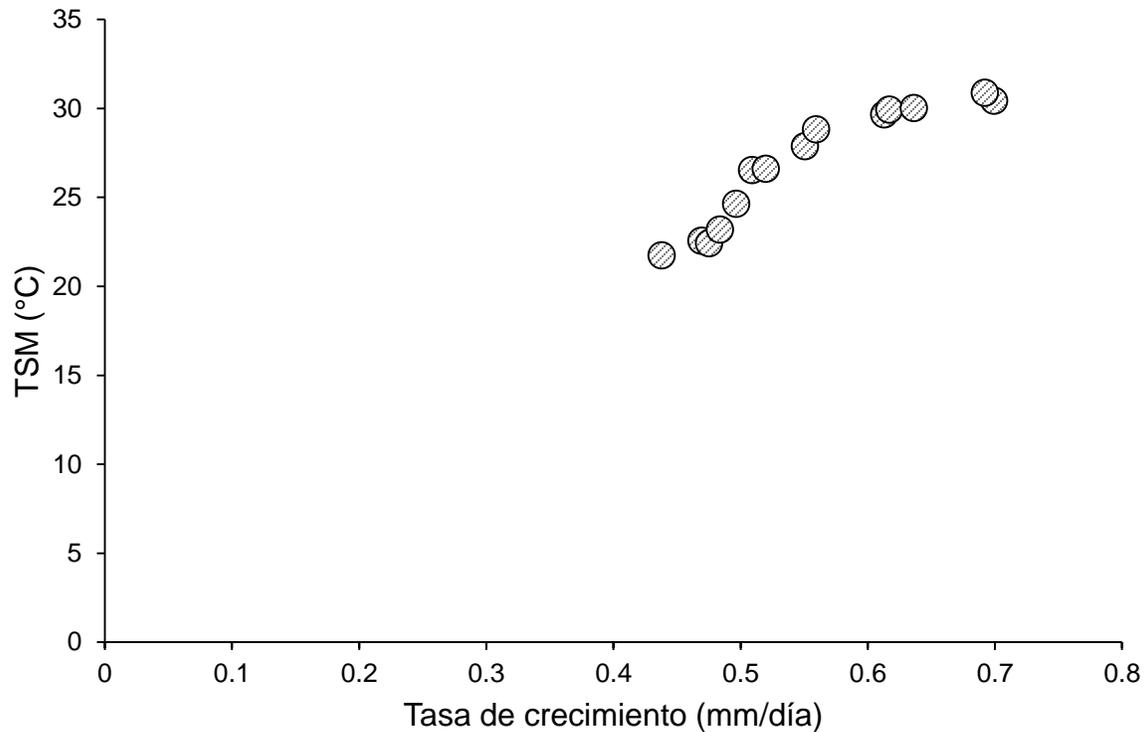


Figura 16. Relación entre las tasas de crecimiento y la temperatura superficial del mar para los juveniles de *O. libertate* capturados en la zona central del Golfo de California en el año 2015.

La relación entre el crecimiento y la Clorofila-a fue significativa (Fig. 17) ($n = 14$, $P < 0.05$). Coincidiendo con los resultados para la temperatura, las mayores concentraciones de Clorofila-a se presentaron en los primeros meses de las fechas de nacimientos, los juveniles más viejos mostraron las menores tasas de crecimiento. La tasa de crecimiento aumento conforme los organismos eran más jóvenes (meses cercanos a la captura), pero esta relación se presentó con concentraciones bajas de Clorofila-a.

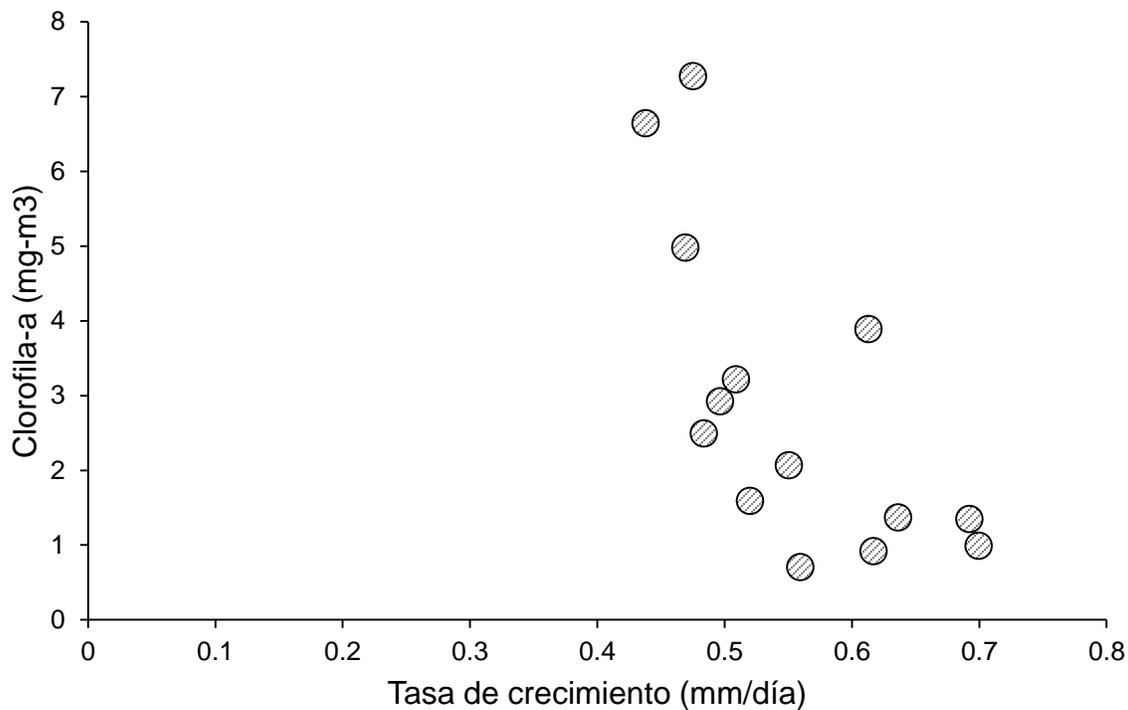


Figura 17. Relación entre las tasas de crecimiento y la Clorofila-a para los juveniles de *O. libertate* capturados en la zona central del Golfo de California en el año 2015.

En general, estos resultados sugieren que los juveniles de *O. libertate* pueden soportar amplias variaciones en temperatura y Clorofila-a. Altas tasas de crecimiento se presentaron con temperaturas altas y bajas, al igual que en concentraciones bajas y altas de Clorofila-a. Los juveniles con edades menores presentaron las mayores tasas de crecimiento y fueron disminuyendo conforme envejecían. Los juveniles de *O. libertate* pueden requerir poco alimento y altas temperaturas para su supervivencia.

8. DISCUSIÓN

Identificación taxonómica

El presente estudio, es el primero en abordar la identificación taxonómica de las especies de la sardina crinuda del género *Opisthonema* en etapa juvenil. Las claves propuestas por Berry & Barret (1963) mostraron dificultad para diferenciar entre las tres especies de sardina crinuda a tallas menores de 100 mm de longitud estándar, la mayor confusión de especies se generó entre los ejemplares de *O. medirastre* y *O. libertate*, con similar número de branquiespinas a la misma talla. Hedgecock *et al.* (1988) mediante una combinación de estudios electroforéticos y morfológicos multivariados, verificó la precisión del número de branquiespinas y confirmó la validez taxonómica de las tres especies en organismos mayores a 120 mm LE. Sin embargo, la confusión en el traslape del número de branquiespinas entre especies, se ha reportado en trabajos analizando organismos adultos (Rodríguez Domínguez, 1987; Rodríguez Sánchez, 1989; Torres-Ramírez, 2004).

Al respecto, Torres-Ramírez (2004) menciona que su propuesta complementa los criterios de Berry & Barret (1963); además, que la observación de las características de las branquiespinas que propone es sencilla. Las características de la base de las branquiespinas y la presencia o ausencia de espículas fueron evidentes en nuestros organismos con tallas de 37 hasta 100 mm LE. Las diferencias estructurales de las branquiespinas, en las tres especies del género *Opisthonema*, son características intrínsecas en la formación de las branquias, siendo de utilidad para identificar correctamente a juveniles de sardina crinuda en la zona centro del Golfo de California.

Ambas claves y criterios fueron validadas con resultados de análisis moleculares por Pérez-Quiñonez (2014), quien reporta que la identificación de especies basados en los caracteres merísticos y morfológicos pueden utilizarse para diferenciar entre especies.

Posterior a la identificación taxonómica, los organismos recolectados en la zona centro del Golfo de California durante los años 2014-2015 fueron en su mayoría *O.*

libertate (87.3%), seguido de *O. medirastre* (8.6%) y finalmente *O. bulleri* (4.1%). Esto coincide con lo reportado por el INAPESCA (1985) para la misma zona, donde la principal composición en las capturas del complejo sardina crinuda es aportado por *O. libertate*. Ruiz-Domínguez (2015) para la zona sur del Golfo de California, reporta una composición similar de especies en las capturas del complejo crinuda, 61% de *O. libertate*, 28% de *O. medirastre* y 11% de *O. bulleri* de un total de 1041 ejemplares analizados. Estas diferencias de la proporción en las capturas de los juveniles del complejo crinuda, permiten asumir que *O. libertate* es la especie dominante del género en la zona centro del Golfo de California, y su significativa presencia en los distintos puntos de muestreo se relaciona a una amplia distribución de zonas de desove.

Relación peso-longitud

La relación peso-longitud para los juveniles de sardina crinuda *O. libertate* presentó un crecimiento alométrico positivo ($b=3.456$). Un problema frecuente en la estimación de los parámetros de la relación peso-longitud, es el sesgo en la estructura de tallas que sub o sobreestima los valores. Ricker (1979) menciona que para obtener valores más confiables de la relación peso-longitud para una población, se debe capturar un amplio intervalo de tallas, incluyendo la edad 0. Probablemente los datos con los disponemos debieran complementarse con los de muestreos comerciales (adultos), ampliando el rango de talla y evitando el sesgo en la estimación de los parámetros de la relación. Ya que como menciona Safran (1992), los muestreos pesqueros solo disponen de peces adultos, y también estiman parámetros de la relación que pueden desviarse de la realidad debido a la variabilidad del muestreo. Algunos trabajos asociados al comportamiento de la flota pesquera de la sardina crinuda *O. libertate* identifican un crecimiento de tipo isométrico (Gallardo Cabello *et al.*, 1993; Carmona & Alexandres, 1994), asumiendo proporcionalidad de los incrementos de la longitud respecto al peso en organismos adultos.

Determinación de la edad

La preparación e interpretación de un otolito es sólo el primer paso en la extracción de información útil sobre un pez (Campana & Jones, 1992). Narimatsu *et al.* (2007) utilizan distintos protocolos para la preparación de otolitos *sagitta* y *lapillus* de larvas y juveniles de *Gadus macrocephalus*, comentan que estos protocolos son diferentes entre las etapas de vida de los organismos ya que se deben de ir adecuando al tamaño de los otolitos para poder hacer evidentes las marcas de crecimiento. En nuestro trabajo, se utilizó un solo protocolo en la preparación de los otolitos, el número de lijadas varió de acuerdo con el tamaño del otolito que relacionamos en primera instancia a la longitud del pez. La estructura crece a lo largo, ancho y alto conforme crece el cuerpo somático, entre más grande la estructura mayor fue el tiempo que se requirió del tratamiento. Los resultados obtenidos fueron positivos para todo el rango de tamaño de los otolitos.

Respecto a la interpretación de los incrementos evidente en los otolitos, estos requieren validación en la periodicidad de su formación antes de estimar la edad. Se han demostrado los incrementos diarios en otolitos para varias especies (Gluyas-Millán *et al.*, 1988; Fortier & Quiñonez-Velázquez, 1998; Quiñonez-Velázquez *et al.*, 2000; Quiñonez-Velázquez *et al.*, 2015). En el presente estudio se observaron los incrementos de crecimiento en los otolitos de los juveniles de la sardina crinuda *O. libertate* del centro del Golfo de California. Estos incrementos son depositados diariamente, y su formación ocurre al inicio de la alimentación exógena (Martínez-Pecero, 2003). Esto similar a lo reportado por Quiñonez-Velázquez (1999) para *Melanogrammus aeglefinus* y *Pollachius virens*, los cuales forman el primer incremento regular el día después de la eclosión. De acuerdo con lo anterior y nuestros resultados, se ha mencionado que la formación de marcas de crecimiento puede estar asociadas a cambios morfológicos y fisiológicos asociados con el cambio nutricional.

Descripción del crecimiento

Para evaluar el crecimiento individual de los juveniles de la sardina crinuda *O. libertate*, los datos de diferentes años se agruparon para cubrir un rango más amplio

de edad, esta agrupación puede haber sesgado los patrones de crecimiento resultantes. Sin embargo, asumimos que tal sesgo es mínimo, ya que los juveniles se muestrearon en los mismos meses creciendo a tasas similares (Quiñonez-Velázquez *et al.*, 2000).

Existen pocos trabajos sobre el crecimiento individual de la sardina crinuda *O. libertate* enfocados a la parte adulta y nulos en etapas tempranas del desarrollo. Además, la estimación del crecimiento en la etapa adulta solo se han evalúa con el modelo de von Bertalanffy, este modelo se ha utilizado para describir el crecimiento en una gran mayoría de peces. Ruíz-Domínguez (2015), utiliza un enfoque multimodelo donde determina que el modelo más adecuado en la descripción del crecimiento de la sardina crinuda *O. libertate* es von Bertalanffy, seguido por los modelos de Gompertz y Logístico. Zweifel & Lasker (1976) sugieren en muchos casos, que las funciones (punto de inflexión) de Gompertz y Logístico pueden proporcionar modelos más adecuados en la descripción del crecimiento pre y post-eclosión de los peces.

En el presente estudio se evaluó el crecimiento individual de los juveniles de la sardina crinuda *O. libertate* a través de un enfoque multimodelo, el cual utilizando el criterio de información de Akaike (AIC) selecciona el mejor de los modelos evaluados considerando una mayor plausibilidad estadística. La inferencia multimodelo postula que cuando los datos soportan evidencia para más de un modelo, en lugar de estimar los parámetros a partir de sólo “el mejor modelo”, es posible estimar dichos parámetros a partir de varios modelos (Jacob-Cervantes & Aguirre-Villaseñor, 2014). Burnham & Anderson (2002) mencionan que obtener el valor promedio de la variable estimada, a partir de varios modelos, es una ventaja para alcanzar una inferencia robusta que no esté condicionada a un sólo modelo y que integra la aportación ponderada de cada modelo considerado estadísticamente.

De los tres modelos evaluados en el presente trabajo, el modelo de crecimiento individual de von Bertalanffy fue el que obtuvo el menor valor de AIC, por tanto, se considera que este modelo es el más adecuado para describir la tendencia de los datos edad-talla analizados. Además, de acuerdo con el criterio de inferencia

multimodelo (Burnham & Anderson, 2002), el modelo de Richards ($\Delta=2$) debe ser considerado para el cálculo global. El modelo de Gompertz ($\Delta=40.28$) no tuvo soporte estadístico.

Con base a estos resultados, los estimadores de los parámetros obtenidos en otros trabajos con juveniles de pelágicos menores y gádidos por autores como Gluyas-Millán (1998), Quiñonez-Velázquez *et al.* (2000) y Narimatsu *et al.* (2007), podrían no ser comparables con los estimadores de los parámetros correspondientes a este trabajo, debido que ellos utilizan el modelo de crecimiento de Gompertz. Una posible explicación entre el modelo considerado como el más adecuado en el presente trabajo, fue el uso del enfoque multimodelo, a diferencia de los trabajos anteriores que condicionan a un solo modelo para describir el crecimiento. A pesar de la diferencia de especies en los distintos trabajos, creemos que el crecimiento se comporta de una manera similar en la etapa juvenil y por ello, el rango de tallas no influyó en el resultado.

Como se ha comentado anteriormente, existen pocos trabajos relacionados al crecimiento de la sardina crinuda (*Opisthonema* spp) la gran mayoría enfocados a la fase adulta, esto dificulta comparar las estimaciones del crecimiento de los juveniles de *O. libertate* obtenidas en el presente trabajo. Carmona & Alexandres (1994) mencionan respecto a valores obtenidos, que esta especie es de tamaño pequeño y vida corta, y que durante el primer año de vida alcanza el 65% de su desarrollo total. Tal como lo reportó Gallardo Cabello *et al.* (1993), durante el primer año el crecimiento fue muy rápido, alcanzando el 63% de la longitud total y la velocidad del crecimiento disminuye a partir del primer año de vida. Por su parte, Ruiz-Domínguez (2015) observó un similar periodo de crecimiento acelerado durante el primer año de vida, durante el cual *O. libertate* alcanzó el 74 % de su longitud total. Este crecimiento acelerado en el primer año de vida se puede asociar con la estimación de crecimiento promedio obtenida de 0.43 mm por día para los ejemplares de juveniles de *O. libertate* hasta los 230 días de edad (Tabla 3). El aumento promedio de la longitud es alto para los juveniles hasta 115 días (0.61 mm por día) y, la tasa disminuye a 0.23 mm por día para los juveniles mayores. Sin embargo, estas estimaciones de crecimiento son menores a las reportadas para

otras especies de pelágicos menores del Golfo de California (Gluyas-Millán et al., 1998; Quiñonez-Velázquez et al., 2000).

Tabla 3. Pronóstico de tasas de crecimiento absoluto (mm por día) de juveniles de sardina crinuda *O. libertate* por intervalos de 5 días entre los 0 y 230 días, recolectados en 2014 y 2015 en la zona central del Golfo de California.

Año (días)	Tasa de crecimiento (mm por día)	Año (días)	Tasa de crecimiento (mm por día)
0-5	0.97	115-120	0.36
5-10	0.93	120-125	0.34
10-15	0.89	125-130	0.33
15-20	0.85	130-135	0.31
20-25	0.82	135-140	0.30
25-30	0.78	140-145	0.29
30-35	0.75	145-150	0.28
35-40	0.72	150-155	0.26
40-45	0.69	155-160	0.25
45-50	0.66	160-165	0.24
50-55	0.63	165-170	0.23
55-60	0.60	170-175	0.22
60-65	0.58	175-180	0.21
65-70	0.55	180-185	0.20
70-75	0.53	185-190	0.20
75-80	0.51	190-195	0.19
80-85	0.48	195-200	0.18
85-90	0.46	200-205	0.17
90-95	0.44	205-210	0.16
95-100	0.43	210-215	0.16
100-105	0.41	215-220	0.15
105-110	0.39	220-225	0.14
110-115	0.37	225-230	0.14

Fechas de nacimiento y condiciones ambientales (TSM y Clorofila-a)

La distribución de las fechas de nacimiento de los juveniles refleja un prolongado período de desove. Se ha reportado que *O. libertate* en el Golfo de California desova en primavera-verano, con máximos reproductivos en los meses de primavera, en ocasiones con un segundo pulso reproductivo en otoño-invierno; los desoves se realizan desde marzo hasta septiembre y predominante de marzo a mayo (Martínez-Zavala et al. 2006). Por su parte, Saldierna *et al.* (1997) reportan la ocurrencia del desove en los meses de junio a septiembre, en temperaturas superficiales del mar entre 24 y 32°C. En el sur del Golfo de California se reportaron hembras maduras casi todo el año, pero en mayor proporción en los meses de abril, mayo y septiembre (Jacob-Cervantes & Aguirre-Villaseñor, 2014). Estas observaciones corroboran la amplia distribución de las fechas de nacimiento de *O. libertate* registradas en el presente trabajo.

Las larvas recién nacidas se enfrentan a una amplia gama de condiciones que pueden inducir variabilidad en la supervivencia durante el primer año de vida (Quiñonez-Velázquez, 2000). Las grandes variaciones ambientales y el mecanismo de control dependiente de la densidad del reclutamiento deben buscarse durante el nacimiento y las etapas tempranas del desarrollo (Shepherd & Cushing 1980). La determinación de las fechas de nacimiento nos permite conocer qué condiciones ambientales prevalecieron y como se relacionan con la supervivencia del reclutamiento. De acuerdo con la hipótesis match-mismatch de Cushing (1975, 1990), la supervivencia de larvas y su eventual reclutamiento depende del tiempo entre los picos de abundancia de larvas y el alimento. Esta estrategia de desove podría ser interpretada como una adaptación a un ambiente impredecible en el Golfo de California.

Para el año 2014 y 2015, en la zona de estudio se registró la anomalía ambiental “El Niño”; se ha reportado un incremento en las tasas de producción del fitoplancton durante un evento “El Niño” en el Golfo de California (Valdez-Holguín & Lara-Lara, 1987). Estos autores mencionan que los ecosistemas pelágicos del Golfo de California responden a eventos “El Niño” de una manera inversa a las aguas

costeras de América del Sur y América del Norte, en las cuales usualmente se reportan fuertes decrementos en las tasas de producción planctónicas. Aunque todo resultado implica diferencia espaciotemporal, lo que hace difícil la comparación con datos históricos. Por ejemplo, durante 1997-1988 el Golfo de California reciente los efectos de “El Niño” registrándose en septiembre y diciembre de 1997 valores de Clorofila-a de 0.3 mg-m³ (mesotrófica) y, a finales de febrero y durante marzo de 1998 se registraron los valores de Clorofila-a de 1.0 mg-m³ (mesotrófica), estas anomalías negativas de clorofila coinciden con las anomalías positivas del MEI y del PDO (Espinosa-Carreón & Valdez-Holguín, 2007). Por lo contrario, en nuestro trabajo los valores de Clorofila-a obtenidos para el 2014 mostraron el valor más bajo de 0.4 mg-m³ solo en las primeras semanas de junio, después todos los valores obtenidos en el año estuvieron por arriba de 1.0 mg-m³ (eutrófica), teniendo un promedio anual de 4.0 mg-m³. Para el 2015, los valores más bajo obtenidos de Clorofila-a fueron de 0.67 y 0.7 mg-m³ en agosto y junio, respectivamente, el promedio anual fue de 3.56 mg-m³. Esto indica que las condiciones de Clorofila-a que se presentaron en estos años en el ecosistema tuvieron productividad, y que el efecto de otros eventos oceanográficos puede afectar en gran medida la productividad, aun con el efecto “El Niño”. Los resultados de la temperatura son similares a los registrados en otros trabajos, no superando los 32° C en los meses más cálidos, pese a que en el 2015 se registraron los mayores valores de temperatura, y donde se han registrado desoves de *O. libertate*.

Referente a la hipótesis de Cushing (1975, 1990), de que la producción de larvas requiere una combinación de alimento para el crecimiento y supervivencia. En el año 2014 los picos de distribución de frecuencias de las fechas de nacimiento coinciden con los máximos valores de Clorofila-a (16.76-7.73 mg-m³) y, por lo tanto, el crecimiento no fue limitado por la condición de alimento durante el 2014. Sin embargo, en el 2015, los máximos de Clorofila-a no coincidieron con los picos de fechas de nacimiento, pero como se mencionó anteriormente la productividad en el ecosistema fue alta (>1.0 mg-m³) para ese año. Esta idea se ve reforzada por el patrón de reclutamiento de ambos grupos anuales a la captura de pelágicos menores en el la parte central de golfo de California en 2015 y 2016, cuando la la

sardina crinuda fue, atípicamente, la especie más importante representando >50% de la captura (Martínez-Zavala et al. 2016, 2017).

La validez de estos resultados se fundamenta por ser indicadores tempranos de la fuerza de la clase anual y por su naturaleza independiente de la pesca comercial. Es evidente que las condiciones ambientales a mediana o gran escala pueden ser la causa principal de las fluctuaciones en la abundancia de las poblaciones. La identificación de estos mecanismos ecológicos puede contribuir a una mejor predicción del reclutamiento de los recursos explotados.

9. CONCLUSIONES

Los criterios propuestos por Torres-Ramírez (2004), fueron adecuados para clasificar taxonómica a los juveniles de sardina crinuda (*Opisthonema* spp.).

Los otolitos *sagitta* fueron estructuras adecuadas para la determinación de edad. El procesamiento, usando lijas de grano fino fue adecuado para hacer evidente la microestructura de los otolitos.

Los modelos de von Bertalanffy y Richards resultaron estadísticamente adecuados para describir el crecimiento de juveniles de la sardina crinuda *O. libertate*. De acuerdo con el criterio de información de Akaike, el modelo que mejor describió el crecimiento de los juveniles fue el de von Bertalanffy.

Para el año 2014, la distribución de fechas de nacimiento de los juveniles de *O. libertate* reflejan un amplio periodo de supervivencia que abarcó de febrero a septiembre. Para el año 2015, el periodo se redujo de abril a agosto.

10. LITERATURA CITADA

- Aguirre Gómez, R. 2002. Los mares mexicanos a través de la percepción remota. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. 95 p.
- 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.
- 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.
- Burnham, K. P. & D. R. Anderson. 2002. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach. Springer Science & Business Media. 448 p.
- Burnham, K. P. & D. R. Anderson. 2004. Multimodel inference. Understanding AIC and BIC in model selection. *Sociological Methods and Research*, 33 (2): 261-304.
- Campana, S. E. & C. M. Jones. 1992. Analysis of otolith microstructure data. In: Stevenson, D. K., Campana, S. E. (Eds.), *Otolith Microstructure Examination and Analysis*, Can. Spec. Publ. Canada Communication Group-Publishing. Ottawa, Canada, *Fish. Aquat. Sci.*, 117: 73-100.
- 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 *Opisthonema libertate* (Clupeiformes: Clupeidae) mediante lectura de otolitos. *Rev. Biol. Trop.*, 42(1/2): 233-238.
- Cushing, D.H., 1975. *Marine Ecology and Fisheries*. Cambridge University Press, Cambridge, 278 pp.

- Cushing, D.H., 1990. Plankton production and year-class strength in fish populations: an update of the match/mismatch hypothesis. *Adv. Mar. Biol.* 26, 142-155.
- Espinosa Carreón, T. & J. E. Valdez Holguín. 2007. Variabilidad interanual de clorofila en el golfo de California. *Ecología Aplicada*, 6(1-2): 83-92.
- Fortier, L. & C. Quiñonez-Velázquez. 1998. Dependence of survival on growth in larval pollock *Pollachius virens* and haddock *Melanogrammus aeglefinus*: a field study based on individual hatchdates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 174: 1-12.
- Gallardo Cabello, M., A. Laguarda Figueras & R. Corrales Urrea. 1993. Análisis de la edad, crecimiento y mortalidad natural de la sardina crinuda *Opisthonema libertate* (Gunther, 1868) de las aguas del sur del Golfo de California. 1993. *Ciencia Pesquera, Inst. Nal. de la Pesca. Sria. de la Pesca, México*, (9): 137-146.
- García Gómez, M. & D. Molina. 1986. Edad y crecimiento de la sardina crinuda de la zona de Guaymas. *Ciencia Pesquera, Inst. Nal. de la Pesca. Sria. de la Pesca, México*, (5): 17-31.
- Gluyas Millán, M.G., M. Cantonguay & C. Quiñonez-Velázquez. 1998. Growth of juvenile Pacific mackerel *Scomber japonicus* in the Gulf of California. *Scientia Marina*, 62: 225-231.
- Hedgecock, D. K. Nelson & L. G. Lopez Lemus. 1988. Biochemical genetic and morphological divergence among three species of thread. *CalCOFI Rep.*, Vol. XXIX pp 110-128.
- INAPESCA. 1985. Sardinas. Diagnóstico y perspectivas. Información resumida. México.
- Jacob Cervantes, M. L. & H. Aguirre Villaseñor. 2014. Inferencia multimodelo y selección de modelos aplicados a la determinación de *L50* para la sardina crinuda *Opisthonema libertate* del sur del Golfo de California. *Ciencia Pesquera*, 22(1): 61-68.

- Katsanevakis, S. 2006. Modelling fish growth: model selection, multi-model inference and model selection uncertainty. *Fisheries Research*, 81: 229-235.
- Martínez Pecero, R. E. 2003. Validación de la edad en larvas de tres especies de sardina de las costas de Baja California Sur, *Sardinops caeruleus*, *Opisthonema libertate* y *Harengula thrissina* (Pisces: CLUPEIDAE). Tesis de Maestría en Ciencias. CICIMAR-IPN.
- Martínez-Zavala M.A., M.O. Nevárez-Martínez, M.L. Anguiano-Carrasco, J.P. Santos-Molina & A.R. Godínez-Cota. 2006. Diagnóstico de la pesquería de pelágicos menores en el Golfo de California, temporadas de pesca 1998/99 a 2002/03. SAGARPA, Instituto Nacional de la Pesca, Centro Regional de Investigación Pesquera-Guaymas. 94 p.
- Martínez-Zavala, M. A., M. O. Nevárez-Martínez, M. E. González-Corona, J. P. Santos-Molina & A. E. López-Lagunas. 2016. Pesquería de peces pelágicos menores en el golfo de California, temporada de pesca 2014/2015. Memorias XXIV Taller de Pelágicos Menores INAPESCA, CRIP-Mazatlán, Sinaloa, México. 8-10 de junio de 2016, 40-44.
- Martínez-Zavala, Ma. Ángeles, Manuel O. Nevárez-Martínez, María Elvira González-Corona, Alma E. López-Lagunas Y J. Pablo Santos-Molina. 2017. Pesquería de peces pelágicos menores en el golfo de California, temporada de pesca 2015/2016. Memorias XXV Taller de Pelágicos Menores INAPESCA, CRIP-Guaymas, Sonora, México, 7 al 9 de junio del 2017, 5.
- Matus Nivon, E. 1994. Primeras fases de vida de la sardina crinuda *Opisthonema libertate* (Gunther) (Clupeidae). Tesis Maestría. CICIMAR-IPN, 88 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.
- Moser, H. G. 1996. The early stages of fishes in the California current region. La Jolla, California: Allen Press, Inc., Lawrence, Kansas. 1505 p.

- Narimatsu, Y., T. Hattori, Y. Ueda, H. Matsuzaka & M. Shiogaki. 2007. Somatic growth and otolith microstructure of larval and juvenile Pacific cod *Gadus macrocephalus*. *Fisheries Science*, 73: 1257-1264.
- Pauly, D. & J. Munro. 1984. Once more on the comparison of growth in fish and invertebrates. *Fishbyte*, 2(1): 21.
- 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 Maestría. CICIMAR-IPN, 59 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.
- Quiñonez Velazquez, C. 1999. Age validation and growth of larval and juvenile haddock *Melanogrammus aeglefinus*, and pollock *Pollachius virens*, on the Scotian Shelf. *Fishery Bulletin*, 97 (2): 306-319.
- Quiñonez Velázquez, C., J. R. López Olmos & C. I. Pérez Quiñonez. 2015. Survival of juvenile white mullet *Mugil Curema* (Mugilidae) in a coastal lagoon. *CICIMAR Oceánides*, 30(1): 21-32.
- 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. R. 1979. Growth rates and models. In W. S. Hoar, D. J. Randall, and J. R. Brett (eds.) *Fish physiology*, p. 677–743. Acad. Press, New York, NY.
- 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 Domínguez, M. 2015. Enfoque multimodelo en la descripción del crecimiento de la sardina crinuda (*Opisthonema libertate*) en la zona del Golfo de California. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. 58 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.
- Safran, P. 1992. Theoretical analysis of the weight-length relationship in fish juveniles. *Mar. Biol.*, 112: 545-551.
- SAGARPA. 2012. Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca. México.
- Saldierna-Martínez, R.J., G.R. Vera-Alejandre, F. de Lachica-Bonilla y M. Hernández-Rivas. 1997. Estrategias reproductivas de *Sardinops caeruleus* y *Opisthonema libertate* (Pisces: Clupeidae) en el Golfo de California, México. SEMARNAP. Instituto Nacional de la Pesca, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Memorias del Comité Técnico de Pelágicos Menores. 73-98.
- Shepherd, J. G. & D. H. Cushing. 1980. A mechanism for density-dependent survival of larval fish as the basis of a stock-recruitment relationship. *J. Cons. int. Explor., Mer.*, 39(2): 160-167.
- Soto Mardones, L., S. Marioni & A. Pares Sierra. 1999. Variabilidad espaciotemporal de la temperatura superficial del mar en el golfo de California. *Ciencias Marinas*, 25(1): 1-30.
- Sparre, P. & 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.
- Stevenson, D.K. & S.E. Campana [ed]. 1992. Otolith microstructure examination and analysis. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 117: 130 pp.
- Torres Ramírez, M. N. 2004. Nueva clave de identificación para la sardina crinuda del género *Opisthonema* (Gill 1861) en el Pacífico mexicano. Tesis Licenciatura. FACIMAR-UAS. 19 p.
- Valdez-Holguín, J. E. & J. R. Lara-Lara. 1987. Productividad Primaria en el Golfo de California efectos del evento El Niño 1982-1983. *Primary Productivity in the Gulf*

of California effects of El Niño 19821983 event: Ciencias Marinas Vol. 13(2): 34-50.

Whitehead, P. J. P. & Y. R. Rodríguez Sánchez. 1995. Clupeidae. Sardinas, 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.

Zweifel, J. R. & R. Lasker. 1976. Prehatch and posthatch growth of fishes – a general model. Fish. Bull. 74: 609-621.