



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



**EDAD Y CRECIMIENTO DEL PEZ GALLO**  
*(Nematistius pectoralis)* EN BAJA  
**CALIFORNIA SUR**

**TESIS**

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

**PRESENTA**

**RAFAEL CHÁVEZ ARELLANO**

**LA PAZ, B.C.S., JULIO DE 2018**





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

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 07 del mes de Junio del año 2018

El (la) que suscribe BM. RAFAEL CHÁVEZ ARELLANO Alumno (a) del Programa  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro B160649 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

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

DRA. SOFÍA ORTEGA GARCÍA Y DR. ULIANOV JAKES COTA

y cede los derechos del trabajo titulado:

"EDAD Y CRECIMIENTO DEL PEZ GALLO (*Nematistius pectoralis*)

EN BAJA CALIFORNIA SUR"

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: rafaelchavez707@gmail.com - sortege@ipn.mx - ujakes@ipn.mx

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

BM. RAFAEL CHÁVEZ ARELLANO

*Nombre y firma del alumno*

## **Agradecimientos**

Primero quiero agradecerle a mi Madre por apoyarme siempre, en cada paso de mi vida. Por siempre dejarme seguir mi rumbo, mis sueños y mis locuras. Gracias por todo ese apoyo que me brinda a pesar de la distancia. Gracias a esa persona que amo más que a todo en la vida.

A mi hermano Ollin David por apoyarme e impulsarme a seguir mis sueños y no detenerme hasta lograrlos.

De igual manera agradecer a uno de mis directores de tesis la doctora Sofia Ortega, ya que me permitió entrar a este laboratorio hace unos años y así poder realizar tanto mi tesis de licenciatura como de maestría, por todo ese conocimiento transmitido tanto para la vida laboral como para la vida cotidiana.

Al doctor Ulianov Jakes (Villa) por ese tiempo invertido y conocimiento transmitido para la realización de esta tesis, la paciencia y tolerancia. Por permitirme ser su amigo fuera del instituto.

A todo el comité (Dr. Rubén Rodríguez Sánchez, Dr. Leonardo Andrés Abitia Cárdenas y Dr. Rodrigo Moncayo Estrada) por su tiempo dedicado a este trabajo y a sus críticas constructivas para enriquecer y mejorar la tesis.

A CONACYT por otórgame una beca para poder realizar mis estudios de maestría.

Al IPN y al CICIMAR por darme la oportunidad de crecer de manera académica, al aceptarme en su programa de maestría.

A todos los compañeros de laboratorio, al tigre (Alfredo) por apoyar en la obtención de muestras ya que sin ellas no sería posible realizar ningún estudio y a Marisol por su ayuda con el mapa de este trabajo.

A Humberto (doctor) y Cesar por apoyarme en los tramites y todos los asuntos relacionados con servicios educativos. Y claro por ese cafecito mañanero.

Y por último, pero no por eso menos importantes a todos esos amigos que me apoyaron y siempre han estado presentes en mi vida. En particular a Julieta Sandoval por estar a mi lado y ser mi compañera de vida, gracias.

## Índice

Lista de figuras .....	I
Lista de tablas .....	III
Glosario .....	IV
Resumen .....	VI
Abstract .....	VII
1.- Introducción.....	1
2.- Antecedentes .....	5
3.- Justificación.....	7
4.- Objetivos .....	8
4.1.- Objetivo general .....	8
4.2.- Objetivos específicos.....	8
5.- Área de estudio .....	9
6.- Material y métodos.....	11
6.1.- Muestreo .....	11
6.2.- Laboratorio .....	12
6.3.- Selección de la estructura dura más adecuada para determinar la edad.....	14
6.3.1.- Relación lineal entre el radio de las estructuras duras y la longitud furcal del pez .....	14

6.3.2.-	Conteo de marcas de crecimiento .....	15
6.4.-	Periodicidad de formación de marcas de crecimiento .....	16
6.5.-	Estructura por edades .....	16
6.6.-	Crecimiento individual .....	17
6.7.-	Relacion longitud-peso .....	19
7.-	Resultados .....	20
7.1.-	Muestreo .....	20
7.2.-	Selección de la estructura dura más adecuada para determinar la edad.....	23
7.2.1.-	Relación lineal entre el radio de las estructuras duras y la longitud furcal del pez .....	23
7.2.2.-	Conteo de marcas de crecimiento .....	25
7.3.-	Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento.....	27
7.4.-	Estructura por edades .....	28
7.5.-	Crecimiento individual .....	29
7.6.-	Relación longitud-peso .....	31
8.-	Discusión.....	33
9.-	Conclusiones.....	41
10.-	Recomendaciones .....	42
11.-	Literatura citada .....	43

## Lista de figuras

Figura 1. Imagen del pez gallo ( <i>Nematistius pectoralis</i> ). (Imagen tomada de: <a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Nematistius_pectoralis#/media/File:Nematistius_pectoralis.jpg">https://es.wikipedia.org/wiki/Nematistius_pectoralis#/media/File:Nematistius_pectoralis.jpg</a> ) .....	3
Figura 2. Localización geográfica de los tres puntos donde se realizaron muestreos de pez gallo ( <i>Nematistius pectoralis</i> ).....	10
Figura 3. Imagen del pez gallo ( <i>Nematistius pectoralis</i> ), indicando su longitud furcal y área de recolecta de las escamas .....	12
Figura 4. Vista frontal de la cuarta espina de la aleta dorsal del pez gallo ( <i>Nematistius pectoralis</i> ). (C) es la distancia entre apófisis inferiores y C' corresponde a la misma distancia C medida desde la base (B) de la espina. El nivel de corte (A): está al 200% de C .....	13
Figura 5. Vista distal de otolito del pez gallo ( <i>Nematistius pectoralis</i> ) mostrando el sitio de corte .....	14
Figura 6. Estructura de tallas del pez gallo ( <i>Nematistius pectoralis</i> ) muestreados por localidad en Baja California Sur en el periodo 2010-2017 .....	21
Figura 7. Frecuencia relativa de organismos de pez gallo ( <i>Nematistius pectoralis</i> ) muestreado por mes en Baja California Sur en el periodo 2010-2017 .....	22

Figura 8. Frecuencia relativa de machos, hembras e indiferenciados de pez gallo (*Nematistius pectoralis*) muestreado en Baja California Sur en el periodo 2010-2017 ..... 23

Figura 9. Relación lineal entre el radio de las estructuras duras y la longitud furcal del pez gallo (*Nematistius pectoralis*) muestreados en Baja California Sur en el periodo 2010 - 2017. A) Otolitos, B) Espinas y C) Escamas..... 24

Figura 10. Marcas de crecimiento de la escama (A), espina (B) y otolito (C) del pez gallo (*Nematisitus pectoralis*) muestreados en Baja California Sur en el periodo 2010-2017 ..... 26

Figura 11. Porcentaje mensual de aparición de bordes opacos e hialinos en cortes transversales de otolitos del pez gallo (*Nematistius pectoralis*) muestreados en Baja California Sur en el periodo 2010-2017 ..... 28

Figura 12. Estructura de edades del pez gallo (*Nematistius pectoralis*) muestreados por localidad en Baja California Sur en el periodo 2010–2017 ... 29

Figura 13. Curvas de crecimiento individual del pez gallo (*Nematistius pectoralis*) muestreados en Baja California Sur en el periodo 2010-2017..... 30

Figura 14. Relación longitud-peso del pez gallo (*Nematistius pectoralis*) muestreados en Baja California Sur en el periodo 2010-2017. A) Machos; B) Hembras y C) Sexos combinados ..... 32

## Lista de tablas

Tabla I. Número de organismos de pez gallo ( <i>Nematistius pectoralis</i> ) muestreados por localidad en Baja California Sur en el periodo 2010-2017....	20
Tabla II. Parámetros de la relación lineal entre el radio de la estructura dura y la longitud furcal del pez gallo ( <i>Nematistius pectoralis</i> ) muestreados en Baja California Sur en el periodo 2010-2017.....	25
Tabla III. Valores del coeficiente de variación de las 3 estructuras duras utilizadas para el conteo de marcas de crecimiento del pez gallo ( <i>Nematistius pectoralis</i> ) muestreados en Baja California Sur en el periodo 2010-2017.....	27
Tabla IV. Valores de los parámetros de los modelos de crecimiento individual (von Bertalanffy, Gompertz y Logístico) del pez gallo ( <i>Nematistius pectoralis</i> ) muestreados en Baja California Sur en el periodo 2010-2017 .....	30
Tabla V. Parámetros de la relación longitud-peso del pez gallo ( <i>Nematistius pectoralis</i> ) muestreados en Baja California Sur en el periodo 2010-2017.....	33

## **Glosario**

**Apófisis:** Parte saliente de un hueso que sirve para permitir algún tipo de articulación o para insertar los músculos correspondientes.

**Banda hialina:** Zona concéntrica en una estructura esquelética que permite el paso de la luz, aparece traslúcida con luz transmitida y oscura con luz reflejada, generalmente se forma en el período de crecimiento lento.

**Banda opaca:** Zona concéntrica en una estructura esquelética que inhibe el paso de la luz, aparece oscura con luz transmitida y traslúcida con luz reflejada, generalmente se forma en el período de crecimiento rápido.

**Crecimiento:** Proceso mediante el cual los organismos incrementan su tamaño, ya sea en longitud o peso, a través de todo el desarrollo ontogénico.

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

**Grupo de edad:** Grupo de peces que tienen la misma edad.

**Marca de crecimiento:** Zona concéntrica, banda o marca que puede ser una cresta o valle, opaca o traslúcida y cuya deposición se encuentra asociada a un período de tiempo determinado (e.g., día, año). Las dimensiones, la composición química y el período de formación varían ampliamente dependiendo de la estructura dura involucrada.

**Pelágico costero:** Especies que habitualmente se encuentran en las capas superficiales del agua sobre la plataforma continental e insular.

**Tipo de borde:** Deposición opaca o hialina sobre el borde de una estructura esquelética que representa el crecimiento más reciente.

**Validación:** Confirmación del significado temporal de una marca de crecimiento.

## Resumen

El pez gallo *Nematistius pectoralis* es un pelágico costero de gran tamaño que habita aguas someras del Océano Pacífico Oriental. Es de gran importancia para el ecosistema debido a que como depredador influye sobre la estructura y función de otras poblaciones de peces, y al ser un trofeopreciado para la pesca deportiva es de gran importancia económica. En este trabajo se muestrearon 373 organismos (26% machos, 31% hembras y 43% indiferenciados) de 2010 a 2017 en Baja California Sur de los cuales se registró la longitud furcal (LF), peso, sexo, y se recolectó la aleta dorsal, otolitos sagittae y escamas. El intervalo de tallas muestreado fue de 5.2 a 133 cm LF, predominando organismos de 40 a 80 cm (56% del total de ejemplares). Sobre la base de los valores de  $R^2$  estimados para las relaciones lineales entre los radios de las estructuras duras ( $R_t$ ) y LF, así como los valores del coeficiente de variación (CV) entre lectores de las tres estructuras duras analizadas (espinas dorsales, otolitos y escamas), los otolitos resultaron ser los más adecuados para la estimación de la edad por presentar el  $R^2$  más alto (0.95) y el CV más bajo (5.67). Por medio del análisis mensual del tipo de borde en los otolitos se encontró que las marcas de crecimiento en otolitos, analizadas en este estudio, tienen una periodicidad de formación anual. Se encontró que los organismos muestreados pertenecen a 9 grupos de edad (0 – 8), siendo los grupos 1 y 2 los más abundantes. Los datos de longitud-edad fueron ajustados a tres modelos de crecimiento individual (von Bertalanffy, Gompertz y Logístico), los que de acuerdo con el criterio de información de Akaike, el modelo de von Bertalanffy fue el que describió mejor el crecimiento individual de la especie ( $L_\infty = 130.94$ ,  $k = 0.36$ ,  $t_0 = -0.26$ ). La relación longitud-peso indicó un crecimiento alométrico negativo ( $b=2.85$ ) sin diferencias significativas entre sexos ( $p>0.05$ ).

## Abstract

The roosterfish *Nematistius pectoralis* is a large coastal pelagic fish that inhabits shallow waters in the Eastern Pacific Ocean. It plays a key role in the marine ecosystem as a predator that influences the structure and function of other fish populations, and is also a valued trophy in sport fishing, hence being of great economic importance. This work sampled 373 individuals (26% males, 31% females, and 43% undifferentiated individuals) from 2010 to 2017 in Baja California Sur, of which the fork length (LF), weight and sex were recorded, and the dorsal fin, otoliths, sagittae, and scales were collected. The sizes sampled ranged between 5.2 and 133 cm LF, dominated by organisms from 40 to 80 cm LF (56% of the total number of individuals). Based on the estimated  $R^2$  values for the linear relationships between the ratios between hard structures ( $R_t$ ) and LF, as well as the coefficient of variation (CV) among readers of the three hard structures analyzed (dorsal spines, otoliths and scales), otoliths proved to be the most suitable structures to estimate age, as these achieved the highest  $R^2$  (0.95) and the lowest CV (5.67). The monthly analysis of the type of edge in otoliths revealed that growth marks in the otoliths analyzed in this study show are formed with annual periodicity. The organisms sampled were found to belong to 9 age groups (0-8), with groups 1 and 2 as the most abundant. The age-length data were fitted to three models of individual growth (von Bertalanffy, Gompertz and Logistic); according to the Akaike information criterion, the von Bertalanffy model was the one that best described the individual growth of the species ( $L_\infty = 130.94$ ,  $k = 0.36$ ,  $t_0 = -0.26$ ). The length-weight relationship indicated a negative allometric growth ( $b = 2.85$ ) with no significant differences between sexes ( $p > 0.05$ ).

## 1.- Introducción

Los ambientes marinos se separan inicialmente en pelágicos, correspondientes a la columna de agua y los bentónicos, correspondientes al fondo marino (Hedgpeth, 1957). Peres (1961) y Briggs (1974) coincidentemente, consideran un "dominio" pelágico y un "dominio" bentónico. Los peces pelágicos son animales que se encuentran viviendo y alimentando en la columna de agua de los océanos, lagos, estuarios y grandes ríos, en tanto que los bentónicos se encuentran sobre el sustrato o en relación con el mismo (Cervigón y Fisher, 1979; Bailey, 1992).

Los peces pelágicos pueden categorizarse de tres maneras. a) Dependiendo del tamaño corporal en su etapa adulta: si es mayor a un metro es considerado pelágico mayor y si es menor a 50 centímetros es considerado pelágico menor, las especies con organismos adultos de 50 a 100 centímetros, como el barrilete, son agrupadas con las especies de pelágicos mayores. b) Dependiendo del ambiente que ocupan ya sea costero u oceánico: los pelágicos costeros habitan aguas de hasta 200 m de profundidad, por lo general por encima de la plataforma continental, y los pelágicos oceánicos habitan aguas por debajo de la plataforma continental. Algunos peces oceánicos se convierten en residentes parciales de las aguas costeras, a menudo durante las diferentes etapas de su ciclo de vida. c) Dependiendo del nivel en la cadena trófica en el que se encuentran: los pelágicos menores se encuentran en niveles intermedios, mientras que los pelágicos mayores normalmente son de niveles altos o están en el segundo nivel de depredadores (Hobday *et al.*, 2009).

Sobre la base de las definiciones anteriores, el pez gallo (*Nematistius pectoralis* Gill, 1862) es un pelágico costero que pertenece a la familia Nematistiidae. La característica externa más notable de esta especie es la presencia de siete espinas dorsales muy alargadas (forma de cresta de gallo), que además de darle su nombre común (Rosenblatt y Bell 1976), la distingue fácilmente de cualquier otra especie (Niem, 1995) (Fig. 1). Es una especie que puede alcanzar hasta 191 cm de longitud total y más de 50 kg (Robertson y Allen, 2015). Habita en el océano Pacífico, desde el

sur de California, E.U.A. hasta Isla San Lorenzo en Perú, incluyendo el Golfo de California y las Islas Galápagos (Love *et al.*, 2005). El pez gallo es un pelágico que juega un papel dominante como depredador en el ecosistema (Love *et al.*, 2005; Sepúlveda *et al.*, 2015). Habita principalmente áreas costeras, los juveniles a menudo se encuentran en pozas de marea en tanto que los adultos se distribuyen en áreas cercanas a arrecifes y bancos de arena (Niem, 1995; Sepúlveda *et al.*, 2015). En cuanto a hábitos alimentarios se considera un depredador especialista que se alimenta principalmente de mojarras y anchovetas a profundidades entre 3 y 4 metros, (Rodríguez-Romero *et al.*, 2009).

Su clasificación taxonómica es la siguiente (Nelson *et al.*, 2016):

**Reino:** Animalia

**Phylum:** Chordata

**Subphylum:** Craniata

**Infraphylum:** Vertebrata

**Superclase:** Gnathostomata

**Clase:** Osteichthyes

**Subclase:** Actinopterygii

**División:** Teleostei

**Subdivisión:** Teleostei

**Supercohort:** Teleocephala

**Cohorte:** Euteleostei

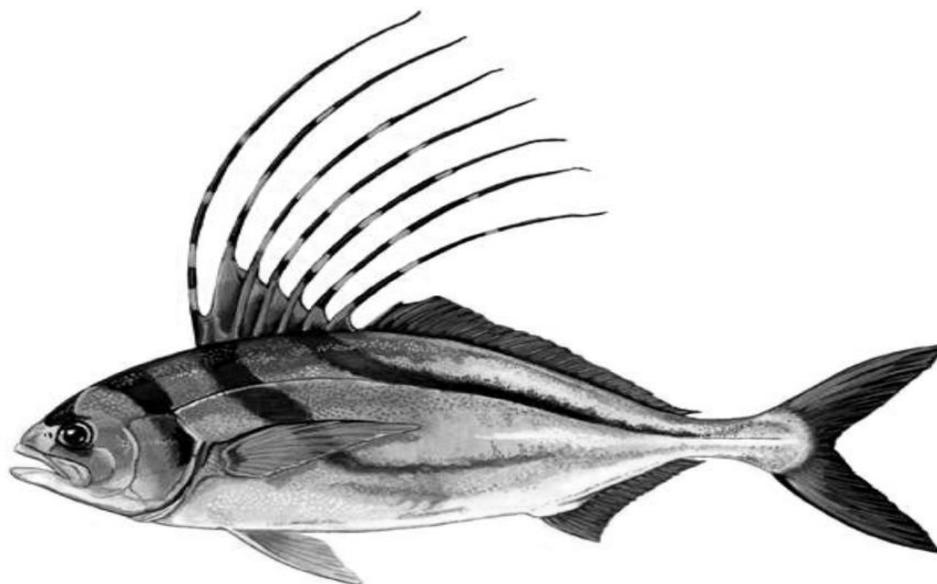
**Superorden:** Acanthopterygii

**Orden:** Carangiformes

**Familia:** Nematistiidae Gill, 1862

**Género:** *Nematistius* Gill, 1862

**Especie:** *Nematistius pectoralis* Gill, 1862



**Figura 1.** Imagen del pez gallo (*Nematistius pectoralis*). (Imagen tomada de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Nematistius\\_pectoralis#/media/File:Nematistius\\_pectoralis.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Nematistius_pectoralis#/media/File:Nematistius_pectoralis.jpg)).

El pez gallo posee cuerpo alargado y muy comprimido, elevado en su parte anterior y con un perfil dorsal fuertemente convexo. Posee una aleta dorsal con VIII espinas (la primera pequeña, las demás muy largas y filamentosas), y de 26 a 28 radios blandos; aleta anal con dos espinas y 15 a 17 radios blandos, aletas pectorales mucho más largas que las pélvicas y una aleta caudal profundamente ahorquillada. Escamas pequeñas cicloides, línea lateral bien desarrollada sin escudetes. Color: dorso gris iridiscente, vientre plateado, una mancha oscura en el hocico y una franja oscura en el espacio interorbitario y otra, desde la nuca hasta el opérculo, posee dos franjas o estrías diagonales oscuras en los flancos, dorsales con bandas claras y oscuras alternadas y zona ventral de las aletas pectorales negras (Niem, 1995).

En el océano Pacífico Centroamericano, el pez gallo se captura comercialmente con redes de arrastre y varios tipos de redes artesanales (Niem, 1995); además, al igual que en México se captura con caña y anzuelo en la pesca deportiva (Niem, 1995, DOF, 2013).

En México, su captura está destinada de manera exclusiva a la flota deportiva dentro de una franja costera de 50 millas náuticas contadas a partir de la línea base desde la cual se mide el mar territorial, limitándose su captura a dos ejemplares por día por pescador según la NOM-017-PESC-1994 (DOF, 2013). Este organismo es considerado un trofeo preciado en la pesca deportiva, actividad lucrativa que permite la generación de empleos tanto directa como indirectamente en la industria turística a lo largo de la costa oeste de la península de Baja California y el Mar de Cortés (Ditton *et al.*, 1996; Sosa-Nishizaki, 1998).

Es un organismo altamente sensible frente a las variaciones ambientales, las cuales, de acuerdo con su intensidad, pueden producir fluctuaciones extraordinarias en su abundancia, desorganización de cardúmenes y alteraciones en su condición fisiológica (Kameya *et al.*, 2001). Particularmente en las costas de Perú se le ha considerado como un indicador biológico, ya que su abundancia se incrementa en aproximadamente un 50% durante los fenómenos El Niño (Kameya *et al.*, 2001).

La edad y crecimiento en los peces son procesos que están estrechamente relacionados y su estimación es de gran importancia, ya que nos permite evaluar aspectos clave de su dinámica y estructura poblacional, las cuales se pueden ver alteradas ya sea por causas naturales o por actividades del ser humano (Sparre y Venema, 1997). Uno de los métodos más usados para determinar la edad es el conteo y análisis de las discontinuidades o marcas que se producen en estructuras duras como otolitos, escamas, vértebras y espinas, las cuales están formadas por una matriz orgánica sobre la cual se deposita periódicamente carbonato de calcio (Panfili *et al.*, 2002). Dichas marcas son estructuras circulares concéntricas bien definidas en forma de líneas con tonalidades alternadas opacas e hialinas, y su formación puede obedecer a cambios ambientales o cambios fisiológicos de la especie (Campana y Thorrold, 2001).

La estimación de la edad y crecimiento individual es un paso fundamental en la explicación de la biología de las especies de peces. Los parámetros estimados a partir

de la edad son la base de los modelos de dinámica de poblaciones utilizados en el análisis de pesquerías. A partir de ellos pueden ser determinados otros datos básicos, tales como: la estructura de edades, edad de primera madurez, frecuencia de desove, y las respuestas individuales y poblacionales frente a cambios en el hábitat (Morales-Nin, 1991).

Considerando la escasez de estudios de edad sobre esta especie y que la elección de la estructura dura es un paso esencial para la determinación de la edad y el crecimiento, en este estudio se seleccionó, de entre escamas, espinas y otolitos, la estructura más adecuada para determinar la edad y consecuentemente los parámetros de crecimiento individual del pez gallo.

## **2.- Antecedentes**

Los pocos estudios que hasta la fecha se han realizado sobre pez gallo se han enfocado en aspectos de alimentación, telemetría acústica, edad y crecimiento.

Rodríguez-Romero *et al.* (1994) observaron que este recurso se encuentra permanentemente en Bahía Concepción, B.C.S., siendo una especie dominante con abundancia y biomasa altas en el mes de mayo (primavera), aparentemente relacionadas con su actividad alimenticia y/o reproductiva. Por su parte, Moreno-Sánchez (2004) considera que el pez gallo es una especie residente en la zona de Bahía Almejas B.C.S., pero no permanente, ya que presenta cambios estacionales notorios en su captura.

Rodríguez-Romero *et al.* (2009) determinaron cualitativa y cuantitativamente el espectro trófico de juveniles de pez gallo en Bahía Almejas, B.C.S., México, identificaron 10 especies presa, de las cuales 9 fueron peces y un cefalópodo, por lo que determinaron que el pez gallo es un depredador ictiófago activo, el cual incide principalmente en especies de peces que forman cardúmenes.

Sepúlveda *et al.* (2015) en las costas de Costa Rica, utilizaron telemetría acústica para determinar los movimientos horizontales y verticales del pez gallo en periodos de tiempo cortos y así poder evaluar la supervivencia inmediata después de ser capturados. Encontraron que sobrevive a los efectos agudos de la captura, que pasa el 90% del tiempo entre la superficie y los 12 m de profundidad, aunque puede alcanzar profundidades de hasta 62 m.

Chávez Arellano (2016) evaluó el uso de las primeras cinco espinas de la aleta dorsal del pez gallo para determinar la edad y el crecimiento, encontró que en los cortes transversales de la cuarta espina de la aleta dorsal es posible observar y contar las marcas de crecimiento con facilidad relativa. Sin embargo, no estimó los parámetros de crecimiento individual debido a que no validó la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento.

Ortega-García *et al.* (2017) analizaron incrementos de crecimiento diario en otolitos sagittae de individuos capturados en El Golfo Dulce, Costa Rica y el sur de la península de Baja California Sur, México. Encontraron que los incrementos diarios de crecimiento en otolitos sagittae solo pueden ser utilizados en individuos con una talla aproximada de 66 cm de longitud furcal (hasta 1 año de edad), ya que en individuos de tallas mayores no es posible contar los incrementos diarios con precisión. También reportan valores de los parámetros de crecimiento individual utilizando el modelo de von Bertalanffy.

Si bien para el pez gallo se han realizado pocos estudios de edad y crecimiento, en otros pelágicos mayores, se han utilizado diversas estructuras duras, como las espinas de la aleta dorsal (marlín azul; Jakes-Cota, 2008), escamas (dorado; Alejo-Plata *et al.*, 2011), y otolitos (dorado; Solano-Fernández, 2007).

En un estudio realizado en las Islas Canarias, Delgado de Molina y Santana (1986) encontraron que la edad y el crecimiento del atún patudo (*Thunnus obesus* Lowe, 1839) podían ser estimados mediante el conteo de bandas de crecimiento en

cortes transversales de la primera espina de la primera aleta dorsal. Además, estudios realizados en otras especies de túnidos como el atún aleta amarilla (*Thunnus albacares* Bonnaterre, 1788) y el bonito (*Euthunnus alletteratus* Rafinesque, 1810), revelan que las espinas de la aleta dorsal son útiles para determinar la edad y crecimiento, y que la periodicidad de formación de marcas de crecimiento en esas estructuras es anual (Lessa y Duarte-Neto, 2004; Alcaraz-García, 2012).

En especies de peces de pico como el pez vela (*Istiophorus platypterus* Shaw, 1792), marlin rayado (*Kajikia audax* Philippi, 1887), marlin azul (*Makaira nigricans* Lacepède, 1802) y pez espada (*Xiphias gladius* Linnaeus, 1758) es común que se utilicen cortes transversales de las espinas de las aletas anal o dorsal para determinar la edad y los parámetros de crecimiento individual mediante el conteo de bandas de crecimiento (Alvarado-Castillo, 1993; Demartini *et al.*, 2007, Ramírez-Pérez *et al.*, 2011). Asimismo, diversos autores han encontrado que en estas especies las marcas de crecimiento registradas en las espinas de las aletas anal y dorsal tienen una periodicidad de formación anual (Melo-Barrera *et al.*, 2004; Jakes-Cota, 2008; Chong y Aguayo, 2009; Rubio-Castro, 2011).

### **3.- Justificación**

El pez gallo es considerado un trofeo preciado en la pesca deportiva y en México, al ser una especie reservada a dicha actividad, soporta operaciones deportivas lucrativas que permiten la generación de empleos tanto directa como indirectamente en la industria turística, particularmente a lo largo de la costa oeste de la península de Baja California Sur y el Mar de Cortés (Sosa-Nishizaki, 1998; Rodríguez-Romero *et al.*, 2009).

Además de la importancia económica, esta especie junto con otros pelágicos mayores tiene una gran importancia ecológica debido a su papel como depredadores en el ecosistema marino, ya que tienen una influencia fundamental sobre la estructura y la función de las poblaciones (Heithaus *et al.*, 2008).

A la fecha son pocos los estudios científicos sobre su biología básica, tanto a nivel nacional como internacional (Ortega-García *et al.*, 2017, Chávez-Arellano, 2016, Sepúlveda *et al.*, 2015). Aunque el pez gallo no es una especie explotada comercialmente en México, si es capturada por la flota deportiva con regularidad, por lo que la información generada en el presente trabajo será de gran utilidad para conocer el estado actual de la población y podría ser utilizada en un futuro poder evaluar cambios asociados a la pesca o al ambiente.

#### **4.- Objetivos**

##### **4.1.- Objetivo general:**

- Estimar la edad y los parámetros de crecimiento individual del pez gallo *Nematistius pectoralis* muestreado durante 2010-2017 en Baja California Sur, México.

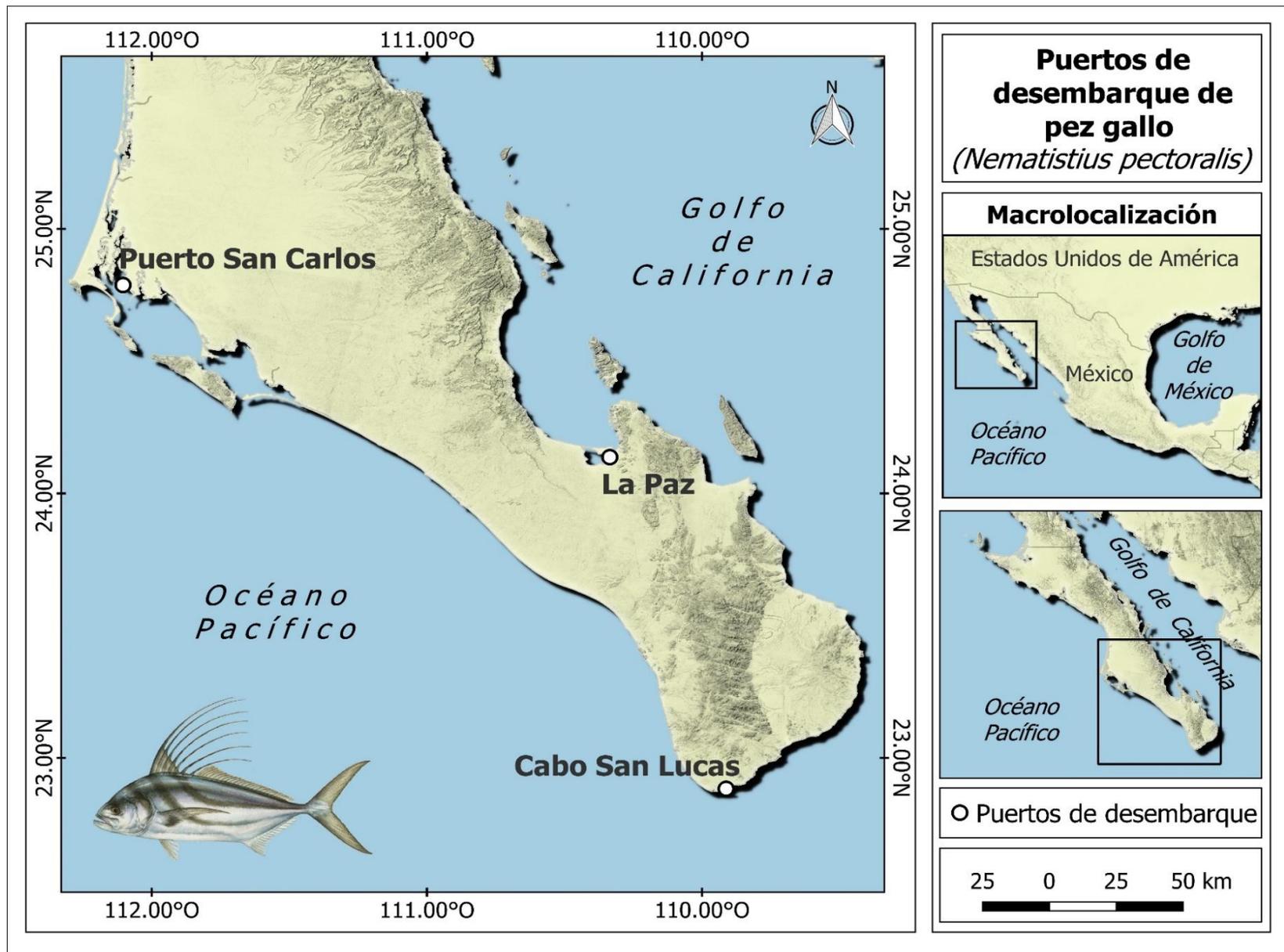
##### **4.2.- Objetivos específicos:**

- Determinar la estructura de tallas del pez gallo.
- Seleccionar la estructura dura más adecuada para determinar la edad del pez gallo.
- Validar la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento del pez gallo.
- Determinar la estructura por edades del pez gallo.
- Estimar los parámetros de crecimiento individual del pez gallo.
- Estimar los parámetros de la relación longitud-peso del pez gallo.

## 5.- Área de estudio

El presente trabajo se realizó con peces muestreados en la zona sur de la península, aproximadamente entre los 22.6° y 24.7° N y 109.2° y 112.1° W (Fig. 2), esta zona presenta un sistema notable de “frentes oceánicos”, los cuales se deben principalmente a la convergencia de tres masas de agua superficiales:

- 1) Agua de la Corriente de California (ACC), proveniente del norte que se desplaza a lo largo de la costa occidental de Baja California. Su principal característica son sus temperaturas menores a 18°C (Lavín *et al.*, 1997).
- 2) Agua superficial Ecuatorial (ASE), proveniente del sureste con temperatura distintiva de 18°C o mayor, presente durante todo el año en la boca del Golfo de California (Lavín *et al.*, 1997).
- 3) Agua del Golfo de California (AGC), con temperaturas mayores o iguales a 12°C y altamente salina (Lavín *et al.*, 1997).



**Figura 2.** Localización geográfica de los tres puntos donde se realizaron muestreos de pez gallo (*Nematistius pectoralis*).

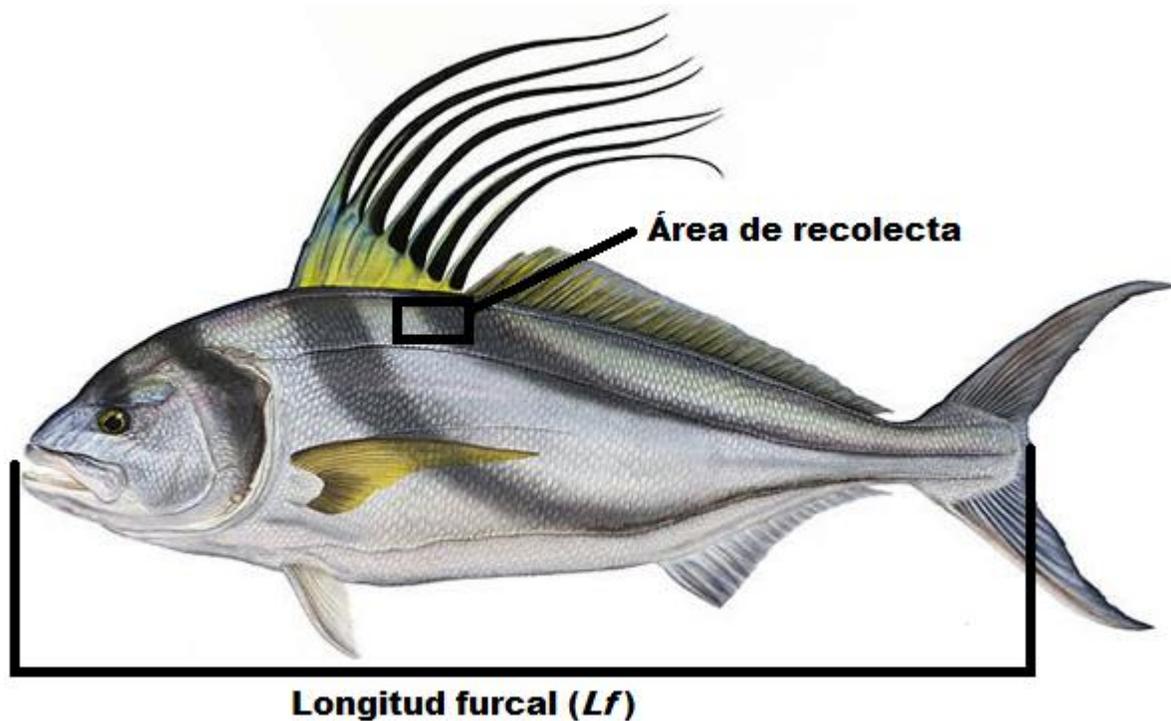
## 6.- Material y métodos

### 6.1.- Muestreo

A través de las actividades del proyecto de investigación “Pelágicos Mayores” del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN), y particularmente de los proyectos SIP20141071 y SIP20150861 se realizaron muestreos biológicos de pez gallo desembarcado por la flota deportiva de Cabo San Lucas, B.C.S. durante tres días consecutivos de cada mes durante el periodo 2010-2017; con la finalidad de tener mejor representado el intervalo de tallas para la estimación de los parámetros de crecimiento individual del pez gallo, se complementaron las muestras con organismos capturados en torneos de pesca deportiva en La Paz, B.C.S. durante 2014-2017 y con organismos capturados incidentalmente por las flotas artesanales que operan en La Paz y San Carlos, B.C.S. en 2015. Además se contó con dos organismos pequeños que se capturaron incidentalmente en un chinchorro de oportunidad.

Para cada ejemplar de pez gallo al que se tuvo acceso durante los muestreos, se registró la longitud furcal (*LF*), el peso total (*PT*) y el sexo (Fig. 3). La *LF* se midió con una cinta métrica flexible ( $\pm 1$  cm), el peso por medio de una báscula (con resolución de  $\pm 0.1$  kg) y el sexo se determinó a través de la observación directa de las gónadas.

De cada uno de los organismos se recolectó la primera aleta dorsal, escamas y otolitos. La aleta dorsal se extrajo desde la base, las escamas se recolectaron de la región localizada por encima de la línea lateral al final de la primera aleta dorsal en el costado izquierdo como es recomendado por Ehrhardt (1981; Fig. 3) y los otolitos recolectados correspondieron a los *sagittae*. Cada estructura dura se almacenó etiquetada con los datos de recolecta y número de referencia para su posterior análisis en laboratorio.

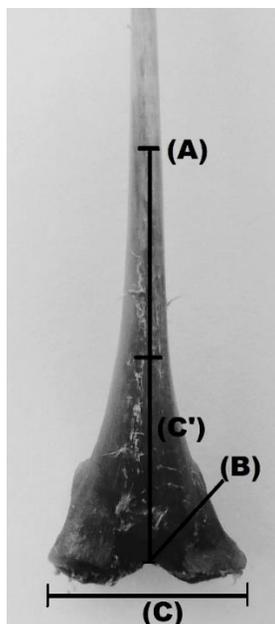


**Figura 3.** Imagen del pez gallo (*Nematistius pectoralis*), indicando su longitud furcal y área de recolecta de las escamas.

Para representar la estructura de tallas del pez gallo, los datos de longitud furcal se agruparon en intervalos de 10 cm y se generaron histogramas de frecuencias.

## 6.2.- Laboratorio

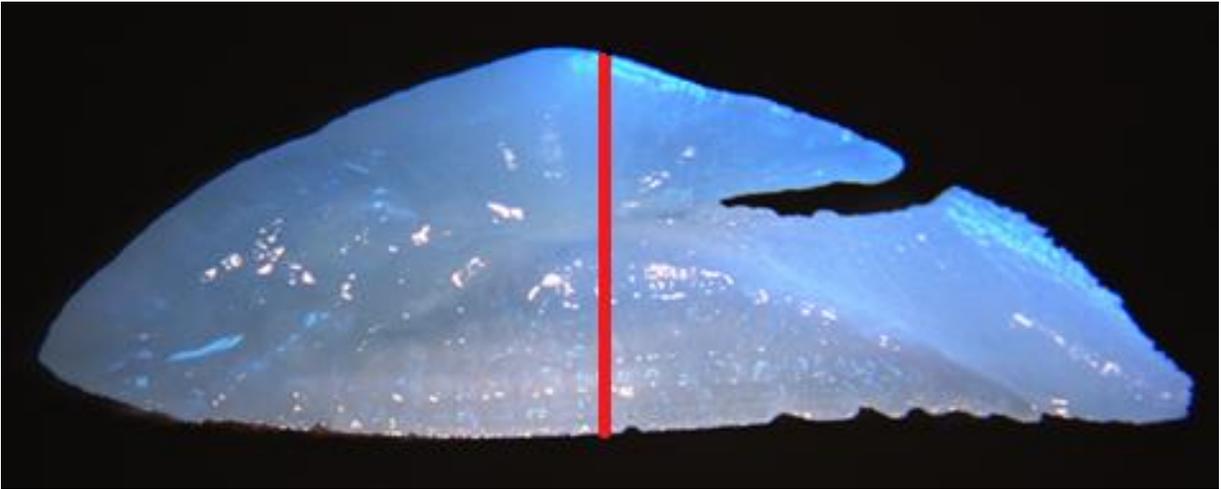
Espinas: en el laboratorio se descongelaron las aletas dorsales y se procedió a la limpieza de la 4ta espina de cada una de ellas. De cada 4ta espina se midió la distancia entre las apófisis de la base con un vernier de precisión 0.05 mm (marca Helios). Esta medida se utilizó como unidad de referencia para establecer, desde la base y sobre el eje principal de la misma espina el nivel de corte (Fig. 4), el cual corresponde al 200% de la unidad de referencia (Chávez-Arellano, 2016). En ese nivel, se realizaron cortes transversales de 0.45 mm de grosor con una cortadora de baja velocidad (marca Buehler, modelo 11-1280-160) equipada con un disco con borde de diamante (Diamond Wafering Blade, serie 15HC).



**Figura 4.** Vista frontal de la cuarta espina de la aleta dorsal del pez gallo (*Nematistius pectoralis*). (C) es la distancia entre apófisis inferiores y C' corresponde a la misma distancia C medida desde la base (B) de la espina. El nivel de corte (A): corresponde al 200% de C.

Escamas: de cada organismo se lavaron las escamas con agua y jabón, y se seleccionaron de 10 a 15 de ellas para montarlas entre dos portaobjetos unidos con cinta adhesiva, anotando el número de identificación de cada organismo.

Otolitos: Los otolitos *sagittae* de cada individuo se limpiaron, secaron, y almacenaron en seco en viales de plástico etiquetados. Posteriormente se incluyeron en resina epóxica transparente y se dejaron secar por 24 horas, transcurrido el tiempo de secado se realizaron cortes transversales de 0.5 mm de grosor (incluyendo al núcleo, Fig. 5) con una cortadora de baja velocidad (marca Buehler, modelo 11-1280-160) equipada con un disco con borde de diamante (Diamond Wafering Blade, serie 15HC). Los cortes se montaron en portaobjetos con cyto seal y se dejaron secar por 24 horas. Teniendo los cortes montados en los portaobjetos se realizó el procedimiento de pulido, esto con ayuda de agua y lijas micrométricas con tamaño de grano decreciente (15 a 3 micras). Por último, se pulieron con alumina de 0.3 micras para darle un acabado de espejo y poder observar claramente las marcas de crecimiento.



**Figura 5.** Vista distal de otolito del pez gallo (*Nematistius pectoralis*) mostrando el sitio de corte.

### **6.3.- Selección de la estructura dura más adecuada para determinar la edad**

#### **6.3.1.- Relación lineal entre el radio de las estructuras duras y la longitud furcal del pez**

Para la selección de la estructura dura más adecuada para determinar la edad, del total de ejemplares muestreados, se seleccionó una submuestra de hasta 4 organismos por intervalo de talla de 10 cm LF, en algunos intervalos se contó con menor número de organismos. Las estructuras duras (cortes transversales de la cuarta espina, escama y cortes transversales de otolito) de estos organismos se fotografiaron con una cámara digital (marca Carl Zeiss, modelo AxioCamMRc 5) adaptada a un estereoscopio (marca Carl Zeiss, modelo Stemi SV11). Se registraron para cada imagen las variables ópticas con que fue elaborada (nivel de aumento y objetivo utilizado), mismas que se utilizaron para la calibración métrica de las imágenes (software AxioVisión versión 4.6) para poder realizar en ellas medidas. Posteriormente, se midió el radio total de cada estructura sobre las imágenes digitales.

La relación del radio de cada estructura dura ( $Rt$ ) con la longitud del pez ( $LF$ ) se evaluó a través de un análisis de regresión lineal (Daniel, 2012).

$$LF = a + b * Rt$$

donde:

$LF$  = Longitud furcal

$Rt$  = Radio total de la estructura dura

$a$  = Intercepto

$b$  = Pendiente de la recta

### 6.3.2.- Conteo de marcas de crecimiento

Las bandas contenidas en los cortes de las estructuras duras fueron contadas por dos lectores de manera independiente. El conjunto de una banda opaca seguida por una banda hialina fue considerado como una marca de crecimiento. Una vez contabilizadas por ambos lectores, se evaluó su precisión o consistencia por estructura dura mediante el coeficiente de variación (Chang, 1982):

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

donde:

$CV_j$  = Coeficiente de variación estimado para la  $j$ -ésima estructura.

$X_{ij}$  = El  $i$ -ésimo conteo de la  $j$ -ésima estructura.

$X_j$  = Promedio de marcas de crecimiento de la  $j$ -ésima estructura.

$R$  = El número de conteos realizados por estructura.

Valores de  $CV$  inferiores al 10% se consideran adecuados (Morison *et al.*, 1998).

La estructura dura seleccionada para determinar la edad correspondió a aquella en donde se obtuvo una mayor precisión en el conteo de marcas de crecimiento ( $CV$  más bajo) y una mayor correspondencia entre el aumento en tamaño de la estructura dura ( $Rt$ ) con el aumento en longitud ( $LF$ ) de los organismos, denotado por la regresión lineal con el valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) más alto.

Una vez seleccionada la estructura dura más adecuada para la estimación de la edad del pez gallo, se procedió a realizar el conteo de marcas en dicha estructura para todos los peces muestreados.

#### **6.4.- Periodicidad de marcas de crecimiento**

Para inferir la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento (asignar una unidad de tiempo a las marcas observadas) se utilizó un método cualitativo, el cual consistió en analizar el tipo de borde que presenta la estructura dura. Para ello se representó en una gráfica el porcentaje mensual de aparición de bordes opaco e hialino, mismos que fueron estimados para cada mes como la composición relativa de bordes opacos e hialinos observados en el total del mes analizado.

El porcentaje mensual de bordes opacos y hialinos se relacionó con los promedios mensuales de la temperatura superficial del mar, la cual fue derivada de composiciones mensuales imágenes de satélite del sensor MODIS-Aqua con una resolución de 1.1 km ([http://spg.ucsd.edu/Satellite\\_Projetcts/Satellite\\_projects.htm](http://spg.ucsd.edu/Satellite_Projetcts/Satellite_projects.htm)).

La presencia de un máximo de bordes opacos y uno de hialinos en un ciclo anual indica que la formación de marcas de crecimiento observadas es anual (Campana, 2001).

#### **6.5.- Estructura por edades**

Se estimó la frecuencia de aparición de los individuos por cada grupo de edad y se representó mediante histogramas.

## 6.6.- Crecimiento individual

Para estimar los parámetros de crecimiento individual del pez gallo se utilizaron 3 modelos: Gompertz (Gompertz, 1825), Logístico (Ricker, 1975) y von Bertalanffy (Pauly, 1979).

El modelo de Gompertz está representado por una curva sigmoidea y cuenta con un punto de inflexión, ha demostrado describir bien el crecimiento de muchas especies acuáticas (Katsanevakis, 2006). En pesquerías describe particularmente el crecimiento de larvas (Prager *et al.*, 1987) y en la acuicultura es muy utilizado debido a que los estudios de crecimiento incluyen edades muy jóvenes (Cadima, 2003). La expresión matemática del modelo es la siguiente:

$$LF_t = L_\infty e(-e^{-k_2(t-t_2)})$$

donde:

$LF_t$  = Longitud a la edad  $t$  (furcal en cm)

$L_\infty$  = Longitud máxima promedio (furcal en cm)

$k_2$  = 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

$t$  = Edad en años

El modelo Logístico de crecimiento individual, al igual que el de Gompertz, es representado por una curva sigmoidea y cuenta con un punto de inflexión. La diferencia es que en este modelo la curva es simétrica. Es un modelo que tiende a caracterizar bien el crecimiento cuando éste es relativamente lento en estadios tempranos de vida (Griffiths *et al.*, 2010). La expresión matemática del modelo es la siguiente:

$$LF_t = L_\infty (1 + e^{-k_3(t-t_3)})^{-1}$$

donde:

$LF_t$  = Longitud a la edad  $t$  (furcal en cm)

$L_{\infty}$  = Longitud máxima promedio (furcal en cm)

$k_3$  = Tasa relativa de crecimiento

$t_3$  = Punto de inflexión de la curva sigmoidea

$t$  = Edad en años

El modelo de von Bertalanffy representa adecuadamente el crecimiento observado en la mayoría de las especies de peces y sus parámetros pueden interpretarse biológicamente; además, es ampliamente utilizado por una gran cantidad de autores, por lo que facilita la comparación de resultados con otros estudios (Sparre y Venema, 1997). La expresión matemática del modelo es la siguiente:

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

donde:

$LF_t$  = Longitud a la edad  $t$  (furcal en cm)

$L_{\infty}$  = Longitud máxima promedio (furcal en cm)

$k$  = Coeficiente o tasa de crecimiento individual

$t_0$  = Edad hipotética cuando la longitud es igual a 0

$t$  = Edad

Para seleccionar el modelo que mejor describe los datos de crecimiento individual del pez gallo, se siguió el criterio de Akaike (AIC), considerando para ello la suma de cuadrados de los residuales (SCR), así como el número de parámetros de cada modelo ( $z$ ) (Burnham y Anderson, 2002).

$$AIC = n \left( \log \left( 2\pi \frac{SCR}{n} \right) + 1 \right) + 2z$$

donde:

$SCR$  = Suma de Cuadrados de los Residuales de la estimación

$z$  = Numero de parámetros

$n$  = Tamaño de la muestra

## 6.7 Relación longitud-peso

El conocimiento de la relación longitud-peso nos permite conocer información sobre la condición de los peces y determinar si su crecimiento somático es isométrico o alométrico, también es útil para determinar el peso promedio de un grupo de peces de una longitud dada, convertir observaciones de longitud en peso, y aunque no se realizó en este trabajo, permite la conversión de ecuaciones de crecimiento en longitud a crecimiento en peso (Froese, 2006; Le Cren, 1951; Ricker, 1975).

Para describir la relación entre la longitud y el peso del pez gallo se utilizó una ecuación potencial (Sparre y Venema, 1997):

$$PT = a * LF^b$$

donde:

$PT$  = Peso total en kg

$LF$  = Longitud furcal en cm

$a$  = Intercepto

$b$  = Coeficiente de alometría

Para evaluar si el valor de ' $b$ ' era diferente del valor teórico de crecimiento isométrico (3), se aplicó una prueba  $t$  de Student. De igual manera, para evaluar si existían diferencias significativas en la relación longitud-peso entre sexos se llevó a cabo un análisis de covarianza (ANCOVA; Zar, 1996).

## 7.- Resultados

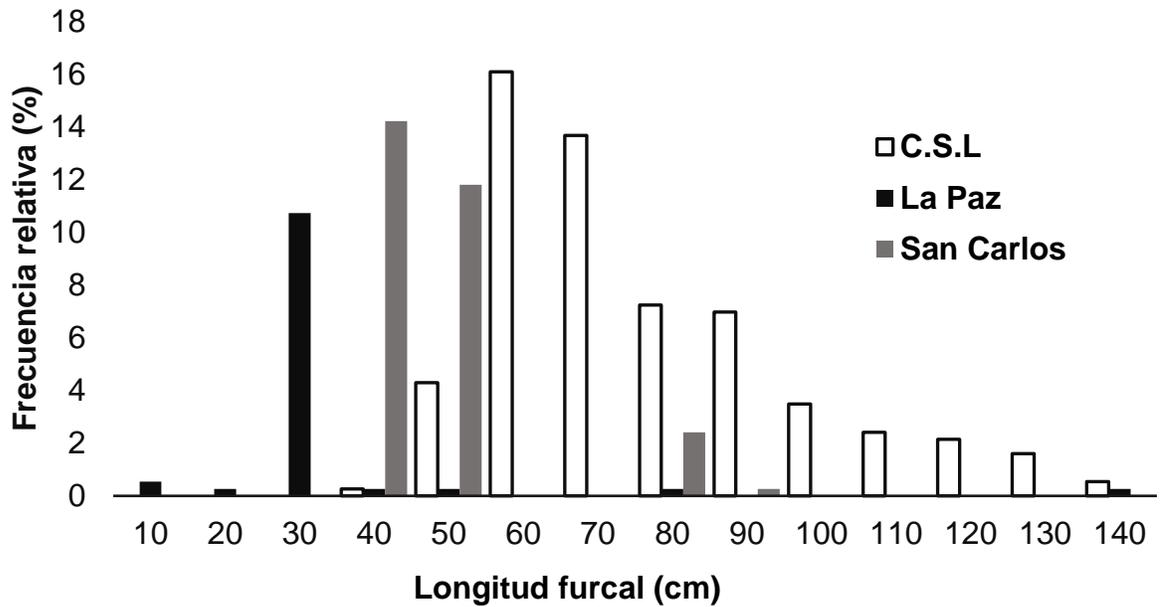
### 7.1.- Muestreo

Durante el periodo 2010-2017 se muestrearon un total de 373 organismos, de los cuales 219 provienen de Cabo San Lucas, 47 de La Paz y 107 de San Carlos B.C.S. (Tabla I). El intervalo de tallas de los organismos muestreados fue de 5.2 a 133 cm *LF*, predominando los individuos entre los 30 a 80 cm *LF* (56% del total de ejemplares muestreados). La presencia de organismos mayores a 100 cm fue muy escasa (Fig. 6).

**Tabla I.** Número de organismos de pez gallo (*Nematistius pectoralis*) muestreados por localidad en Baja California Sur en el periodo 2010-2017.

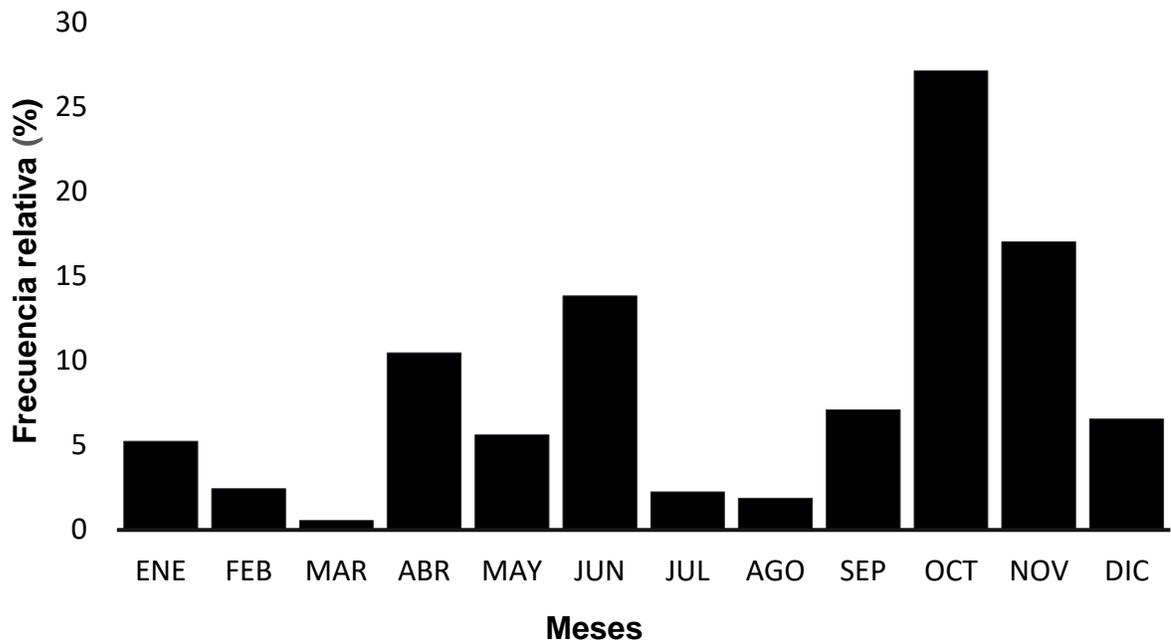
<b>Intervalo de talla (cm)</b>	<b>Los Cabos</b>	<b>La Paz</b>	<b>San Carlos</b>
0-10	0	2	0
10-20	0	1	0
20-30	0	40	0
30-40	1	1	53
40-50	16	1	44
50-60	60	0	0
60-70	51	0	0
70-80	27	1	9
80-90	26	0	1
90-100	13	0	0
100-110	9	0	0
110-120	8	0	0
120-130	6	0	0
130-140	2	1	0
<b>Total de organismos</b>	<b>219</b>	<b>47</b>	<b>107</b>

La escasez de peces de tallas inferiores a 30 cm capturados en la localidad de Cabo San Lucas B.C.S. fue evidente, sin embargo, los individuos de tallas pequeña quedaron mejor representados al incluir los organismos capturados incidentalmente por las flotas artesanales (Fig. 6).



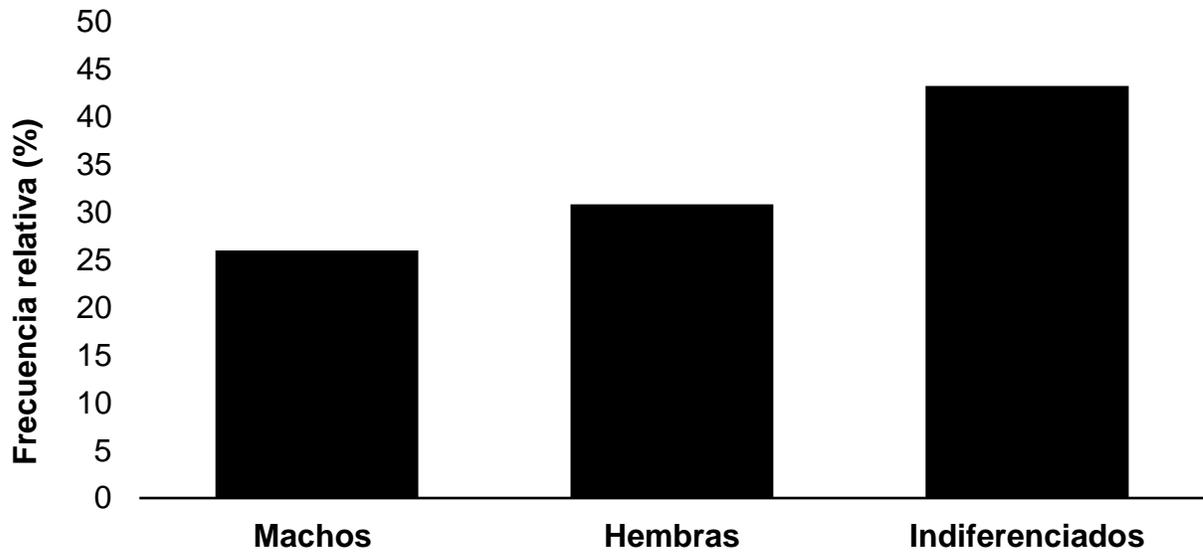
**Figura 6.** Estructura de tallas del pez gallo (*Nematistius pectoralis*) muestreado por localidad en Baja California Sur en el periodo 2010-2017.

En el año tipo (agrupación de todos los años) se tuvieron registros en todos los meses del año, aunque con una alta variabilidad (Fig. 7).



**Figura 7.** Frecuencia relativa de organismos de pez gallo (*Nematistius pectoralis*) muestreado por mes en Baja California Sur en el periodo 2010-2017.

En general, para la región de Baja California Sur la proporción sexual no difirió significativamente de la proporción 1:1 ( $p > 0.05$ ), siendo esta de 1:1.18 machos y hembras respectivamente (Fig. 8).

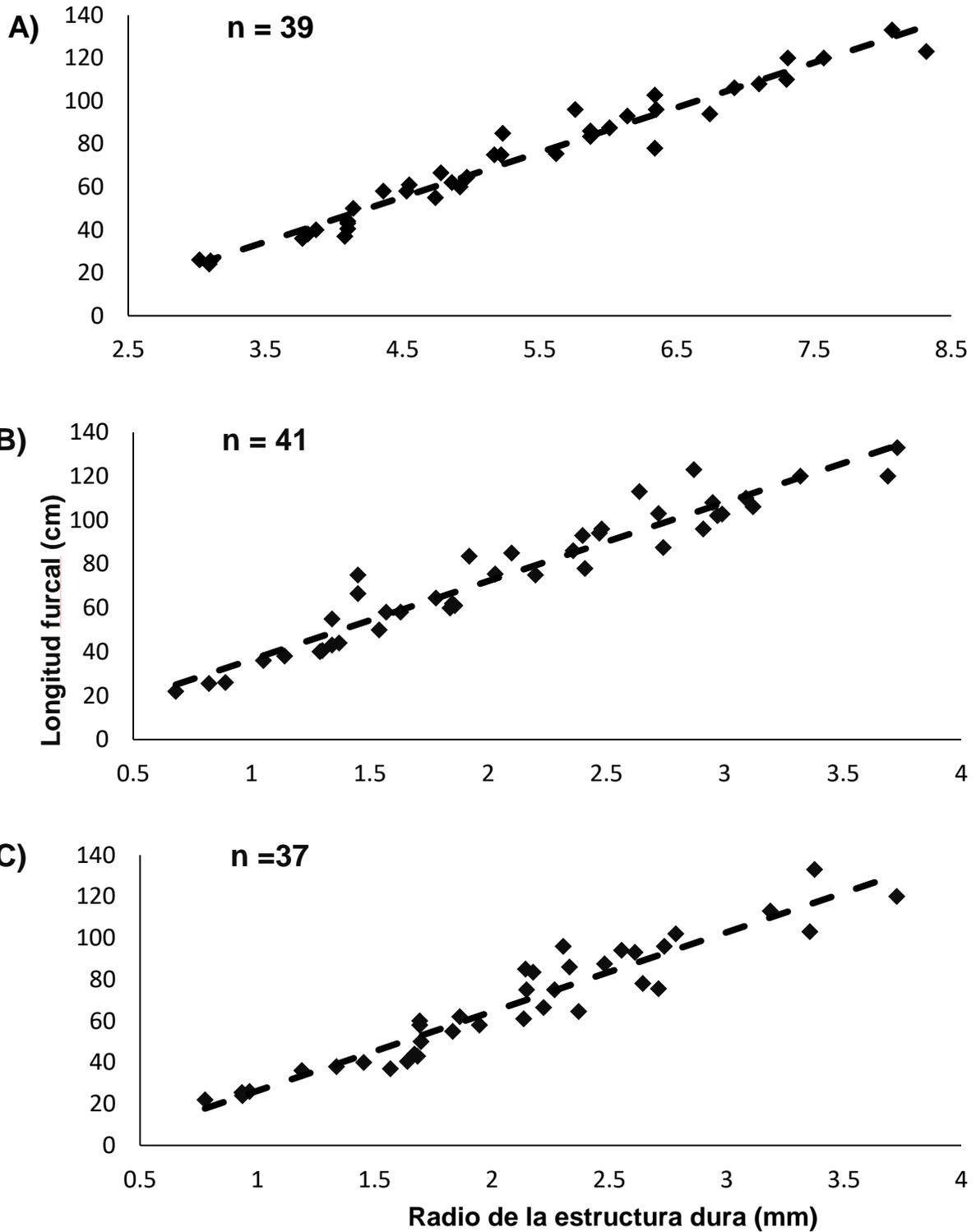


**Figura 8.** Frecuencia relativa de machos, hembras e indiferenciados de pez gallo (*Nematistius pectoralis*) muestreado en Baja California Sur en el periodo 2010-2017.

## 7.2.- Selección de la estructura dura más adecuada para determinar la edad

### 7.2.1.- Regresión lineal

En la figura 9 se muestran los diagramas de dispersión de la longitud furcal del pez gallo respecto al radio total de las tres estructuras duras utilizadas (cortes transversales de otolitos, cortes transversales de espinas y escamas). Las rectas de regresión calculadas presentan tendencias lineales positivas que muestran como el radio de las estructuras duras se incrementa conforme los organismos aumentan en longitud furcal.



**Figura 9.** Relación lineal entre el radio de las estructuras duras y la longitud furcal del pez gallo (*Nematistius pectoralis*) muestreado en Baja California Sur en el periodo 2010 - 2017. A) Otolitos, B) Espinas y C) Escamas.

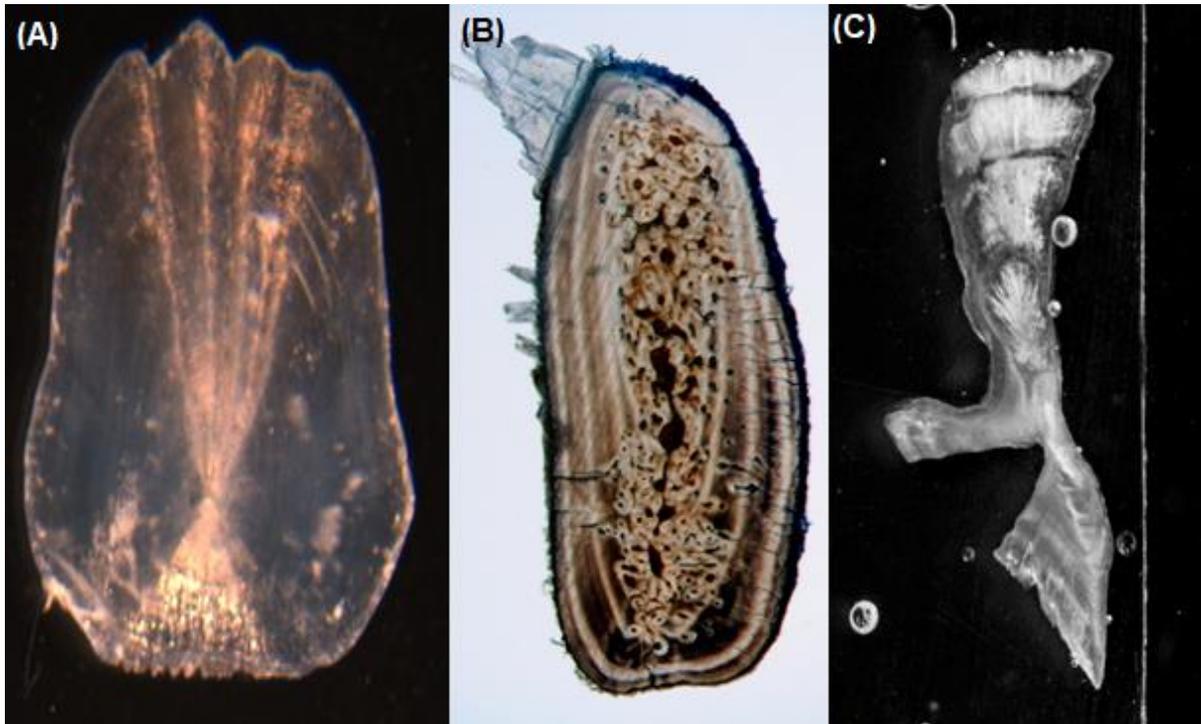
En la tabla II se muestran los modelos lineales que representan la relación entre el radio de las 3 estructuras duras ( $Rt$ ) y la longitud furcal ( $Lf$ ) de los peces. La relación entre ambas variables fue significativa y positiva en todas las estructuras duras, indicada por el alto valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ). Esto sugiere que las tres estructuras duras son confiables para usarse en la estimación de la edad del pez gallo.

**Tabla II.** Parámetros de la relación lineal entre el radio de la estructura dura y la longitud furcal del pez gallo (*Nematistius pectoralis*) muestreado en Baja California Sur en el periodo 2010-2017.

<b>Estructura</b>	<b>Modelo lineal</b>	<b><math>R^2</math></b>
<b>Otolito</b>	$Lf = -43.301 + 44.598 * Rt$	0.9563
<b>Espina</b>	$Lf = 0.6781 + 35.776 * Rt$	0.9220
<b>Escama</b>	$Lf = -11.9 + 38.208 * Rt$	0.9042

### 7.2.2.- Conteo de marcas

En los cortes transversales de otolitos y espinas fue posible realizar el conteo de las marcas de crecimiento contenidas en los mismos. Sin embargo, para las escamas no se observó ningún patrón claro de marcas por lo cual no fue posible realizar el conteo de las mismas (Fig. 10).



**Figura 10.** Marcas de crecimiento de la escama (A), espina (B) y otolito (C) del pez gallo (*Nematisitus pectoralis*) muestreado en Baja California Sur en el periodo 2010-2017.

En la tabla III se muestran los valores del coeficiente de variación. Los valores bajos, tanto para otolitos como para espinas, nos indicaron que hubo consistencias entre las lecturas de las marcas de crecimiento entre los lectores y que ambas estructuras duras son útiles para la estimación de la edad del pez gallo. Para las escamas no se registró un valor de coeficiente de variación debido a que no se pudo realizar el conteo de marcas de crecimiento.

En las lecturas realizadas a los cortes transversales de otolitos fue posible detectar hasta 8 marcas de crecimiento, en tanto que para las espinas se encontraron hasta 4 marcas.

El otolito fue la estructura dura seleccionada para determinar los parámetros de crecimiento individual del pez gallo, debido a que presentó la mayor correlación entre el radio de la estructura dura y la longitud furcal del pez, eso denotado por el alto valor

de  $R^2$ . De igual manera el otolito fue la estructura dura en la cual fue posible observar más claramente las marcas de crecimiento, esto se vio reflejado en el bajo valor del coeficiente de variación.

**Tabla III.** Valores del coeficiente de variación de las 3 estructuras duras utilizadas para el conteo de marcas de crecimiento del pez gallo (*Nematistius pectoralis*) muestreado en Baja California Sur en el periodo 2010-2017.

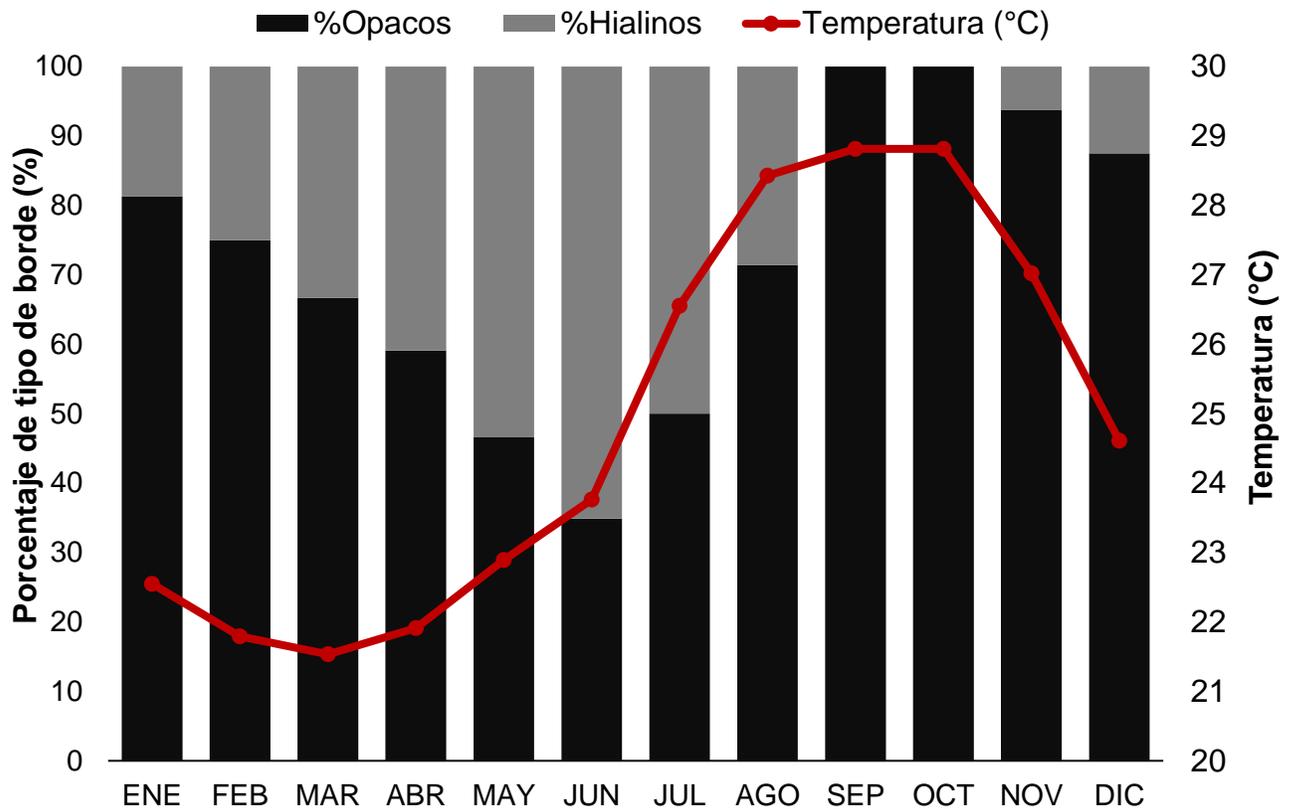
	Otolito	Espina	Escama
<b>Coeficiente de variación</b>			
<b>(CV)</b>	<b>5.67</b>	<b>7.67</b>	<b>NA</b>

### 7.3.- Periodicidad de la formación de las marcas de crecimiento

Debido a que el otolito fue seleccionado como la estructura dura más confiable para estimar la edad del pez gallo, la validación de la periodicidad de formación de marcas de crecimiento se realizó utilizando dicha estructura.

En el seguimiento del porcentaje mensual de aparición de bordes opacos e hialinos se observó un máximo de bordes opacos en los meses de septiembre-octubre y un mínimo en junio (Fig. 11). La presencia de un solo valor máximo y uno mínimo de bordes opacos e hialinos durante el ciclo anual indicó que la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento es anual.

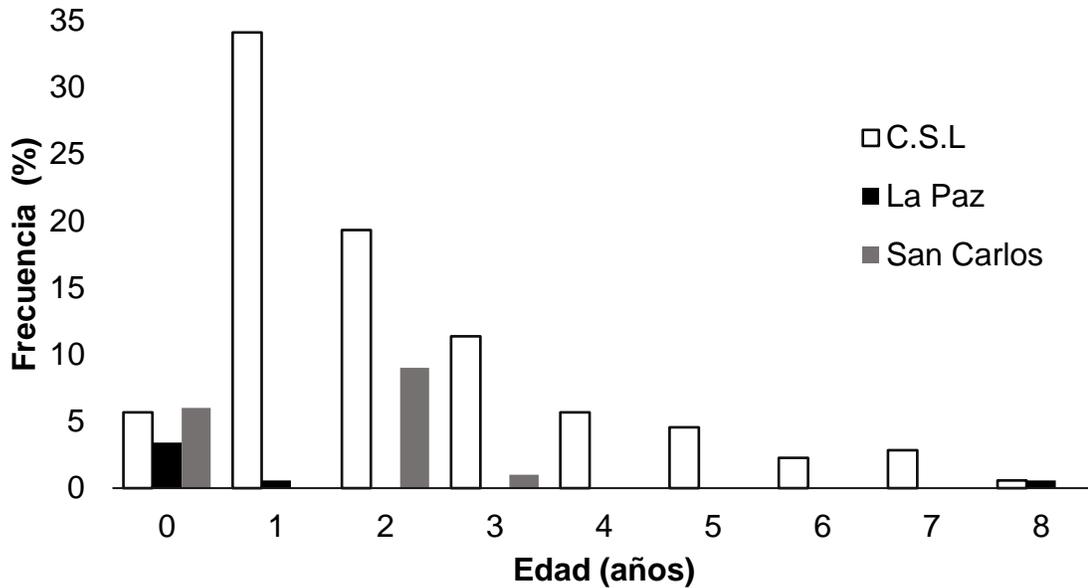
Al relacionar los valores de los porcentajes de bordes opacos y bordes hialinos con los promedios mensuales de la temperatura superficial del mar se observó una tendencia lineal positiva ( $R^2 = 0.78$ ), con un ligero desfase temporal de dos meses. De forma general se observó que a temperaturas altas existe un mayor porcentaje de bordes opacos y a temperaturas bajas un mayor porcentaje de bordes hialinos (Fig. 11).



**Figura 11.** Porcentaje mensual de aparición de bordes opacos e hialinos en cortes transversales de otolitos del pez gallo (*Nematistius pectoralis*) muestreado en Baja California Sur en el periodo 2010-2017.

#### 7.4.- Estructura por edades

Los organismos muestreados durante el periodo 2010-2017 en aguas circundantes a Baja California Sur correspondieron a 9 grupos de edad (Cabo San Lucas: 0-8; La Paz: 0, 1 y 8; Puerto San Carlos: 0, 2 y 3), siendo los grupos de edad 1 y 2 los más abundantes (59% del total de ejemplares muestreados). Solo se encontró dos organismos del grupo de edad 8 (Fig. 12).



**Figura 12.** Estructura de edades del pez gallo (*Nematistius pectoralis*) muestreado por localidad en Baja California Sur en el periodo 2010–2017.

### 7.5.- Crecimiento individual

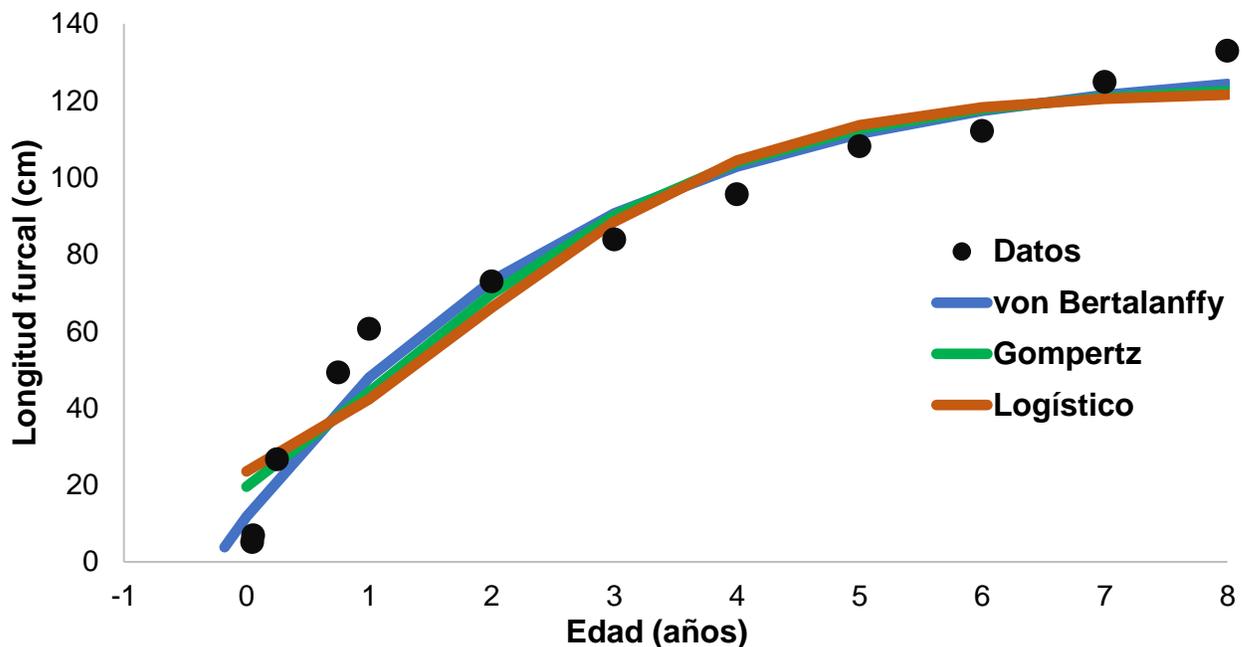
Para estimar los parámetros de crecimiento individual del pez gallo, se utilizó la longitud promedio por grupo de edad del total de organismos analizados. Debido a que la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento es anual y bajo el supuesto de que cada banda tarda en formarse completamente 6 meses (banda opaca de 0 a 0.5 años y banda hialina de 0.5 a 1 año), se incluyó la longitud promedio de organismos del grupo de edad 0 con borde opaco e hialino y se les asignó la edad de 0.25 y 0.75 años, respectivamente. Adicionalmente, para obtener un mejor ajuste de los modelos de crecimiento individual, se incluyó en el análisis la edad en días de los dos organismos más pequeños de la muestra

Los valores estimados de los parámetros de cada uno de los modelos se presentan en la tabla IV y las curvas de crecimiento resultantes en la figura 13. El modelo que mejor describió el crecimiento individual del pez gallo fue el de von Bertalanffy, debido a que presentó el valor de AIC más bajo (tabla IV). Los parámetros

estimados del modelo de crecimiento individual de von Bertalanffy indicaron que el crecimiento del pez gallo fue muy acelerado en los primeros años de su vida, ya que alcanzó alrededor del 50% (65 cm LF) de su longitud máxima promedio a la edad de 1 año. A partir de la edad 4 el crecimiento se redujo sustancialmente.

**Tabla IV.** Valores de los parámetros de los modelos de crecimiento individual (von Bertalanffy, Gompertz y Logístico) del pez gallo (*Nematistius pectoralis*) muestreado en Baja California Sur en el periodo 2010-2017.

	$L_{\infty}$	k	$t_i$	AIC
<b>Von Bertalanffy</b>	130.94	0.36	-0.26	89.37
<b>Gompertz</b>	124.73	0.57	1.06	96.66
<b>Logístico</b>	122.40	0.79	1.79	100.16

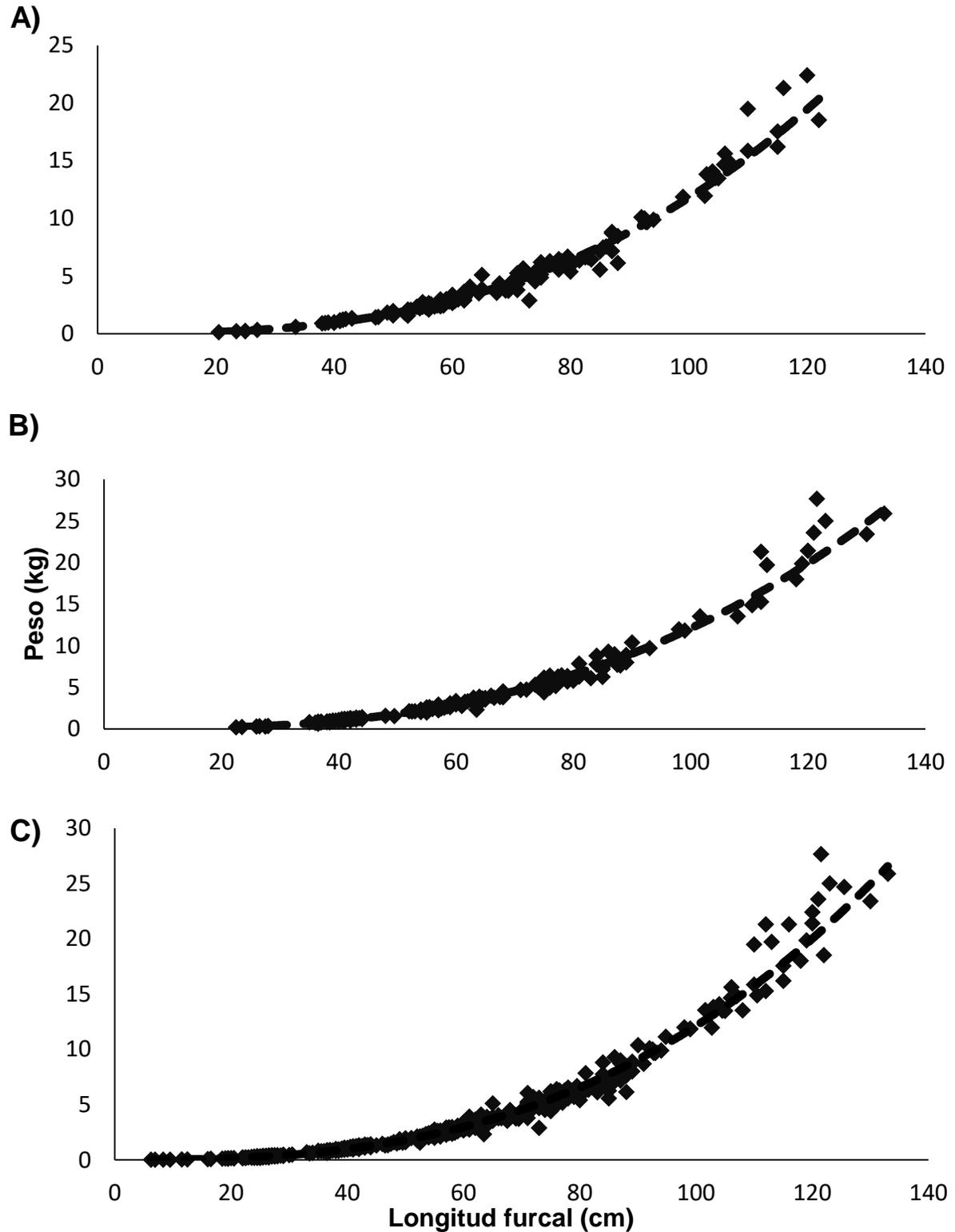


**Figura 13.** Curvas de crecimiento individual del pez gallo (*Nematistius pectoralis*) muestreado en Baja California Sur en el periodo 2010-2017.

## 7.6.- Relación longitud-peso

El intervalo de pesos registrados fue de 0.00267 a 27.64 kg. Los organismos más abundantes se encontraron en el intervalo de 0.25 a 2.5 kg (58% del total de ejemplares muestreados).

En la tabla V se muestran los parámetros de la relación longitud-peso por sexos separados y combinados para el periodo 2010-2017. En todos los casos los valores estimados del parámetro de alometría ( $b$ ) fueron menores a 3, sexos combinados ( $t(514)=-27.69, p < 0.05$ ), machos ( $t(134)=-8.90, p < 0.05$ ) y hembras ( $t(157)=-13.91, p < 0.05$ ), lo que indicó que el crecimiento de esta especie es de tipo alométrico negativo, es decir que, en proporción, crece más en longitud que en peso. No se encontraron diferencias significativas en la relación longitud-peso entre machos y hembras (ANCOVA,  $p > 0.05$ ). Los diagramas de dispersión de los datos de longitud furcal y peso total observados y su relación se muestran en la figura 14.



**Figura 14.** Relación longitud-peso del pez gallo (*Nematistius pectoralis*) muestreado en Baja California Sur en el periodo 2010-2017. A) Machos; B) Hembras y C) Sexos combinados.

**Tabla V.** Parámetros de la relación longitud-peso del pez gallo (*Nematistius pectoralis*) muestreado en Baja California Sur en el periodo 2010-2017.

<b>Sexo</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Machos	0.000024	2.84	0.98
Hembras	0.000025	2.84	0.99
Combinados	0.000024	2.85	0.99

## 8.- Discusión

El intervalo de tallas analizado fue de 5.2 a 133 cm *LF*. Es difícil obtener muestras de organismos menores a 20 cm, debido a la selectividad de la pesca artesanal. De igual manera es difícil obtener muestras de organismos de tallas grandes, ya que son escasos en la naturaleza (Csirke, 1980), por lo cual el mayor número de organismos muestreados se encuentra en las tallas intermedias.

La flota de pesca deportiva tiende a capturar organismos de tallas grandes, ya que anda en busca de organismos trofeo (Sosa-Nishizaki, 1998), sin embargo, la flota artesanal que opera en el área, captura incidentalmente organismos de tallas pequeñas (Rodríguez-Romero *et al.*, 2009). Debido a lo anterior, se logró tener un amplio intervalo de tallas, ya que se tuvieron organismos capturados por ambos tipos de flota. Además, debido a un chinchorro de oportunidad con luz de malla de 1 cm, se obtuvieron dos organismos extremadamente pequeños. El contar con un amplio espectro de tallas fue importante para evitar sesgos en la estimación de los parámetros de crecimiento individual.

El pez gallo (*Nematistius pectoralis*) en Baja California Sur presenta dos picos de capturas, el primero en primavera y el segundo en otoño, las capturas más bajas se reportan en verano e invierno, lo cual podría deberse al interés de los pescadores deportivos por otras especies (marlín rayado y marlín azul) en esos meses del año. Para la temporada de invierno Ortega-García *et al.* (2003) reportaron las capturas mayores de marlín rayado y Jakes-Cota (2008) reportó que en verano se presentó el pico más alto de capturas de marlín azul, coincidiendo con la disminución de las capturas de pez gallo.

Durante los muestreos realizados no se encontraron diferencias significativas en la proporción sexual del pez gallo. Para otras especies capturadas por la pesca deportiva en la región de B.C.S. se han reportado diversos comportamientos en cuanto a la proporción sexual, por ejemplo, para el dorado (*Coryphaena hippurus*) se ha reportado que no existen diferencias significativas en cuanto a la proporción sexual (Zúñiga-Flores, 2009). Sin embargo, para especies de pico como el marlin azul se ha reportado segregación sexual, con una abundancia mayor de hembras en la región (Ortega-García *et al.*, 2006).

Se ha demostrado que los factores ambientales (*e.g.*, temperatura) influyen en la relación y la diferenciación sexual de especies marinas de hábitats templados, y al ser el pez gallo un organismo sensible a las variaciones ambientales, monitorear dicha característica de su población será de gran importancia ya que nos permitirá conocer de manera indirecta cambios en el ambiente (Baroiller y D'Cotta, 2001; Kameya *et al.*, 2001).

Una suposición básica para la estimación de la edad es que el crecimiento de la estructura dura utilizada es proporcional al crecimiento del pez (Bagenal, 1974). Si bien en las 3 estructuras duras analizadas (otolito, espina y escama) se encontró una tendencia lineal positiva entre el radio de la estructura y la longitud furcal de los organismos, el otolito fue el que presentó el valor más alto del coeficiente de determinación. En estudios de otras especies de pelágicos mayores han encontrado

una relación lineal entre el tamaño de la estructura utilizada para la estimación de edad y la longitud de los organismos. Para el dorado, Zúñiga-Flores (2009) observó una tendencia lineal entre el tamaño de las escamas y la longitud de los peces. En marlín azul se encontró que el tamaño tanto de vertebras, otolitos, espinas de la aleta anal y dorsal en relación con la longitud de los peces, presenta una tendencia lineal positiva (Hill *et al.*, 1989; Jakes-Cota, 2008). De forma similar, Chávez-Arellano (2016) encontró una relación lineal positiva entre el crecimiento de la 4ta espina de la aleta dorsal y la longitud furcal del pez gallo, además, reportó que el número de marcas de crecimiento se incrementa con el incremento en tamaño de la 4ta espina de la aleta dorsal, dando soporte para su empleo en los estudios de estimación de edad.

Las marcas de crecimiento se lograron observar claramente tanto en los cortes transversales de la cuarta espina de la aleta dorsal como en los del otolito, hecho que se reflejó en el valor bajo del coeficiente de variación, lo que indicó consistencia entre ambos lectores. No existe ningún valor *a priori* del valor del coeficiente de variación que pueda ser utilizado como referencia ya que puede estar influenciado por la especie, la naturaleza de la estructura dura, y no solo por los lectores de marcas de crecimiento (Campana, 2001). En estudios de determinación de edad de tiburones basados en el conteo de marcas de crecimiento en vertebras es común encontrar valores de CV superiores a 10% (Campana, 2001). En peces pelágicos grandes, valores de CV entre 10 y 15% son frecuentes (DeMartini, *et al.*, 2007), mientras que, para especies de peces de longevidad moderada, algunos autores sugieren que un CV de 5% sirve como punto de referencia (Campana, 2001).

Las bandas opacas son más anchas que las bandas hialinas y conforme se incrementa el número de marcas en los cortes, disminuye el grosor de las bandas (Jakes-Cota, 2008). Existen algunas dificultades para el conteo de marcas de crecimiento en pelágicos mayores (e.g. marlín azul y pez vela), ya que en las estructuras duras utilizadas para estimar la edad en ocasiones se registran marcas falsas (marcas difusas que no forman un anillo completo alrededor del foco); se han descrito marcas dobles y marcas triples (Jakes-Cota, 2008; Ramírez-Pérez *et al.*,

2011). También se tiene la presencia de una matriz vascularizada en el núcleo de las espinas, principalmente en peces viejos, la cual tiende a oscurecer las primeras marcas y por ende no pueden contarse (Drew *et al.*, 2006). En los cortes transversales de la 4ta espina de la aleta dorsal del pez gallo se observaron algunas marcas falsas, pero fueron identificadas fácilmente y no fueron contaron, además también se observó la matriz vascularizada en el núcleo de los cortes, que previamente fue reportada por Chávez-Arellano (2016), por lo cual el número de marcas de crecimiento en cortes transversales de espinas fue menor (4 marcas) al número de marcas en otolitos (8 marcas).

En otros pelágicos mayores cuando se utilizan espinas de las aletas anal o dorsal para la estimación de edad se reporta frecuentemente la vascularización en el núcleo de las estructuras (Jakes-Cota, 2008; Ramírez-Pérez *et al.*, 2011).

En otolitos también se observó la presencia de marcas dobles, triples y marcas falsas, sin embargo, fueron escasas. A diferencia de las espinas no existe vascularización en el núcleo de los otolitos, por lo cual no hubo oscurecimiento o enmascaramiento de las primeras marcas y por ende pudieron contarse. En comparación de las tres estructuras duras analizadas para estimar la edad, el otolito presentó la tendencia lineal más alta entre el radio de la estructura y la longitud furcal del pez (valor alto de  $R^2$ ), el coeficiente de variación más bajo, mayor claridad de las marcas de crecimiento y el mayor número de marcas de crecimiento, por lo cual se consideró que es la mejor estructura para determinar la edad y los parámetros de crecimiento individual del pez gallo; a pesar de que la preparación de la estructura para el conteo de las marcas de crecimiento requiere de una gran cantidad de tiempo. Campana y Throrrold (2001) mencionaron que el otolito sagitta es la estructura dura preferida para estimar la edad en peces, esto debido a que la deposición ocurre continuamente durante toda la vida, facilitando la estimación de la edad comparada con otras estructuras duras.

En otros estudios de estimación de edad y crecimiento para pelágicos mayores también se han utilizado otolitos. Sin embargo, debido a que son muy pequeños, difíciles de localizar, difíciles de extraer y su preparación para el conteo de marcas de crecimiento es muy costosa (Manooch y Potts, 1997), se ha optado por utilizar otras estructuras duras como escamas en dorado (Zúñiga-Flores, 2009) y espinas de la aleta dorsal en peces de pico (Jakes-Cota, 2008; Ramírez-Pérez *et al.*, 2011).

En las escamas de pez gallo a pesar de que se realizaron procesos de tinción y quemado no fue posible observar un patrón de marcas de crecimiento, sin embargo, para otras especies de pelágicos mayores como el dorado (Zúñiga-Flores, 2009), jureles (Mohammad *et al.*, 2016) y algunos atunes (Nose *et al.*, 1957) si es posible su observación y conteo.

El análisis del porcentaje mensual de bordes opacos e hialinos mostró que la periodicidad de formación de marcas de crecimiento del pez gallo es anual. La periodicidad de formación de las marcas anuales de crecimiento del pez gallo no había sido validada con anterioridad. Ortega-García *et al.* (2017) utilizaron marcas diarias en otolitos de pez gallo, pero no validaron la periodicidad de formación de las marcas.

Los porcentajes más altos de bordes opacos se registraron en los meses con las temperaturas más altas y los porcentajes más altos de bordes hialinos se registraron en los meses con las temperaturas más bajas. La formación de marcas de crecimiento anuales en las estructuras calcificadas de los peces óseos es causada en gran medida por los cambios ambientales estacionales y los cambios fisiológicos de la especie, sin embargo, las causas de la formación de marcas de crecimientos anuales no son claras; algunos autores mencionan que la banda hialina se asocia a períodos durante los cuales la tasa metabólica disminuye durante periodos de escasez de alimento y temperaturas bajas, mientras que la banda opaca se deposita durante períodos de crecimiento acelerado durante periodos de alta disponibilidad de alimento y temperaturas altas (Morales-Nin, 1991; Beckman y Wilson, 1995). En las zonas templadas dichos cambios periódicos (ciclos de temperatura, disponibilidad de

alimento), son más marcados y regulares que en las zonas tropicales (Morales-Nin, 1991). Por lo anterior, la estimación de la edad en las especies que habitan estas zonas es relativamente simple, debido a que sus otolitos presentan bandas estacionales, una de verano y otra de invierno, que juntas forman una marca anual, en algunos casos tales bandas se pueden observar a simple vista (Sparre y Venema, 1997).

Ortega-García *et al.* (2018) encontraron que la reproducción del pez gallo se lleva a cabo en los meses de junio-agosto, coincidiendo con los meses en los que se reporta el pico más alto de porcentajes de bordes hialinos. En la época de reproducción la mayor parte de la energía se destina para dicha actividad, asociándose a la formación de la banda hialina, mientras que la formación de la banda opaca se da cuando la mayor parte de la energía está destinada al crecimiento (Cubillos y Arancibia, 1993).

Las edades estimadas para el pez gallo oscilaron entre 0 y 8 años. De los 9 grupos de edad encontrados en la región de Baja California Sur, los grupos de edad 1 y 2 fueron los más abundantes, mientras que los grupos de edades mayores fueron escasos. La longitud furcal promedio al año de edad fue de 60.63 cm ( $\pm 1.68$ ), lo cual coincide con lo reportado por Ortega-García *et al.* (2017), estos autores mencionaron que el pez gallo alcanzó una longitud promedio de 66 cm *LF* en el primer año de vida. Los organismos del grupo de edad 3 en adelante fueron escasos, ya que estos grupos estuvieron representados por organismos de longitudes mayores a 80 cm que no son poco abundantes. En el estudio de Ortega-García *et al.* (2017) solo lograron realizar el conteo de marcas de crecimiento en organismos desde 0 hasta 1.5 años de edad, esto por la dificultad de contar marcas diarias en organismos de tallas mayores a los 86 cm.

De los tres modelos utilizados para estimar los parámetros de crecimiento individual, el de von Beralanffy fue el que mejor describió el crecimiento del pez gallo, ya que fue el modelo con el valor de AIC más bajo. Los modelos que presentan una diferencia mayor a 10 unidades con respecto al valor más bajo de AIC no tienen ningún

soporte, mientras que los modelos que presentan una diferencia entre 4 y 7 unidades tienen un soporte considerablemente bajo y los modelos con una diferencia menor a 2 unidades presentan soporte substancial (Burnham y Anderson, 2002). En el presente estudio los modelos de crecimiento individual de Gompertz y Logístico presentaron una diferencia por encima de 7 unidades con respecto al modelo de von Bertalanffy por lo cual no tienen ningún soporte y no fue necesario promediar los parámetros de crecimiento de los tres modelos utilizados mediante el peso ponderado de Akaike (Burnham y Anderson, 2002). El modelo de von Bertalanffy representa adecuadamente el crecimiento de la mayoría de las especies de peces, sus parámetros pueden interpretarse biológicamente y además es ampliamente utilizado por una gran cantidad de autores (Sparre y Venema, 1997), lo cual facilita la comparación entre estudios realizados en diferentes áreas y años.

Los parámetros del modelo de crecimiento individual de von Bertalanffy obtenidos en el presente estudio indicaron que el pez gallo tuvo un crecimiento acelerado en las primeras etapas de vida ya que alcanzó el 50% (63 cm  $LF$ ) de su longitud máxima promedio en el primer año.

Para la estimación de los parámetros de crecimiento es recomendable incluir en el ajuste de los modelos organismos de tallas pequeñas o larvas, para obtener una mejor estimación de  $t_0$  (Prince *et al.*, 1987). En este estudio se incluyó en la estimación de los parámetros de crecimiento la edad determinada a través del conteo de marcas diarias, de los dos organismos más pequeños muestreados.

Solo existe un trabajo donde se ha reportado la estimación de los parámetros de crecimiento individual de esta especie. Ortega-García *et al.* (2017), reportaron que los valores de los parámetros del modelo de von Bertalanffy, para Baja California Sur fueron  $L_{\infty}=166.90$ ,  $k= 0.48$  y  $t_0=-0.02$ , en tanto que para Costa Rica fueron  $L_{\infty}=171.72$ ,  $k= 0.47$  y  $t_0=-0.08$ , utilizando organismos de hasta 1.5 años de edad. Los autores mencionaron que no encontraron diferencias significativas entre regiones por lo cual reportan parámetros para las áreas combinadas ( $L_{\infty}=163.77$ ,  $k= 0.47$  y  $t_0=-0.08$ ).

Al comparar los parámetros obtenidos en este estudio con los parámetros obtenidos por Ortega-García *et al.* (2017) en la región de Baja California Sur, podemos observar que las estimaciones son diferentes, ya que el valor de  $L_{\infty}$  es mayor y el valor de  $k$  y  $t_0$  es menor. Esto pudiera ser debido a que en este estudio se incluyeron organismos de tallas mayores y un mayor número de organismos de tallas menores.

Comparando el crecimiento individual del pez gallo con el de otros peces pelágicos, observamos que no es tan rápido como el del marlín azul o dorado (Jakes-Cota, 2008; Zuñiga-Flores, 2009), pero si mucho más acelerado que algunos jureles (*Caranx caninus*, *Caranx ignobilis*, *Caranx melampygus* y *Seriola dumerili*) (Manooch III y Potts, 1997; Smith y Parrish, 2002; Espino-Barr *et al.*, 2008). De igual manera es una especie pelágica de tamaño intermedio, como el dorado, ya que supera a la mayoría de los jureles, pero no alcanza las tallas de los grandes atunes o picudos (Smith-Vaniz, 1995; Niem, 1995; Nakamura, 1995).

El pez gallo presentó un crecimiento de tipo alométrico negativo, ya que el valor de  $b$  fue menor a 3. Esto quiere decir, que el pez es menos robusto y que crece más en longitud que en peso (Jones *et al.*, 1999). En la mayoría de los trabajos que abordan el tema de relación longitud-peso, el parámetro de  $b$  es el más discutido, ya que con la interpretación y explicación de dicho parámetro es posible determinar el tipo de crecimiento que tienen las especies; sin embargo, este parámetro puede cambiar por región, sexo y temporada (Froese, 2006).

Froese (2006) mencionó que, para peces, el rango de valores esperados de  $b$  es de 2.5 a 3.5, los valores obtenidos en este estudio se encontraron dentro de este rango. Bagenal y Tesch (1978) sugirieron que los valores de  $b$  que se encuentren entre 2.8 y 3.2 representan un crecimiento isométrico. Sin embargo, para este estudio, aunque todos los valores de  $b$  se encontraron alrededor de 2.8, fueron estadísticamente diferentes del valor teórico de crecimiento isométrico ( $b=3$ ).

A la fecha solo existe un trabajo en el que determinaron los parámetros de la relación longitud-peso del pez gallo, en el cual no encontraron diferencias significativas en cuanto al valor de  $b=3$ , por lo que los autores mencionaron que el pez gallo tiene crecimiento de tipo isométrico (Ortega-García *et al.*, 2017). Lo anterior difiere de lo obtenido en el presente estudio porque a pesar de que se analizó un intervalo de tallas similar, se incluyó una mayor cantidad de organismos juveniles de tallas pequeñas, y debido a que estos últimos crecen más rápido en longitud que en peso, en comparación con los organismos adultos, el valor del parámetro de  $b$  tiende a disminuir, lo cual refleja un crecimiento alométrico negativo (Csirke, 1980).

En cuanto a la relación longitud-peso entre sexos, se encontró que no existen diferencias significativas en el tipo de crecimiento por sexos, lo cual concuerda con el trabajo de Ortega-García *et al.* (2017), lo cual nos indica que ambos sexos presentan el mismo tipo de crecimiento.

## 9.- Conclusiones

- El intervalo de tallas de pez gallo muestreado durante 2010-2017 en Baja California Sur fue de 5.2 a 133 cm de longitud furcal.
- El otolito sagitta fue la mejor estructura dura para estimar la edad del pez gallo.
- La formación de las marcas de crecimiento observadas en cortes transversales del otolito tuvo una periodicidad anual.
- Los grupos de edad de pez gallo muestreado en Baja California Sur durante 2010-2017 fueron 9 (0 – 8 años).
- El modelo de von Bertalanffy fue el que mejor describió el crecimiento individual del pez gallo y los parámetros que lo definieron fueron  $L_{\infty}= 130.94$ ,  $k= 0.36$  y

$t_0 = -0.26$ , indicando que son organismos de crecimiento muy acelerado en los primeros años de vida.

- No se registraron diferencias significativas en la relación longitud – peso entre sexos y la especie presentó un crecimiento alométrico negativo.

## 10.- Recomendaciones

Este es el primer estudio donde se reportan los parámetros de crecimiento individual de pez gallo utilizando marcas anuales y con una buena representación de todo el intervalo de tallas. Aunque se tuvo la oportunidad de incluir organismos pequeños sería recomendable incluir organismos de etapa larval para obtener estimaciones confiables de  $t_0$  así como organismos de talla récord, esto para alcanzar la asíntota de la curva del modelo.

El modelo de crecimiento individual de von Bertalanffy fue el que mejor se ajustó a los datos, sin embargo, es recomendable utilizar una gama más amplia de modelos de crecimiento individual, ya que es raro que un solo modelo sea suficiente para representar el crecimiento a lo largo de la historia de vida de un organismo.

El pez gallo es una especie pelágica costera de gran importancia económica debido a que los pescadores deportivos lo consideran un luchador incansable. De igual manera presenta una gran importancia ecológica, al ser un depredador tope en su hábitat influye en la función y composición de las poblaciones de peces. Por lo anterior, es importante seguir realizando estudios sobre la biología básica de la especie (reproducción, alimentación, edad y crecimiento), información que nos permita conocer el estado actual de la población, y que en un futuro pueda utilizarse para poder evaluar cambios relacionados con la pesca o el ambiente.

A pesar de que estudios de edad y crecimiento en el pez gallo mencionan que no existen diferencias significativas en la estimación de los parámetros de crecimiento

a lo largo del océano Pacífico, es recomendable seguir realizando este tipo de estudios en puntos continuos a lo largo de la costa, lo cual permitirá conocer las características (edad y crecimiento) de este recurso en cada región y a su vez también se podrá obtener información acerca de las zonas de alimentación, reproducción, posibles rutas de migración y la dinámica poblacional en general.

## 11.- Literatura citada

- Alcaraz-García Z. T. J. 2012. Edad, Crecimiento y Mortalidad natural del bonito *Euthunnus alletteratus* (Rafinesque, 1810) en el suroeste del Golfo de México. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. Boca del río. Veracruz. México. 52 pp.
- Alejo-Plata C., J. Gómez-Márquez, I. Salgado-Ugarte. 2011. Edad y crecimiento del dorado *Coryphaena hippurus*, en el Golfo de Tehuantepec, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 46: 125-134.
- Alvarado-Castillo R. 1993. Edad y crecimiento de *Istiophorus platypterus* (Shaw y Nodder, 1791) (Pisces: Istiophoridae) al sur del golfo de California. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, La Paz, B. C. S. México, 57 pp.
- Bagenal T. B. 1974. Ageing of Fish. Proceedings of an International Symposium. Old Workings. Unwin Brothers, Surrey, England. 234 pp.
- Bagenal T. B. y F. W. Tesch. 1978. Age and Growth. En: T. Bagenal (editor). Methods for assessment of fish production in freshwater, 3era edición. Blackwell Scientific Publications, Oxford, England. 101-136.
- Bailey R. S. 1992. The global pelagic fish resource and its biological potential. 1-20pp. in J.R. Burt. R. Hardy y K. J. Whittle (eds). Pelagic Fish: The Resource and its exploitation. Fishing News books. Oxford. 352 pp.
- Baroiller J. F. y H. D'Cotta. 2001. Environment and sex determination in farmed fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 130(4): 399-409.

- Beckman D. W. y C. A. Wilson. 1995. Seasonal timing of opaque zone formation in fish otoliths. En: Secor D. H., J. M. Dean y S. E. Campana (eds), Recent developments in fish otolith research 27-43. University of South Carolina. Press.
- Briggs J. C. 1974. *Marine zoogeography*. Mc-Graw Hill series on population biology. i-xii, 1-475.
- Burnham K. P. y D. R. Anderson. 2002. Model selection and multimodel inference: a practical information theoretic approach. Springer. New York. 488 pp.
- Cadima E. L. 2003. Manual de evaluación de recursos pesqueros. FAO Documento Técnico de Pesca. No. 393. Roma. 162 pp.
- Campana S. E. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology*, 59: 197-243.
- Campana S. E. y S. R. Thorrold. 2001. Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive understanding of fish population. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58:30–38.
- Cervigón F. y W. Fischer. 1979 INFOPECA, Catálogo de especies marinas de interés económico actual o potencial para América Latina. Parte 1 - Atlántico Centro y Suroccidental. FAO/UNDP, SIC/79/1, Rome: 372 pp.
- Chang, W. Y. B. 1982. A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. Vol. 39, 1208–1210.
- Chávez-Arellano R. 2016. Uso potencial de las espinas de la aleta dorsal del pez gallo, *Nematistius Pectorails* Gill, 1862, para la determinación de edad. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, B. C. S. México, 42 pp.
- Chong J. y M. Aguayo. 2009. Edad y crecimiento del pez espada (*Xiphias gladius* Linnaeus, 1758) en el Pacífico suroriental (Diciembre 1994 - Septiembre 1996). *Latin American Journal of Aquatic Research*, 37: 1-15.
- Csirke J. 1980. Introducción a la dinámica de poblaciones de peces. FAO Documento Técnico de Pesca No. 192. Roma. 82 pp.

- Cubillos, L. y H. Arancibia. 1993. On the seasonal growth of common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) off Talcahuano, Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 28(1):43-49.
- Daniel W. 2012. Bioestadística: Base para el análisis de las ciencias de la salud. Limusa Wiley. 4a ed. México. D.F. 928 pp.
- Delgado de Molina A. y J. Santana. 1986. Estimación de la edad y crecimiento del patudo (*thunnus obesus*, Lowe, 1939) capturado en las islas canarias. International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas, 25: 130-137.
- DeMartini E. E., J. H. Uchiyama, R. L. Humphreys, J. D. Sampaga y H. A. Williams. 2007. Age and growth of swordfish (*Xiphias gladius*) caught by the Hawaii-based pelagic longline fishery. *Fishery Bulletin*, 105: 356-367.
- Ditton R. B., S. R. Grimes y L. D. Finklestein. 1996. A social and economic study of the recreational billfish fishery in the southern Baja area of México. Report to The Billfish Foundation, Ft. Lauderdale, Fl. 50 pp.
- DOF. 2013. Diario Oficial de la Federación (DOF). Modificación a la norma oficial mexicana NOM-017-PESC-1994, para regular las actividades de pesca deportivo-recreativa en las aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos, publicada en el diario oficial de la federación el 9 de mayo de 1995. Tomo No. 15-19. México, D.F.
- Drew K., D. J. Die y F. Arocha. 2006. Understanding vascularization in fin spines of white marlin (*Tetrapturus albidus*). *Bulletin of Marine Science*, 79: 847–852.
- Ehrhardt N. 1981. Curso de evaluación de recursos y dinámica de poblaciones. Tercera parte: Parámetros poblacionales. FAO- Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, B.C.S., México, 134 pp.
- Espino-Barr E., M. Gallardo-Cabello, E. Cabral-Solís, A. Garcia-Boa y M. Puente-Gómez. 2008. Growth of the Pacific Jack *Caranx caninus* (Pisces: Carangidae) from the coast of Colima, México. *Revista de Biología Tropical*, 56. (1): 171-179.
- Froese R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22: 241-253.

- Gompertz, B., 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. Londres 115, 515–585.
- Griffiths S. P., G. C. Fry, F. J. Manson y D. C. Lou. 2010. Age and growth of Longtail Tuna (*Thunnus tonggol*) in tropical and temperate waters of the central Indo-Pacific. *ICES Journal of Marine Science*, 67(1): 125-134.
- Hedgpeth J. W. 1957. Classification of marine environments. In: Hedgpeth, J. W. (ed.), *Treatise on marine ecology and paleoecology*. *Geological Society of America*, 67: 17-28.
- Heithaus M. R., A. Frid, A. J. Wirsing, y B. Worm. 2008. Predicting ecological consequences of marine top predator declines. *Trends in Ecology & Evolution*, 23(4): 202-210.
- Hill K. T., G. M. Cailliet y R. L. Radtke. 1989. A comparative analysis of growth zones in four calcified structures of pacific blue marlin, *Makaira nigricans*. *Fishery Bulletin*, 87(4): 829-843.
- Hobday A. J., S. Griffiths y T. Ward. 2009. Pelagic fishes and sharks. Marine climate change impacts and adaptation report card for Australia. *National Climate Change Adaptation Research Facility*. Publication 05/09.
- Jakes-Cota U. 2008. Edad y crecimiento del marlín azul *Makaira nigricans*, desembarcado en Cabo San Lucas, B.C.S., México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, La Paz, B. C. S. México, 83 pp.
- Jones R. E., R. J. Petrell y D. Pauly. 1999. Using modified length-weight relationships to assess the condition of fish. *Aquacultural Engineering*, 20: 261-276.
- Kameya, A., M. Llellish y L. Caccha. 2001. Los peces como indicadores de El Niño en el ecosistema marino peruano desde 1972 a 1998. *El Niño en América Latina: Impactos biológicos y sociales*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Lima, pp. 81-89.
- Katsanevakis S. 2006. Modelling fish growth: Model selection, multi-model inference and model selection uncertainty. *Fisheries Research*, 81(2-3): 229-235.

- Lavín M. F., A. Badán y E. Beier. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escalas estacional e interanual. En: M. F. Lavín (ed.), Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Unión Geofísica Mexicana. Monografía 3, pp. 141–171.
- Le Cren E. D. 1951. The length weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). *The Journal on Animal Ecology*, 20 (2): 201-219.
- Lessa R., y Duarte-Neto, P. 2004. Age and growth of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the western equatorial Atlantic, using dorsal fin spines. *Fisheries Research*, 69(2): 157-170.
- Love M. S., C. W. Mecklenburg, T. A. Mecklenburg y L. K. Thorsteinson. 2005. Resource inventory of marine and estuarine fishes of the West Coast and Alaska: A Checklist of North Pacific and Arctic Ocean species from Baja California to the Alaska-Yukon Border. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Biological Resources Division, Seattle, Washington. 276 pp.
- Manooch III C. S. y J. C. Potts. 1997. Age, growth, and mortality of greater amberjack, *Seriola dumerili*, from the U.S. Gulf of México headboat fishery. *Bulletin of Marine Science*, 61(3): 671-683.
- Melo-Barrera F.N., R. Félix-Uraga, C. Quiñonez-Velázquez. 2003. Crecimiento y relación peso longitud del marlín rayado, *Tetrapturus audax* (Pisces: Istiophoridae), en Cabo San Lucas, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas*, 29: 305-313.
- Mohammad A. S., Mehanna S. F. y Mahmoud U. M. 2016. Age and Growth Based on the Scale Readings of the Two Carangid Species *Carangoides bajad* and *Caranx melampygus* from Shalateen Fishing Area, Red Sea, Egypt. International Conference on Research for Food Security, Natural Resource Management and Rural Development (Tropentag 2016). Vienna, Austria.
- Morales-Nin B. 1991. Determinación del crecimiento de peces óseos en base a la microestructura de los otolitos. FAO Documento técnico de pesca. No. 322. Roma. 58 pp.

- Moreno-Sánchez X. G. 2004. Estructura comunitaria e interrelaciones tróficas de los peces de bahía Almejas, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, La Paz, B.C.S. México, 97 pp.
- Morison A. K., S. G. Robertson y 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.
- Nakamura I. 1995. Istiophoridae. In *Pacifico centro-oriental. Volumen II. Vertebrados—Parte 1* (W. Fischer, F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K. E. Carpenter, and V. H. Niem, eds.), p. 1186. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. FAO, Rome.
- Nelson J. C., T. C. Grande y M. V. H. Wilson. 2016. *Fishes of the World. Fifth edition.* John Wiley & Sons. E.U.A. 707 pp.
- Niem, V. H. 1995. Nematistiidae. In *Pacifico centro-oriental. Volumen III. Vertebrados—Parte 2* (W. Fischer, F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K. E. Carpenter, and V. H. Niem, eds.), p. 1322. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. FAO, Rome.
- Nose Y., Kawatsu R. y Riyama Y., 1957. Age and growth of Pacific tunas by scale reading. In *Collection of Works on Fisheries Science, Jubilee Publication of professor I. Amemiya, University of Tokyo Press: 701-716.*
- Ortega-García S., A. Klett-Traulsen y G. Ponce-Díaz. 2003. Analysis of sportfishing catch rates of striped marlin (*Tetrapturus audax*) at Cabo San Lucas, Baja California Sur, Mexico, and their relation to sea surface temperature. *Marine and Freshwater Research*, 54: 483-488.
- Ortega-García S., A. Klett-Traulsen y R. Rodríguez-Sánchez. 2006. Some biological aspects of blue marlin (*makaira nigricans*) in the recreational fishery at Cabo San Lucas, Baja California Sur, México. *Bulletin of Marine Science*, 79(3): 739-746.
- Ortega-García S., Ch. Sepulveda, S. Aalberts, U. Jakes-Cota y R. Rodriguez-Sanchez. 2017. Age, growth, and length-weight relationship of roosterfish (*Nematistius pectoralis*) In the eastern Pacific Ocean. *Fishery bulletin*. 115(1): 117-124.

- Ortega-García S., C.V. Sepulveda, S. A. Aalbers, N. Vélez-Arellano, U. Jakes-Cota y R. Rodríguez-Sánchez. 2018. Reproductive biology of roosterfish (*Nematistius pectoralis*) in waters of Baja California Sur, Mexico. 69<sup>th</sup> Tuna Conference. Lake Arrowhead Cal. USA.
- Panfili J., Pontual H. (de)., Troader H., Wright P.J. (eds). 2002. Manual of fish sclerochronology. Brest, France: Ifremer-IRD coedition. 464 pp.
- Pauly, D., 1979. Gill Size and Temperature as Governing Factors in Fish Growth: A Generalization of von Bertalanffy's Growth Formula. *Berichte aus dem Institute fuer Meereskunde* 63, Kiel University, Kiel, Germany.
- Peres J. M. 1961. *Océanographie biologique et biologie marine. I. La vie benthique.* Press Univ. France: 1-541.
- Prager M. H., J. F. O'Brien y S. B. Salia. 1987. Using lifetime fecundity to compare management strategies: A case history for striped bass. *North American Journal of Fisheries Management*. 7: 403-409.
- Prince E. D., D. W. Lee y R. Conser. 1987. Estimating age and growth rate of atlantic blue marlin (*Makaira nigricans*): progress and future work plan. ICCAT. 26(2): 426-435.
- Ramírez-Pérez J. S., C. Quiñones-Velázquez, L. A. Abitia-Cardenas y F. N. Melo-Barrera. 2011. Age and growth of sailfish *Istiophorus platypterus* (Shaw in Shaw and Nodder, 1792) from Mazatlán, Sinaloa, México. *Environmental Biology of Fishes*. 92: 187-196.
- Ricker W. E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Fisheries Research Board of Canada*. 191: 1-382.
- Robertson R. y G. Allen. 2015. *Peces Costeros del Pacífico Oriental Tropical: sistema de información en línea. Versión 2.0.* Smithsonian Tropical Research Institute, Balboa, Republica de Panamá.
- Rodríguez-Romero J., L.A. Abitia-Cárdenas, F. Galván-Magaña y H. Chávez-Ramos. 1994. Composición, abundancia y riqueza específica de la ictiofauna de Bahía Concepción, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas*, 20(3): 321-350.
- Rodríguez-Romero J., G. Moreno-Sánchez, A. Abitia-Cárdenas y D. Palacios-Salgado. 2009. Trophic spectrum of the juvenile roosterfis, *Nematistius pectoralis* Gill,

- 1862 (Perciformes: Nematistiidae), in Almejas Bay, Baja California Sur, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 44(3): 803-807.
- Rosenblatt R. H. y M. A. Bell. 1976. Osteology and relationships of the roosterfish, *Nematistius pectoralis* Gill. Natural History Museum of Los Angeles County Contribution in Science. 279, 23 pp.
- Rubio-Castro G. G. 2011. Edad y crecimiento del marlín rayado, *Kajikia audax* (Philippi, 1887) en la costa de Mazatlán, Sin., México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, La Paz, B. C. S. México, 52 pp.
- Sepulveda C., S. Aalbers., y D. Bernal. 2015. Post-release survival and movements patterns of roosterfish (*Nematistius pectoralis*) off the Central American coastline. *Latin American Journal of Auatic Reserch*, 43 (1): 162-175.
- Smith-Vaniz W. F. 1995. Carangidae. In *Pacifico centro-oriental. Volumen II. Vertebrados—Parte 1* (W. Fischer, F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K. E. Carpenter, and V. H. Niem, eds.), p. 940. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. FAO, Rome.
- Smith G. C. y J. D. Parrish. 2002. Estuaries as nurseries for the jacks *Caranx ignobilis* and *Caranx melampygus* (Carangidae) in Hawaii. *Estuarine, Coastal, and Shelf Science*, 55:347-359.
- Solano-Fernández, M. 2007. Determinación de edad y crecimiento del dorado *Coryphaena hippurus* (Linnaeus 1758) en el Pacífico sur de México. Tesis de maestría. Universidad del Mar, Oaxaca. México. 71 pp.
- Sosa-Nishizaki O. 1998. Historical review of the billfish management in the Mexican Pacific. *Ciencias Marinas*, 24: 95-111.
- Sparre P. y S. C. Venema. 1997. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual. FAO Documento Técnico de Pesca No. 306. 1(2):420 p.
- Zar J. H. 1996. Biostatistical analysis. Tercera edición. Prentice Hall. New Jersey. 988 pp.
- Zúñiga-Flores M. 2009. Dinámica poblacional del dorado (*Coryphaena hippurus*) en Baja California Sur, México: implicaciones para su manejo. Tesis de doctorado.

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, La Paz, B. C. S. México, 203 pp.