



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS  
DEL NOROESTE, S.C.

---

---

Programa de Estudios de Posgrado

**DINÁMICA POBLACIONAL DE LA MERLUZA DEL  
PACÍFICO *Merluccius productus* (Ayres, 1855), EN LA  
COSTA OCCIDENTAL DE BCS, MÉXICO.**

**TESIS**

Que para obtener el grado de

**Maestro en Ciencias**

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales  
(Orientación en Biología marina)

P r e s e n t a

**César Augusto Salinas Mayoral**

La Paz, Baja California Sur, junio 2018

## ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 11 horas del día 24 del Mes de mayo del 2018, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

**"DINÁMICA POBLACIONAL DE LA MERLUZA DEL PACÍFICO *Merluccius productus* (Ayres, 1855), EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BCS, MÉXICO"**

Presentada por el alumno:

**César Augusto Salinas Mayoral**

Aspirante al Grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN BIOLOGÍA MARINA

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

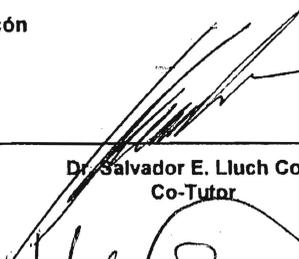
LA COMISIÓN REVISORA



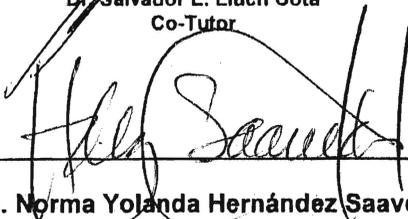
Dr. Raúl O. Martínez Rincón  
Co-Director de Tesis



Dr. Daniel B. Lluch Cota  
Co-Director de tesis



Dr. Salvador E. Lluch Cota  
Co-Tutor



Dra. Norma Yolanda Hernández Saavedra,  
Directora de Estudios de Posgrado y  
Formación de Recursos Humanos

## **Conformación de Comités**

### **Comité tutorial**

Dr. Raúl Octavio Martínez Rincón

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Co-Director de Tesis

Dr. Daniel Bernardo Lluch Cota

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Co-Director de Tesis

Dr. Salvador Emilio Lluch Cota

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Co-Tutor de Tesis

### **Comité Revisor de Tesis**

Dr. Raúl Octavio Martínez Rincón

Dr. Daniel Bernardo Lluch Cota

Dr. Salvador Emilio Lluch Cota

### **Jurado de Examen**

Dr. Raúl Octavio Martínez Rincón

Dr. Daniel Bernardo Lluch Cota

Dr. Salvador Emilio Lluch Cota

### **Suplente**

Dr. Sergio Scarry González Peláez

## Resumen

El aumento en la capacidad de pesca en México y en el mundo ha generado entre sus consecuencias la sobreexplotación de muchos recursos. Este estado de sobreexplotación en las pesquerías, genera la necesidad de dirigir mayor esfuerzo científico y tecnológico hacia aquellos recursos con potencial pesquero, permitiendo reducir la presión por pesca sobre aquellos que regularmente se extraen. *Merluccius productus* o merluza del Pacífico, es un pez demersal de la familia de los gádidos, considerado de gran importancia comercial y ecológica en el Océano Pacífico oriental. E.U.A. y Canadá cuentan con una pesquería sobre este recurso establecida desde hace más de 50 años y las capturas reportadas en las últimas dos décadas superan las 150,000 t, brindándole un aporte socioeconómico muy importante a esta región. Durante prospecciones en 2012 mediante técnicas hidroacústicas, se estimaron más de 140,000 t para el stock de *M. productus* encontrado en la costa occidental de BCS. El presente estudio trata de la caracterización de la dinámica poblacional de dicho stock; basada en parámetros morfométricos (tallas y pesos), reproductivos (escala macroscópica de madurez sexual) y de edad-crecimiento (marcas de crecimiento en otolitos), tomados a partir de muestras biológicas recolectadas *in situ* mediante arrastres de media agua a bordo del B/O BIP XII durante el periodo mayo-diciembre 2015. Con respecto a la estructura de tallas, se obtuvo un promedio general de 16.4 cm de Longitud patrón (LP) para la porción de la población muestreada, presentando mayores tallas las hembras (LP = 17.2 cm) que los machos (LP = 15.4 cm). La estructura de pesos presentó un promedio de 40.3 g en general, de igual manera las hembras presentaron mayor peso promedio (46.6 g) que los machos (32.8 g). Se calculó la relación talla-peso de los organismos en general ( $y = 0.009LP^{2.98}$ ), definiendo un crecimiento de tipo isométrico tanto para hembras ( $y = 0.009LP^{2.99}$ ) como para machos ( $y = 0.011L^{2.92}$ ). Así también, se calculó la talla de primera madurez para la población en general ( $L_{50} = 11.4$  cm), para hembras ( $L_{50} = 13.2$  cm) y para machos ( $L_{50} = 8.3$  cm). Por medio de la lectura de anillos de crecimiento en 192 otolitos *sagitta*, se identificaron 7 grupos de edad (1-5, 7 y 12 años), siendo el grupo de 3 años de edad el más frecuente a lo largo de los meses de prospección y la merluza más longeva resultó ser una hembra de 12 años de edad y 27.5 cm de LP. El crecimiento individual de las merluzas se estimó a partir de un enfoque multimodelo, resultando ser el modelo Generalizado de von Bertalanffy aquel que presentó el mejor ajuste a los datos observados ( $R^2 = 0.99$ ), mediante el cual se estimaron los parámetros de crecimiento  $L_{\infty} = 31.02$  cm,  $k = 0.11$ ,  $t_0 = 0.01$  y  $\delta = 0.46$ . La edad de primera madurez se estimó en  $E_{50} = 1.9$  años para la población en general,  $E_{50} = 1.8$  años para machos y  $E_{50} = 2.3$  años para hembras. La información obtenida a partir del presente, permite inferir que el stock de *M. productus* ubicado frente a la Costa Occidental de BCS presenta una dinámica poblacional distinta a aquellos encontrados en aguas más norteñas (EUA y Canadá) reafirmando su independencia.

**Palabras clave:** *Merluccius productus*, dinámica poblacional, stock, costa occidental BCS, merluza del Pacífico.




## Summary

The increase in fishing capacity in Mexico and in the world has resulted in the overexploitation of many resources. This state of overexploitation in fisheries generates the need to direct more scientific and technologic effort to those resources with fishing potential, allowing to reduce fishing pressure on those that are regularly extracted. *Merluccius productus* or Pacific hake, is a demersal fish of the Gadidae family, considered of great commercial and ecological importance in the Eastern Pacific Ocean. U.S. and Canada has had a demand on this resource for more than 50 years and the catches reported in the last two decades exceed 150,000 t, giving this region a very important socioeconomic support. During surveys in 2012 using hydroacoustic techniques, more than 140,000 t were estimated for the stock of *M. productus* found on the west coast of BCS. The present study deals with the characterization of the population dynamics of this stock; based on morphometric parameters (sizes and weights), reproductive parameters (macroscopic scale of sexual maturity) and age-growth parameters (growth marks in otoliths), taken from biological samples collected *in situ* by mid water trawls aboard the R/V BIP XII during the May-December 2015 period. Regarding the size structure, a general average of 16.4 cm of standard length (LP) was obtained for the portion of the sampled population, with larger females (LP = 17.2 cm) than males (LP = 15.4 cm). The structure of weights presented an average of 40.3 g in general, and the females showed again greater average weight (46.6 g) than the males (32.8 g). The size-weight relationship of the organisms in general was calculated ( $y = 0.009LP^{2.98}$ ), defining an isometric type growth for both females ( $y = 0.009LP^{2.99}$ ) and males ( $y = 0.011L^{2.92}$ ). Likewise, the size of first maturity was calculated for the population in general ( $L_{50} = 11.4$  cm), for females ( $L_{50} = 13.2$  cm) and males ( $L_{50} = 8.3$  cm). Through the reading of growth rings in 192 *sagitta* otoliths, 7 age groups were identified (1-5, 7 and 12 years old), being the 3-year-old group the most frequent throughout the months of prospecting and the oldest hake a 12 years old female of 27.5 cm of LP. The individual growth of the hakes was estimated using a multimodel approach, resulting that the Generalized von Bertalanffy growth model presented the best fit to the observed data ( $R^2 = 0.99$ ), by which the growth parameters  $L_{\infty} = 31.02$  cm,  $k = 0.11$ ,  $t_0 = 0.01$  years and  $\delta = 0.46$  were estimated. The age of first maturity was estimated at  $E_{50} = 1.9$  years for the population in general,  $E_{50} = 1.8$  years for males and  $E_{50} = 2.3$  years for females. The information obtained from this study, allows us to infer that the stock of *M. productus* distributed in front of the West Coast of BCS presents a population dynamics different from those found in northern waters (USA and Canada) reaffirming its independence.

**Keywords:** *Merluccius productus*, population dynamics, stock, West Coast of BCS, pacific hake.



## **Dedicatoria**

*Esta tesis está dedicada a todo aquel mexicano que tuvo que ver; de alguna manera u otra, directa o indirectamente, sobre el hecho de brindarme la oportunidad y dicha de haber cursado este posgrado orientado al uso, manejo y preservación de sus recursos naturales, los cuales por mucho han sido los más bellos que han percibido mis sentidos.*

*Me comprometo a aplicar todo el conocimiento adquirido antes, durante y posterior a esta etapa de mi vida académica, a la gestión más adecuada posible de la riqueza natural con la que cuenta nuestro país.*

*Gracias México.*

## **Agradecimientos**

Agradezco a CIBNOR por aceptarme en su programa de Posgrado nivel Maestría durante estos casi tres años que duré en el mismo.

A CONACyT por la beca otorgada (No. de beca 591503), sin la cual no hubiera sido posible la realización del presente.

Al Dr. César Augusto Salinas Zavala por haberme facilitado la base datos analizada en el presente procedente del proyecto “Transferencia de paquete tecnológico para la pesquería de merluza (*Merluccius productus*) en la costa occidental de la Península de Baja California, México” (Clave 100C) financiado por CONACyT.

Al Dr. Raúl O. Martínez Rincón por su paciencia y esfuerzo en la revisión del presente.

A los Dr. Daniel B. Lluch Cota y Salvador E. Lluch Cota por los comentarios tan precisos y atinados a la hora de la revisión del presente.

Al Dr. Sergio Scarry González Peláez por la revisión y dedicación en el apartado de edad y crecimiento de la merluza del Pacífico agregado al presente.

A la M.C. Arminda Mejía Rebollo por el gran aporte en el procesamiento de muestras y creación de la base de datos analizada en el presente.

Al M.C. Mauricio Montoya Campos alias el Sheik por el gran aporte en el procesamiento de muestras y creación de la base de datos analizada en el presente.

A toda la tripulación del BIP XII y al personal que formó parte del proyecto 100-C, quienes fueron los responsables de que hubiera merluzas para analizar y sacar el presente trabajo.

Al Dr. Eduardo Francisco Balart Páez y a la Dra. Noemi Bocanegra Castillo por la facilidad y disposición en el préstamo de la cortadora de baja velocidad ISOMET perteneciente al Laboratorio de Recursos Nectónicos y Ecología de Arrecifes de CIBNOR.

A Horacio Sandoval Gómez por todo su apoyo en la logística y desarrollo en mi formación académica durante estos casi 3 años.

A todo el personal del Programa de Estudios de Posgrado por su atención y disposición a las diversas solicitudes que presente durante mi estancia como alumno de CIBNOR.

A Ana María Talamantes Cota, Susana Luna García y a María Esther Ojeda Castro por su apoyo incondicional a la hora de laborar en la biblioteca y en la liberación de los trámites de la misma.

A mi hijo, por ser mi inspiración en el día a día, te amo.

A mi familia, por la paciencia, amor y cariño, el cual me ha permitido seguir adelante a pesar de todas las adversidades, los amo Gaviotas 350.

A Nuria, sin cuya ayuda aún seguiría tallando otolitos, gracias chula.

A toda la palomilla que conocí y me topé durante esta parte de mi formación académica, la cual la mayoría ya forma parte de aquellos que llamo amigos, gracias palomillos.

## Contenido

Resumen.....	ii
Summary .....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos .....	v
Contenido.....	vii
Lista de figuras.....	ix
Lista de tablas.....	xi
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Las pesquerías en el mundo .....	1
1.2 La pesca en México.....	2
1.3 Nuevas alternativas .....	3
1.4 Merluza del Pacífico – <i>Merluccius productus</i> (Ayres, 1855) .....	4
1.4.1 Biología.....	4
1.4.2 Stocks .....	5
1.4.3 Pesquería .....	6
1.4.4 Dinámica poblacional.....	6
<b>2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>8</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>14</b>
<b>4. HIPÓTESIS .....</b>	<b>15</b>
<b>5. OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
5.1 Objetivo general.....	16
5.2 Objetivos particulares.....	16
<b>6. MATERIAL Y MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
6.1 Área de estudio.....	17
6.2 Muestreo en campo .....	20
6.3 Análisis en laboratorio .....	21
6.3.1 Tallas y pesos .....	21
6.3.2 Aspectos reproductivos .....	21
6.3.3 Edad .....	23

6.4	Análisis de datos .....	25
6.4.1	Normalidad y homogeneidad de varianzas .....	25
6.4.2	Proporción de sexos .....	25
6.4.3	Estructura de tallas y pesos .....	25
6.4.4	Relación talla-peso .....	26
6.4.5	Factor de condición de Fulton (K) .....	26
6.4.6	Aspectos reproductivos .....	27
6.4.7	Edad y crecimiento.....	29
<b>7.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>32</b>
7.1	Proporción de sexos .....	32
7.2	Normalidad y homogeneidad de varianzas .....	32
7.3	Estructura de tallas .....	33
7.4	Estructura de pesos.....	35
7.5	Relación Talla-Peso .....	38
7.6	Factor de condición de Fulton (K) .....	40
7.7	Aspectos reproductivos .....	41
7.7.1	Estructura mensual de la proporción de madurez sexual. ....	41
7.7.2	Índice gonadosomático (IGS) .....	44
7.7.3	Talla de primera madurez (L <sub>50</sub> ) .....	45
7.8	Edad .....	47
7.8.1	Estructura de edades por talla .....	47
7.8.2	Crecimiento individual.....	49
7.8.3	Edad de primera madurez (E <sub>50</sub> ) .....	51
<b>8.</b>	<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>53</b>
8.1	Proporción de sexos .....	53
8.2	Estructura de tallas y pesos .....	53
8.4	Relación longitud-peso y factor de condición.....	54
8.5	Aspectos reproductivos .....	55
8.6	Edad .....	58
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>62</b>
<b>10.</b>	<b>LITERATURA CITADA</b> .....	<b>65</b>

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Esquema general de una merluza del Pacífico <i>Merluccius productus</i> . (Fuente: Bulletin of the United States Fish Commission) .....	4
<b>Figura 2.</b> Área de estudio. Puntos rojos representan localidades donde se colectaron los individuos de <i>M. productus</i> analizados en este trabajo. ....	17
<b>Figura 3.</b> Longitud patrón de <i>M. productus</i> utilizada en el presente estudio como base para el análisis de la estructura de tallas. (Modificado de Bulletin of the United States Fish Commission).....	21
<b>Figura 4.</b> Histograma de frecuencia de tallas por sexos de <i>M. productus</i> . n = 927.....	34
<b>Figura 5.</b> Variación mensual de tallas de merluza separadas por sexo. Las líneas sólidas representan la mediana, las cajas el primer y tercer cuartil, las líneas verticales 1.5 veces el rango intercuartílico (Q3-Q1) +- la mediana, y los puntos valores extremos.....	35
<b>Figura 6.</b> Histograma de frecuencias de los pesos (g) por sexos de <i>M. productus</i> para la CO de BCS, durante el periodo de muestreo (may-dic 2015), n = 927.....	36
<b>Figura 7.</b> Variación mensual de pesos registrados en el periodo de estudio. Las líneas sólidas representan la mediana, las cajas el primer y tercer cuartil, los bigotes 1.5 veces el rango intercuartílico (Q3-Q1) +- la mediana y los puntos valores extremos.....	37
<b>Figura 8.</b> Relación talla-peso para la población en general, machos y hembras de merluza del Pacífico para la CO de BCS durante el periodo de estudio (may-dic 2015).....	38
<b>Figura 9.</b> Factor de condición de Fulton ( <i>K</i> ) para las merluzas analizadas en el presente estudio a lo largo del periodo de muestreo. ....	40
<b>Figura 10.</b> Frecuencia relativa de los estadios de madurez por mes para la población en general de <i>M. productus</i> en la CO de BCS durante el periodo de estudio (may-dic 2015)..	42
<b>Figura 11.</b> Frecuencia relativa de los estadios de madurez por mes para hembras ( <i>arriba</i> ) y machos ( <i>abajo</i> ) de <i>M. productus</i> en la CO de BCS durante el periodo de estudio (may-dic 2015). ....	43
<b>Figura 12.</b> Variación mensual del Índice gonadosomático (IGS) promedio para <i>M. productus</i> para cada uno de los meses de prospección en la CO de BCS. ....	44
<b>Figura 13.</b> Talla de primera madurez ( $L_{50}$ ) para la población en general de <i>M. productus</i> en la CO de BCS para el periodo de estudio. ....	45
<b>Figura 14.</b> Talla de primera madurez ( $L_{50}$ ) para hembras ( <i>arriba</i> ) y machos ( <i>abajo</i> ) de <i>M. productus</i> en la CO de BCS para el periodo de estudio.....	46

<b>Figura 15.</b> Frecuencia del número de individuos para cada grupo de edad encontrado de merluza del Pacífico en la costa occidental de BCS, durante el periodo de mayo-diciembre 2015. n = 192. ....	47
<b>Figura 16.</b> Fotografía de la sección de un otolito <i>sagitta</i> de una merluza de 4 años de edad recolectada en mayo de 2015 en el área de estudio. Se muestran los primeros anillos correspondientes a las etapas tempranas de desarrollo (E = eclosión, P = vida pelágica, D = vida demersal). ....	48
<b>Figura 17.</b> Ajuste del modelo de von Bertalanffy generalizado (GVB) a los datos de edad observados mediante el análisis de otolitos <i>sagitta</i> . n = 192. ....	50
<b>Figura 18.</b> Ajuste del modelo de crecimiento individual de GVB para las hembras (izquierda) y para los machos (derecha) de <i>M. productus</i> en el área de estudio. ....	50
<b>Figura 19.</b> Ajuste del modelo logístico aplicado a la porción de la población en general de <i>M. productus</i> en el área de estudio, para el análisis de $E_{50}$ . n = 192. ....	51
<b>Figura 20.</b> Ajuste del modelo logístico para la estimación de $E_{50}$ para la porción de hembras (arriba; n = 111) y machos (abajo; n = 81) de <i>M. productus</i> estudiada en el presente. ....	52

## Lista de tablas

<b>Tabla I.</b> Escala macroscópica de madurez sexual utilizada en el presente estudio. Se muestran las características para las gónadas de hembras y machos en cada uno de los estadios definidos. Modificada de Alarcón <i>et al.</i> (2008) y Perea <i>et al.</i> (2015). .....	22
<b>Tabla II.</b> Proporción mensual de sexos de merluza del Pacífico ( <i>M. productus</i> ) en la CO de BCS.....	32
<b>Tabla III.</b> Promedio, mínimo y máximo de las tallas (cm) de merluza registradas en el periodo de estudio.....	33
<b>Tabla IV.</b> Promedio, mínimo y máximo de los pesos (g) registrados en el periodo de estudio. ....	36
<b>Tabla V.</b> Parámetros de las relaciones Talla-peso de la porción de la población de <i>M. productus</i> estudiada en el presente estudio. Se muestran los valores de $p$ para la prueba $t$ de Student realizada a los coeficientes $a$ y $b$ , el error estándar asociado y el intervalo de confianza al 95%.....	39
<b>Tabla VI.</b> Frecuencia relativa (%) de los distintos estadios de madurez para <i>M. productus</i> a lo largo del periodo muestreado.....	41
<b>Tabla VII.</b> Talla promedio (longitud patrón) por grupos de edad de <i>M. productus</i> . .....	48
<b>Tabla VIII.</b> Parámetros de crecimiento para los modelos de crecimiento aplicados a los datos de edad de merluza del Pacífico en el presente. Se incluye el valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ). $n = 192$ .....	49
<b>Tabla IX.</b> Parámetros estimados de los modelos logísticos ( $E_{50}$ ), aplicados a la porción de la población en general, hembras y machos de <i>M. productus</i> analizada en el presente. ....	51

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Las pesquerías en el mundo

La Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) en su documento “El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura” (SOFIA, por sus siglas en inglés), declara que hasta el año 2016, la producción pesquera por captura en los océanos y mares del mundo se ha mantenido relativamente constante desde finales de los años 80’s a la actualidad, reportando capturas de alrededor de los 90 millones de toneladas anuales, en comparación de la pesquería en aguas continentales y la acuicultura, las cuales si han presentado un crecimiento exponencial en las últimas décadas. Por otro lado, la demanda en el consumo de recursos marinos ha ido en aumento en los últimos años pasando de 15 kg per capita/año en 2000 a 20 kg per capita/año en 2014, esto gracias al crecimiento de la industria pesquera; lo cual en conjunto con otros factores brinda este aumento en la disponibilidad del recurso, tal como la disminución del despilfarro, la mejora de la utilización, el fomento de los canales de distribución, y la demanda cada vez mayor asociada al aumento demográfico, el aumento de los ingresos y la urbanización, entre otros (FAO, 2016).

Aunado a esto, en los últimos 50 años el aumento en la capacidad de pesca ha generado un impacto a nivel global, trayendo entre sus consecuencias la sobreexplotación de muchos de los recursos marinos que se extraen (Grafton *et al.*, 2007), por lo que esta tendencia a mantenerse constante a lo largo del tiempo de la producción pesquera, puede estar dada en parte por la incorporación de nuevos recursos a las pesquerías y no solamente por un balance entre el aumento de la capacidad de pesca y la disponibilidad del recurso (FAO, 2005; Hilborn *et al.*, 2003).

Otra característica de las pesquerías a gran escala más importantes a nivel global es el hecho de que son monoespecíficas, es decir, son dirigidas a una especie en particular o a un grupo de recursos en particular, tal es el caso de los pelágicos menores, que ocupan un lugar muy importante dentro del ranking mundial de producción pesquera. Esta condición de la pesquería a ser dirigida a un solo grupo de organismos, está dada por diversos factores

tales como: la misma biología de dichos grupos ya que tienen una tasa de reproducción y crecimiento muy altos, así como una talla relativamente pequeña lo que les brinda posibilidades de generar grandes biomásas, permitiendo su fácil explotación y trayendo consigo su exitosa inclusión al mercado, elevando su demanda año con año (Bostford *et al.*, 1997; Hilborn y Walters, 1992).

## **1.2 La pesca en México**

Las actividades pesqueras en México no son la excepción y están sujetas a los mismos impactos que el aumento en la capacidad de pesca conlleva. El mal manejo de las pesquerías en el país ha traído el colapso de diversos recursos que en décadas anteriores habían posicionado a México como uno de los principales productores pesqueros a nivel global, sin embargo el no considerar ciertos criterios de manejo que hoy en día se encuentran implementados llevó a la sobreexplotación e incluso depleción a muchas de las pesquerías nacionales (Arreguín y Huitrón, 2011; DOF, 2012).

Al igual que en otras pesquerías alrededor del mundo, se ha logrado identificar que los factores que intervienen en el mal manejo de las pesquerías en México son de diferente naturaleza, así como de diferente procedencia, tanto técnicos como sociales, políticos y económicos, lo cual por lo general sucede en países subdesarrollados con una gran disponibilidad de recursos como lo es México (Espinoza *et al.*, 2011).

La falta de información de los arribos de las diversas embarcaciones a lo largo del litoral mexicano, como de la comercialización de los recursos obtenidos de pesquerías de pequeña escala, es de igual manera uno de los principales factores que intervienen en el mal manejo de la actividad pesquera y que ha traído como consecuencia un gran impacto negativo sobre la abundancia de los recursos y salud de los sistemas marinos en aguas mexicanas (Cisneros-Montemayor *et al.*, 2013, 2015).

Lo anterior vuelve necesaria la implementación de nuevas estrategias de manejo sobre las pesquerías mexicanas, que contemplen un enfoque multidisciplinario que incorpore todas las dimensiones de la sustentabilidad: ambiental, tecnológica, institucional, social y económica, y además considere los diferentes sectores y niveles productivos con los cuales

cuenta esta actividad, con el fin de tratar lograr un desarrollo sostenible del sector pesquero nacional (Lluch-Cota *et al.*, 2006).

### **1.3 Nuevas alternativas**

A pesar de la situación actual de la pesca a nivel mundial, diversos grupos de científicos han aportado nuevas ideas y conceptos para llevar a cabo la implementación de nuevos criterios de manejo, los cuales en teoría permitirán lograr una producción más cercana a la sustentabilidad (Pauly *et al.*, 2002), como lo son el co-manejo y gobernanza, que motivan la participación de la comunidad en el manejo de los recursos (Gutiérrez *et al.*, 2011; Sevaly y Raakjaer, 1996), el manejo de las pesquerías bajo un enfoque ecosistémico tratando de ver los efectos de la misma sobre las diversas relaciones inter e intraespecíficas del ecosistema (Bostford *et al.*, 1997), la reconstrucción de las pesquerías mundiales mediante la implementación de la reducción del esfuerzo pesquero, la zonificación y restricción de los sitios de pesca, la incorporación de cuotas de captura, así como el aumento en la selectividad de las artes de pesca en aquellas pesquerías sobreexplotadas o en estado depleción (Worm *et al.*, 2009), así como la consideración de la variabilidad climática la cual ejerce cierta presión de manera natural sobre la abundancia y distribución de los recursos marinos (Martínez *et al.*, 2011). De igual manera la exploración pesquera y el avance tecnológico también ha motivado la investigación sobre especies de aguas profundas e internacionales, tratando de encontrar recursos que sirvan como alternativa para la explotación, con el fin de reducir el efecto sobre aquellos que ya se encuentran impactados y en un estado de sobreexplotación (Arreguín y Huitron, 2011; Eigaard *et al.*, 2014).

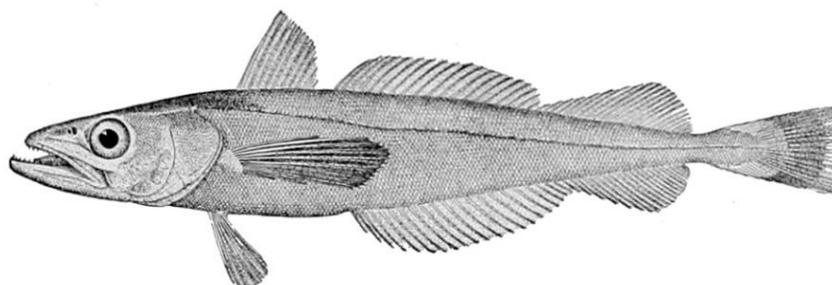
En México se han realizado algunas exploraciones pesqueras, sin embargo limitadas a la búsqueda de nuevos sitios de distribución de recursos que ya cuentan con una industria y/o mercado nacional y por lo general restringidas a la plataforma continental, que es la zona donde las actividades pesqueras se llevan a cabo en el país. Teniendo en consideración estas premisas, en el año 2012 se realizaron cruceros de investigación y exploración por parte del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR) a lo largo del litoral que define el Pacífico mexicano, mediante el empleo de técnicas hidroacústicas y lances de verificación, con lo cual se logró estimar y ubicar un *stock* de más de 140,000 t de merluza

del Pacífico o *Merluccius productus* (Ayres, 1855), en las inmediaciones de la costa occidental del estado de Baja California Sur (BCS), México, sobre los límites de la plataforma continental (Godínez-Pérez, 2013), confirmando la presencia de un recurso marino con un potencial pesquero alto, el cual ya había sido estimado y descrito por diversos autores (Aurioles-Gamboa *et al.*, 1993; Balart-Páez, 1996, 2005; Funes-Rodríguez *et al.*, 2009; Padilla y De la Campa, 1981; Vrooman y Paloma, 1977), no obstante dichas estimaciones de abundancia y distribución de este organismo en México no habían sido realizadas con un método de prospección de esta naturaleza tecnológica, lo cual generaba un sesgo muy importante en los diversos resultados obtenidos, enmascarando el verdadero potencial pesquero del recurso.

#### **1.4 Merluza del Pacífico – *Merluccius productus* (Ayres, 1855)**

##### **1.4.1 Biología**

*M. productus* es un pez teleósteo de naturaleza demersal, perteneciente a la familia de los gádidos, el cual mide 60 cm promedio en las zonas donde regularmente se pesca (Estados Unidos de América (EUA) y Canadá) y los registros indican que puede vivir un poco más de 20 años (Fig. 1).



**Figura 1.** Esquema general de una merluza del Pacífico *Merluccius productus* (Fuente: Bulletin of the United States Fish Commission).

Habita por lo general en los límites de la plataforma continental (150 - 500 m aproximadamente) encontrándose a profundidades de hasta 2000 m (Bailey *et al.*, 1982). Su distribución está limitada al Gran Ecosistema Marino de la Corriente de California (CCLME,

por sus siglas en inglés) desde la zona sur de Alaska hasta la parte alta del Golfo de California, jugando un papel trófico muy importante en él tanto como presa de diversos depredadores, así como probablemente funcionando como el principal consumidor de zooplancton y pez forrajero de este ecosistema, sirviendo como transmisor de energía (biomasa) a niveles tróficos más altos (Livingston y Bailey, 1985; Ressler, 2007).

Durante el invierno los adultos migran hacia el sur por la zona de la plataforma más profunda y alejada de la costa hasta llegar a aguas más cálidas en donde realizan el desove. Posteriormente, las corrientes subsuperficiales de la CC (Corriente de California) acarrearán los huevos y larvas hacia el norte durante la primavera y el verano (abril – agosto), esto propicia que los juveniles se desarrollen en aguas más someras y cercanas a la costa hasta llegar a su estado adulto, por lo general estos últimos encontrados en la porción norte del CCLME y en aguas más profundas (Bailey *et al.*, 1982; Hamel *et al.*, 2015).

#### **1.4.2 Stocks**

A lo largo de la historia de esta pesquería se han descrito por lo menos cinco *stocks* diferenciados morfológica y genéticamente, uno muy grande distribuido a lo largo del CCLME entre los 49° N y los 32° N; siendo este el más importante económicamente y como objeto de estudio de ellos, ya que es el que sostiene la industria pesquera en esta zona. Se definen otros dos stocks costeros espacialmente restringidos localizados en los Estrechos de Puget y Georgia respectivamente, un cuarto stock en la zona del Alto Golfo de California para el cual existe una pesquería comercial desde hace algunos años (EDF y COBI, 2013) y un quinto stock en la parte más sureña del CCLME sobre aguas mexicanas a la altura del Golfo de Ulloa, BCS, México, definido como “enano” debido a las reducidas tallas que llegan a alcanzar los adultos con respecto a los demás stocks descritos (Balart-Páez, 2005; Hamel *et al.*, 2015; Vrooman y Paloma, 1977).

En la actualidad existen discrepancias acerca del estatus taxonómico de este último stock “enano”, ya que hasta hace pocos años era considerado una especie distinta debido a sus diferencias tanto morfológicas como genéticas (Balart-Páez, 1996, 2005), pero estudios recientes han confirmado que al parecer se trata de la misma especie con algunas variaciones

intraespecíficas en su configuración genética, la cual le brinda estas diferencias fenotípicas (Silva-Segundo *et al.*, 2011).

#### ***1.4.3 Pesquería***

La merluza del Pacífico es considerada de gran importancia comercial, política y social en la región de Norteamérica que comprende el Océano Pacífico oriental, ya que su distribución la hace un recurso compartido entre países vecinos (Canadá, EUA y México). Siendo EUA y Canadá los países con una pesca establecida desde finales de los años 60's sobre este recurso, llevando a cabo en conjunto el manejo del mismo. Las capturas reportadas de merluza por estos países en las últimas dos décadas superan las 200,000 t año<sup>-1</sup>, y en los últimos años el recurso ha triplicado su valor en el mercado pasando de \$1 USD a \$3 USD/kg aprox. de 2006 a 2014, brindándole a este sector pesquero un aporte socioeconómico muy importante (FAO, 2016).

#### ***1.4.4 Dinámica poblacional***

Este organismo (*M. productus*) ha sido estudiado ampliamente desde el comienzo de su extracción como recurso pesquero, teniendo registros acerca de su biología reproductiva y distribución desde finales de los años 50's (Ahlstrom, 1959; Ahlstrom y Counts, 1955). Hasta contar con descripciones muy detalladas de su dinámica poblacional y su distribución espacio-temporal a lo largo de la CCLME (Bailey *et al.*, 1982; Grandin *et al.*, 2016; Hamel y Stewart, 2009; Ressler *et al.*, 2007; Taylor, 2015), en las cuales se consideran tanto los aspectos biológicos de la especie como aquellos parámetros poblacionales esenciales para llevar un manejo de la pesquería, tal como la estructura de tallas, relación talla – peso, edad y crecimiento, proporción de sexos, madurez sexual, entre otros, que en conjunto permiten estimar otros parámetros que definen la dinámica poblacional del recurso, la cual a su vez permite realizar estimaciones acerca de las dimensiones y estado de los diferentes componentes del stock (biomasa con potencial pesquero, stock desovante, por mencionar algunos). Por lo tanto, conocer la dinámica de una población de peces implica pues conocer no sólo el tamaño y la estructura de la población, sino, lo que es más importante, implica

conocer la forma y la intensidad en que ésta cambia y se renueva (Csirke, 1980; Sparre y Venema, 1997).

Estos datos intrínsecos de la población en conjunto con la distribución espacio-temporal del recurso en relación a diversas variables oceanográficas, como lo son la temperatura del océano, el oxígeno disuelto, la salinidad, la productividad, entre otras, han permitido realizar con éxito estimaciones y/o predicciones de la distribución del stock de *M. productus* en el CCLME a lo largo del tiempo (Agostini *et al.*, 2006; Benson *et al.*, 2002; Cooke *et al.*, 2006; Dorn, 1992, 1995; Grover *et al.*, 2002; Ressler *et al.*, 2007; Sakuma y Ralston, 1997).

Con base en lo anterior, podemos decir que los datos biológicos recopilados por los sectores pesquero y científico en las zonas donde se desarrolla esta pesquería (EUA y Canadá), han funcionado para llevar a cabo un manejo adecuado del recurso, el cual ha mantenido sus niveles de producción relativamente constantes a lo largo de su historia como recurso pesquero (FAO, 2016).

A pesar de existir vasta información acerca de esta especie, la mayor parte de los estudios han sido enfocados en los stocks situados en la porción norte del CCLME (EUA y Canadá), sobre los cuales actualmente se lleva a cabo una actividad pesquera. Por lo que el presente trabajo busca un acercamiento a la caracterización de la dinámica poblacional, del stock de *M. productus* denominado “enano” (Vrooman y Paloma, 1977), encontrado en la zona de la Costa Occidental de BCS, México, con el fin de ampliar la información existente y sirva de base para la inferencia sobre la potencialidad de esta especie como un recurso pesquero en México.

## 2. ANTECEDENTES

Llamada coloquialmente merluza del Pacífico o merluza norteña, *M. productus* fue nombrada y descrita por primera vez por William Orville Ayres en 1855, quien fungiendo como primer curador ictiólogo de la Academia de Ciencias de California, tuvo acceso a muestras del organismo provenientes de la corriente de California (Ayres, 1855). Desde entonces la merluza del Pacífico ha sido ampliamente estudiada, principalmente desde su inclusión como recurso pesquero por los países de EUA y Canadá a principios de los años 1950's, existiendo más de 100 trabajos de investigación acerca del mismo a la fecha.

Ahlstrom y Counts (1955), fueron los primeros en realizar una descripción de la distribución de huevos y larvas de *M. productus* a lo largo del CCLME encontrando organismos desde la porción de San Francisco, EUA hasta Cabo San Lucas, México, mediante la toma de muestras de zooplancton, determinando que San Quintín, Baja California era el punto con mayor abundancia de huevos y larvas para la especie.

Best (1963) incorporó la primera sinopsis de la biología y dinámica poblacional de la especie, analizando más de 2000 muestras recolectadas como pesca incidental en la pesca de camarón sobre la costa de California, EUA. En ella determinó clases de tallas, encontrando una moda para las tallas comerciales o talla de reclutamiento de 40 cm con un máximo de 80 cm. Encontró que las hembras se encontraban en mayor proporción que los machos, en todos los puntos de muestreo. Determinó que todos los organismos mayores a 40 cm se encontraban sexualmente maduros. Calculó la relación longitud-peso obteniendo un coeficiente de isometría de  $b = 3.066$ . De igual manera describió por primera vez la estructura de edades para las distintas clases de tallas de la especie mediante la lectura de anillos de crecimiento en otolitos, encontrando que la edad de primera madurez se alcanzaba después de los 3 años de vida del organismo una vez que había superado los 40 cm.

Alverson y Larkin (1969), describieron las migraciones realizadas por la especie mediante censos de huevos, larvas y de juveniles de *M. productus*. Encontraron que los organismos adultos migran hacia el sur con fines reproductivos y durante la primavera,

verano y otoño regresan migrando hacia al norte para alimentarse en zonas muy pegadas a la costa, donde la productividad es mayor.

Dark (1975) realizó la estimación de edad y crecimiento de esta especie conjuntando datos de capturas y muestras biológicas procedentes de diversos puntos a lo largo de la costa oeste de EUA, mediante el conteo de anillos de crecimiento en los otolitos y aplicando la fórmula de crecimiento de von Bertalanffy por primera vez en este organismo. Encontró que las hembras presentan una tasa de crecimiento mayor que los machos, la cual es mayor durante los primeros 3 años de vida [ $L_t = 56.29(1 - e^{-0.39(t-0.20)})$ , para machos y  $L_t = 61.23(1 - e^{-0.30(t-0.01)})$  para hembras]. Así mismo encontró una edad máxima de 13 años.

Vrooman y Paloma (1977) definieron por primera vez la distinción entre las merluzas encontrados en la porción norte de la CC y aquella a la que denominaron “enana” ubicada en aguas mexicanas sobre los 26° N, mediante el análisis de características morfológicas y de los patrones de edad y crecimiento. Encontraron que la talla de primera madurez para los machos fue de 11.9 y de 12.5 cm para las hembras. Mediante el análisis de otolitos para la determinación de la edad observaron que la maduración sexual se da desde el primer año de vida y que la tasa de crecimiento es muy lenta en comparación de las merluzas encontradas más al norte en EUA. Mediante el análisis de electroforesis en proteínas de tres estructuras distintas (humor vítreo, retina y músculo), encontraron diferencias significativas al comparar las muestras de merluza “enana” con aquellas merluzas comúnmente pescadas al norte.

Acerca de las técnicas para determinación de edad y crecimiento de este organismo, Beamish (1979), realizó una descripción referente a la diferencia en la estimación de la edad de *M. productus* entre el conteo y análisis de anillos de crecimiento en otolitos completos y segmentos de otolitos, definiendo que los segmentos brindaban información más detallada a partir del séptimo año de vida, dado que algunos de los anillos de crecimiento se ocultaban debajo de los otros por lo que a simple vista no era posible apreciarlos hasta obtener el segmento de otolito. Sin embargo, con las técnicas en ese entonces no era posible identificar qué resultado era el más cercano a la edad real.

A partir de los años 80's las pesquerías a nivel mundial presentaron un auge debido al desarrollo tecnológico, trayendo como consecuencia un aumento en la producción pesquera y por lo tanto en la disponibilidad de datos para llevar a cabo análisis con el fin de mejorar la gestión de los recursos. La pesquería de la merluza del Pacífico no fue la excepción y presentó un aumento en las capturas en dos órdenes de magnitud pasando de 6000 *t* a 20000 *t* al año. Lo anterior, llevó a la generación de una gran cantidad de información disponible a partir de las capturas de este recurso, con lo cual Bailey *et al.* (1982) realizaron por primera vez una síntesis de la historia de vida de *M. productus* a lo largo de la CCLME, brindando información acerca de la dinámica poblacional y la distribución espacio-temporal en base a las preferencias ambientales del recurso, exponiendo por primera vez cierta relación entre las abundancias y ciertas variables oceanográficas.

Posterior al trabajo de Bailey *et al.* (1982) se han realizado infinidad de trabajos relacionados a la distribución espacio-temporal del recurso con base en diversas variables oceanográficas, así como en la variabilidad climática dentro del CCLME principalmente utilizando datos acerca de la presencia de huevos y larvas (Agostini *et al.*, 2006; Bailey, 1981; Bailey y Francis, 1985; Benson *et al.*, 2002; Hollowed, 1992; Saunders y McFarlane, 1997).

Aunado a lo anterior, Butler y Nishimoto (1997) realizaron la determinación de la edad de larvas de merluza; capturadas durante arrastres de red bongo durante la época de mayor actividad reproductiva (enero-mayo), mediante la lectura de anillos de crecimiento en los otolitos *sagitta* de las mismas. En su trabajo, describieron la talla a la edad de las larvas desde el momento de la eclosión hasta 89 días después de esta y ajustaron el modelo de crecimiento de Gompertz ( $L = L_0 e^{(a(1 - e^{-gt}))}$ ) a sus datos (Zweifel y Lasker, 1976), obteniendo ( $L_0 = 3.16$ ,  $a = 3.64$ ,  $g = 0.0101$ ,  $R^2 = 0.76$ ).

Al igual que Bailey *et al.* (1982), Ressler *et al.* (2007) realizaron una síntesis de toda la información generada acerca de esta especie hasta ese entonces, realizando una mayor incorporación de variables oceanográficas que pudieran explicar la distribución del recurso en la zona a lo largo de los periodos analizados.

Respecto a la estimación de la abundancia y distribución del recurso mediante técnicas hidroacústicas, se han llevado diversos estudios (Henderson y Horne, 2007; Traynor, 1996) para la zona del litoral de E.U.A. A partir del año 1997 todas las evaluaciones del *stock* que sustenta la pesquería en esa zona, se han realizado mediante prospecciones hidroacústicas llegando a estimar más de 2,000,000 t de biomasa explotable sobre la CC.

Debido a la importancia ecológica como socioeconómica del recurso, en 2003 los países de Canadá y EUA, firmaron un acuerdo llamado “The treaty”, para llevar a cabo en conjunto el manejo de la pesquería de merluza del Pacífico. En dicho documento se definen diversos órganos de gobierno, encargados de realizar la estimación de la biomasa disponible, el establecimiento de cuotas anuales, entre otras tareas. Por lo que la estimación de la biomasa y diversos parámetros poblacionales de la especie se realiza año con año desde entonces. El manejo que ellos proponen se basa en la explotación máxima del 40% rendimiento máximo sostenible (MSY por sus siglas en inglés) con el fin de tener un buen margen de respeto para la sostenibilidad del recurso, dependiendo el reclutamiento anual del organismo.

Para el *stock* de merluza denominado “enano” y ubicado en aguas mexicanas, se cuenta con muy poca información la cual surge a partir de las prospecciones y estimaciones realizadas por Villamar y Schmidt (1976) y el ictiólogo mexicano Castro-Aguirre a bordo del B/O El Puma en los 80’s. Padilla y De la Campa (1981), realizaron la estimación de la biomasa de *M. productus* para aguas mexicanas mediante el análisis de la biomasa de huevos y larvas, obteniendo como resultado una biomasa explotable de más de 300,000 t.

Aurioles (1991) realiza una comparación entre el tamaño del otolito y la relación peso-longitud para 11 especies de peces entre los que va incluida aquella perteneciente a este *stock* de *M. productus*. Posteriormente, Balart-Páez y Aguirre (1995) definieron algunos aspectos biológicos del mismo como parte de un estudio para el aprovechamiento de la langostilla (*Pleurocondes planipes*), encontrando que ambos recursos están estrechamente relacionados dada su ecología trófica, funcionando la merluza como el principal depredador de langostilla para la zona.

Años más tarde, Aurióles-Gamboa *et al.* (1993) y Balart-Páez (1996) hacen referencia a este *stock* como uno de aquellos con cierto potencial pesquero en México, tomando en consideración el éxito de las pesquerías sobre este recurso existentes en otras zonas de la CC (EUA y Canadá) y con base en las estimaciones de biomasa (Padilla y De la Campa, 1981) que se habían realizado para el mismo en la porción que comprende la CO de BCS.

Godínez (2013) realiza la primera estimación mediante un método hidroacústico del anteriormente mencionado *stock* de *M. productus*, estimando aproximadamente 146,000 *t*, lo cual promueve la intención de generar mayor conocimiento acerca de las características poblacionales, biológicas y de distribución del mismo.

A pesar de existir diversos estudios enfocados a la taxonomía de la especie, basados en caracteres merísticos y genéticos (Balart-Páez, 2005; Iwamoto, 2004; Silva-Segundo *et al.*, 2011; Vrooman y Paloma, 1977), aún existe incertidumbre en la clasificación taxonómica de aquellos *stocks* de *M. productus* distribuidos en aguas mexicanas. Hasta hace algunos años el *stock* encontrado en la porción norte del Golfo de California (GC), había sido catalogado como una especie nueva (*Merluccius hernandezii*; Mathews, 1985), sin embargo el estudio de Silva-Segundo *et al.* (2011), lo clasifica como una porción aislada de la población original de *M. productus* encontrada en la CC, que probablemente gracias algún evento oceanográfico en algún momento se logró separar, entrar y desarrollar en el GC (Mathews, 1985).

Inada (1989), realizó una revisión acerca del estatus taxonómico de la familia Merluccidae, donde separó a la merluza enana como una especie distinta a *M. productus*, dado que presentaba características más similares a *Merluccius angustimanus* pero no la incluyó en esta especie tampoco. A partir de esta descripción, se consideró la presencia de ambas especies en la misma zona incluso separando al morfotipo “enano” como una tercer merluza sin agrupar claramente en ninguna especie (Balart-Páez, 1996; Ressler *et al.*, 2007).

Balart-Páez (2005), en su descripción de la biología dinámica poblacional de la merluza bajacaliforniana, considera a *M. angustimanus* como aquella que se distribuye en esta zona de la CC.

No obstante, Silva-Segundo *et al.* (2011) mediante análisis morfológicos y genéticos, incorporaron este *stock* dentro de *M. productus*, pero encontrando ciertas discrepancias en algunas bases nucleótidas entre estos organismos y sus vecinas del norte. Por lo que el estatus taxonómico del *stock* aun no es claro hasta la fecha.

Con base en lo anterior, los individuos analizados en el presente estudio se consideran pertenecientes a la especie *M. productus*, sin embargo es necesaria una revisión taxonómica a detalle y con técnicas de vanguardia que aporten mayor información a la clasificación de esta especie con el fin de llevar a cabo un manejo más adecuado de la misma.

### 3. JUSTIFICACIÓN

El incremento de la población mundial y el aumento en la demanda de consumo de pescado per capita, traen como consecuencia la necesidad de generación de más conocimiento acerca de las poblaciones y *stocks* pesqueros ya establecidos, así como la implementación de nuevas técnicas de prospección y análisis para definir aquellos *stocks* con un posible potencial pesquero.

Desde hace más de 40 años, el *stock* de merluza del Pacífico (*M. productus*) ubicado en la Costa Occidental de BCS ha sido definido como un *stock* con características biológicas, ecológicas y poblacionales diferentes (Vrooman y Paloma, 1977), que aquellos *stocks* que son explotados actualmente en el Pacífico Oriental tanto en EUA como en Canadá. No obstante, nunca se ha realizado una explotación regulada del mismo principalmente por falta de información. Dado lo anterior, es necesario conocer los parámetros poblacionales de este organismo en esta región, con el fin de brindar más información que sirva de mayor sustento científico para la posible apertura a la pesquería del mismo.

#### **4. HIPÓTESIS**

El *stock* de merluza del Pacífico (*M. productus*) que habita en la costa occidental de Baja California Sur, presentará parámetros poblacionales distintos a aquellos encontrados en la costa oeste de EUA y Canadá, sustentando su definición como un *stock* independiente (Vrooman y Paloma, 1977).

## 5. OBJETIVOS

### 5.1 Objetivo general

Describir la dinámica poblacional de la merluza del Pacífico *Merluccius productus* (Ayres, 1855) en la costa occidental de BCS, México.

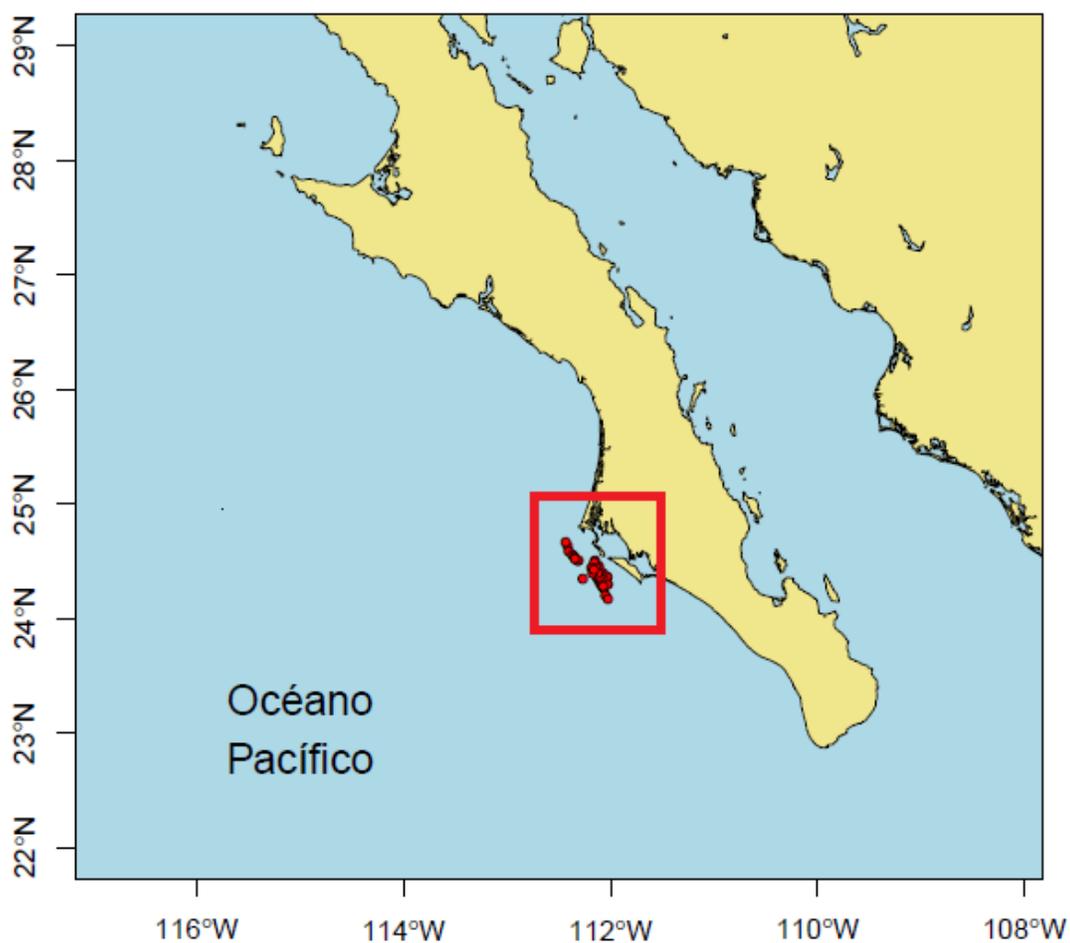
### 5.2 Objetivos particulares

- Estimar la proporción sexual de *M. productus*.
- Describir la estructura de tallas y pesos para *M. productus*.
- Estimar la relación talla-peso y definir el tipo de crecimiento de *M. productus*.
- Estimar el factor de condición para este stock de merluza del Pacífico a lo largo del periodo muestreado.
- Describir la proporción de los estadios de madurez para *M. productus* a través de los meses de prospección.
- Estimar el índice gonadosomático para *M. productus*.
- Estimar la estructura de edades de *M. productus* en la CO de BCS, mediante la lectura de marcas de crecimiento registradas en secciones de los otolitos *sagitta*.
- Estimar el crecimiento individual de la merluza del Pacífico en el área de estudio mediante la aplicación de un enfoque multimodelo.
- Estimar la talla y edad de primera madurez para *M. productus*.

## 6. MATERIAL Y MÉTODOS

### 6.1 Área de estudio

El área de estudio comprende la porción central de la costa occidental de BCS, al sur del Golfo de Ulloa frente a Bahía Magdalena entre los 24.2° y 24.6° N y los 112.02 y 112.6° O (Fig. 2).



**Figura 2.** Área de estudio. Puntos rojos representan localidades donde se colectaron los individuos de *M. productus* analizados en este trabajo.

El área de estudio se encuentra en la porción más sureña del Sistema de la Corriente de California (SCC), la cual forma el margen oriental del gran giro oceánico del Pacífico norte. Con respecto a las corrientes oceánicas, el SCC incluye un flujo superficial (hasta los 300 m de profundidad) que transporta agua subártica del Pacífico norte hacia el sur, con mezcla de agua del centro del Pacífico norte que penetra desde el oeste. Una corriente profunda penetra por su límite austral acarreado agua desde el ecuador hacia el norte y de igual manera una contracorriente estrecha fluye normalmente hacia el norte a lo largo de la costa durante el otoño e invierno (Lynn y Simpson, 1987).

El SCC está sujeto a considerable variabilidad estacional, las surgencias por viento; aunque son permanentes se intensifican durante abril a mayo e incorporan a la superficie aguas subsuperficiales frías, ricas en nutrientes a lo largo de la costa de la península de Baja California. Durante la primavera, tanto las surgencias como la advección funcionan como las fuentes principales de enriquecimiento superficial, al mismo tiempo que se presentan los mínimos promedios de nivel medio del mar. Por otro lado, la CC se debilita durante el verano y el otoño, mientras que la contracorriente costera (CCC), también conocida como corriente de Davidson se intensifica y acarrea agua de origen tropical hacia el norte, aumentando la temperatura del océano en el área (Lluch Belda *et al.*, 2000).

Dadas las características ecológicas y oceanográficas mismas del SCC en su porción más sureña, es posible denotar tres zonas con mayor concentración de fitoplancton y mayor concentración de biomasa de macrozooplancton a lo largo del año, las cuales han sido denominadas como Centros de Actividad Biológica (BACs, por sus siglas en inglés) y corresponden a las zonas de Punta Baja, Bahía Sebastián Vizcaíno y el Golfo de Ulloa; específicamente el área que comprende Bahía Magdalena y zonas aledañas. La alta productividad primaria y secundaria en estas zonas, brindan alimento a niveles tróficos superiores concentrando altas biomásas de distintos grupos de organismos a lo largo del año.

Aunado a lo anterior, en la costa occidental de Baja California existen una gran cantidad de lagunas costeras que intercambian materiales disueltos y particulados con la CC, siendo considerados como sistemas independientes, donde se desarrolla el ciclo de oxidación

de los nutrientes reducidos que son exportados por la boca de las mismas. De esta manera, en la época de agosto a diciembre, con la intensificación de la CCC (Walsh *et al.*, 1977), los materiales particulados y disueltos que se exportan de los sistemas lagunares serían ecológicamente relevantes. Asimismo, durante los períodos ENSO se intensifica el transporte de agua afuera de la costa, forzado por la intensificación de los vientos debido a un incremento en la diferencia térmica entre tierra y mar (Barber y Chávez, 1983).

En este contexto, Bahía Magdalena ha sido definida como uno de los BACs más importantes en la zona de la costa occidental de Baja California, funcionando como productor-exportador de biomasa a los ecosistemas adyacentes y como uno de los sistemas más ricos e importantes para el sustento de las pesquerías de las comunidades locales y para el estado de Baja California Sur (Lluch Belda *et al.*, 2000; CONAPESCA, 2014).

Los recursos pesqueros de la región, que incluyen el Golfo de Ulloa y el complejo lagunar de Bahía Magdalena-Bahía Almejas, contribuyen con más del 30% de la producción pesquera de México con una producción de más de 5500 t promedio al año y representan por mucho la mayor fuente de empleo del Municipio de Comondú en el estado de BCS, generando tanto empleos directos como indirectos (Ramírez-Rodríguez *et al.*, 2010; Valdez-Leyva, 2012).

La pesca en la región es de tipo ribereño y multiespecífica. Según la frecuencia de registro, volumen y valor de captura, la pesquería más importante en la región es la de escama, seguida de langosta, almejas, rayas, abulón, tiburón, cazón, calamar, jaiba, camarón, caracol, pulpo y ostión (Ramírez-Rodríguez *et al.*, 2010).

Los pescadores de la región viven en 26 comunidades costeras con aproximadamente 7,940 habitantes de los cuales un 13% presenta niveles altos de marginación al no contar con servicios de agua, energía eléctrica, salud y educación y 87% presenta niveles medios (INEGI, 2010). Por otro lado, existen indicios de que en varias modalidades de pesca o unidades de pesquerías los pescadores pueden estar enfrentando problemas por la sobreexplotación de los recursos (CONAPESCA, 2014).

## 6.2 Muestreo en campo

Los datos analizados en este trabajo fueron generados y recopilados en una base de datos producto del proyecto “Transferencia de paquete tecnológico para la pesquería de merluza (*M. productus*) en la costa occidental de la Península de Baja California, México” (Clave 100C) desarrollado por personal del CIBNOR en 2015, bajo la coordinación del Dr. César Augusto Salinas Zavala, responsable del proyecto.

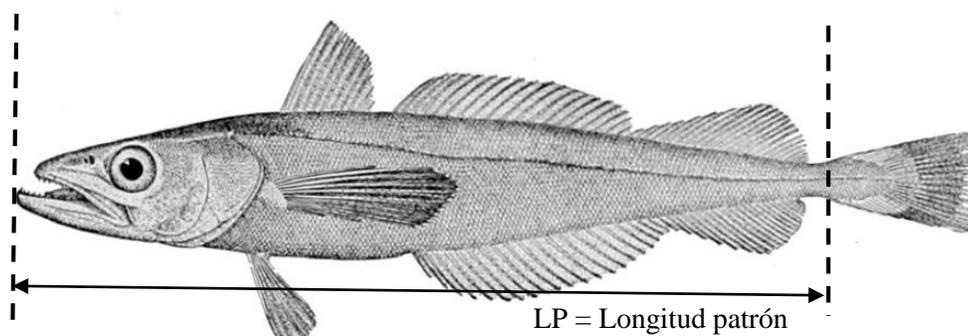
El trabajo en campo a partir del cual se construyó la base de datos propiedad de CIBNOR y utilizada en el presente, consta de 11 cruceros realizados a bordo del buque oceanográfico BIP XII durante el periodo de abril a diciembre de 2015 (Fig. 2), durante los cuales se obtuvo información para 84 lances en total realizados durante el día.

Los lances realizados en el área tuvieron una duración aproximada de 1 hora, a 2 nudos en promedio de velocidad, posteriores a la evaluación hidroacústica del punto de muestreo. Los lances de pesca son del tipo de arrastres de fondo-media agua, debido a la naturaleza de la especie objetivo. En total, se tomaron 927 muestras para todos los lances, para su posterior análisis en laboratorio.

### 6.3 Análisis en laboratorio

#### 6.3.1 Tallas y pesos

Con ayuda de un ictiómetro con precisión de 1 mm se midió la longitud patrón (LP, en centímetros) de todos los individuos analizados en este trabajo. LP es una medida estandarizada que se utiliza con fines de comparación y se define como la distancia entre la punta de la boca y el límite de la placa hipural anterior de la aleta caudal del pez (NOM-003-PESC-1993; Fig. 3). Adicionalmente, los individuos fueron pesados con una balanza electrónica con precisión de 0.1 g, se tomó el peso del organismo en gramos.



**Figura 3.** Longitud patrón de *M. productus* utilizada en el presente estudio como base para el análisis de la estructura de tallas. (Modificado de Bulletin of the United States Fish Commission).

#### 6.3.2 Aspectos reproductivos

Se disectaron los individuos con el fin de determinar el sexo y el grado de madurez sexual, para lo cual se diseñó una escala macroscópica modificada de otras escalas descritas en la literatura para organismos del mismo género (Tabla I; Alarcón *et al.*, 2008; Perea *et al.*, 2015).

Las gónadas fueron pesadas con ayuda de una balanza electrónica con precisión de 0.001 g. A partir del peso de las gónadas y de los individuos se estimó el Índice gonadosomático (IGS).

**Tabla I.** Escala macroscópica de madurez sexual utilizada en el presente estudio. Se muestran las características para las gónadas de hembras y machos en cada uno de los estadios definidos. Modificada de Alarcón *et al.* (2008) y Perea *et al.* (2015).

Estadio de madurez	Características macroscópicas	
	Hembras	Machos
I	Los ovarios son de aspecto homogéneo y transparente, pared del ovario muy delgada, con ningún desarrollo vascular	Testículos delgados y pequeños de color transparente, no presenta ninguna región blanquecina en el testículo.
II	Ovarios de aspecto homogéneo con coloración transparente y amarillenta. En conjunto, ambos ovarios forman un triángulo escaleno.	Este estadio no registra zonas blanquecinas, sin embargo, puede tener tonalidades rosadas o ligeramente rojizas producto de la vascularización más desarrollada respecto al estadio I. Los lóbulos testiculares no son turgentes.
III	Ovarios de mediana turgencia y de color blancuzco amarillento, con vascularización externa medianamente desarrollada, observándose el principal vaso sanguíneo. Los ovocitos son evidentes al realizar un corte transversal.	Los testículos presentan zonas de aspecto blanquecino y otras transparentes o semitransparentes. Las zonas blanquecinas no son muy desarrolladas como lo son en los testículos post-desove.
IV	Ovarios turgentes de color amarillo, con mayor vascularización a lo largo del ovario. Los ovocitos de mayor tamaño son evidentes al realizar un corte transversal.	Testículos de turgencia moderada de color blanquecino con vascularización mediana a lo largo de la gónada.
V	Ovarios de mayor turgencia, vascularizados y rígidos, de color naranja translúcido. Algunos ovocitos hidratados (vitelo) son visibles sin realizar corte alguno.	Testículos con mayor vascularización y de color blanco homogéneo en todos los lóbulos, sin zonas translúcidas o semitranslúcidas. Son de aspecto turgente debido al grado de llenura de los túbulos.
VI	Ovarios de mayor tamaño de color naranja completamente translúcidos, con máxima vascularización a lo largo de todo el ovario. Los ovocitos hidratados (vitelo) son visibles desde fuera de la gónada.	Testículos de mayor tamaño con algunas zonas rosáceas y con los lóbulos blancos y muy desarrollados. Algunas ocasiones es posible observar la expulsión del líquido espermático al presionar sin esfuerzo mayor la gónada.
Post-desove	Ovarios desgastados de color rojo sanguinolento y aspecto flácido. La sanguinolencia es homogénea en todo el ovario y no está localizada en una determinada zona.	Puede confundirse con los estadios en madurez (II y III), sin embargo, este testículo tiene lóbulos desarrollados, flácidos, con escasas zonas blanquecinas y aspecto rojizo.

### 6.3.3 Edad

Para la determinación de la edad se procedió al análisis de marcas de crecimiento en los otolitos *sagitta* (Dark, 1975). Para esto, se extrajeron los otolitos de la parte posterior de la cabeza de los organismos, se lavaron con agua y alcohol 96° y se dejaron secar durante 24 horas. Se guardaron en viales rotulados para su posterior análisis. En total se cuantificó la edad de 240 organismos, los cuales se seleccionaron de manera aleatoria, procurando tener representadas todas las clases de tallas de los 927 peces analizados en el presente.

Para la determinación de la edad se decidió utilizar el otolito izquierdo para mantener un estándar, en aquellos organismos que solo contaban con un otolito se utilizó el disponible. Los otolitos se calentaron en un microondas convencional durante 45 segundos con el propósito de hacer más evidente las marcas de crecimiento mediante el calor aplicado (Cabrera-Neri, 2003). Después de aplicar esta técnica, se montó 1 otolito de cada individuo en un molde de plástico, utilizando una mezcla de resina epóxica (20 mL) y catalizador (3 gotas), de tal manera que, la parte cóncava quedó hacia arriba, es decir, con la parte dorsal hacia la izquierda. Los moldes se dejaron secar durante 24 horas hasta que la resina secó del todo.

Después, se procedió a realizar cortes transversales en cada uno de los otolitos con ayuda de una cortadora de baja velocidad ISOMET BuehlerMet II. Con ayuda de una lupa, se ajustó el micrómetro de la cortadora procurando que los cortes fueran sobre el núcleo del otolito y de 1.15 unidades del micrómetro (0.2 mm) de ancho. Posterior al corte de los otolitos, las muestras se lijaron con una lija de agua de grano 600 durante 1 minuto por cada lado, para después pulirlos con una lija ultrafina de grano 1500 al igual durante 1 min por cada lado.

Finalmente, se llevó a cabo el proceso de lectura de marcas de crecimiento a partir de fotografías tomadas con una cámara Modelo AxioCam ERc 5s Marca Zeiss adaptada a estereoscopio a 2x de zoom, procurando capturar el corte completo del otolito en la imagen. La lectura de las bandas de crecimiento se basó en la metodología descrita por Piñeiro *et al.* (2009), tomando como referencia la presencia de 2 a 3 marcas muy evidentes antes de la

primera marca anual (*annuli*), correspondientes a los cambios de estadio larval, pelágico y demersal de los organismos respectivamente. Para el proceso de toma de las fotografías se utilizó luz transmitida por lo que se consideraron las marcas claras (hialinas) como las marcas de referencia anual (Dark, 1975; Piñeiro y Sainza, 2003). Se utilizó como base el eje dorso-ventral de los cortes para la lectura de las marcas de crecimiento, estableciendo como mejor zona para dicho propósito la porción ventral cercana al *sulcus* acústico del otolito (Beamish, 1979; Piñeiro y Sainza, 2003).

## **6.4 Análisis de datos**

Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo en el lenguaje de programación R (R Core Team, 2017) y el software Microsoft Excel 2010.

### ***6.4.1 Normalidad y homogeneidad de varianzas***

Se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk con el fin de determinar si los datos de tallas y pesos tienen una distribución normal y de esta manera decidir qué tipo de estadísticos de prueba aplicar para demostrar si existen diferencias entre grupos o no (Ruíz-Domínguez, 2015; Shapiro y Wilk, 1965).

De manera complementaria, se realizó la prueba de homogeneidad de varianzas de Fligner-Killeen debido a que algunas pruebas estadísticas requieren que los datos tengan distribución normal y varianzas homogéneas (Fligner y Killeen, 1976).

### ***6.4.2 Proporción de sexos***

Se aplicó una prueba para equidad de proporciones para saber si la proporción sexual de esta especie es igual a 1:1 en el sitio de muestreo. Para esto se agruparon las frecuencias de sexos por mes.

### ***6.4.3 Estructura de tallas y pesos***

Con el fin de estimar la estructura y composición de las tallas y pesos de *M. productus*, se crearon histogramas de frecuencia. Estos histogramas fueron creados por sexo y por mes para evaluar cambios estacionales de la estructura de tallas y pesos de la especie, y para evaluar si existen diferencias o no en la estructura de tallas y pesos por sexo.

Para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las tallas y pesos entre sexos, se realizó la prueba de Mann-Whitney (Mann y Whitney, 1947; Neves

*et al.*, 2003). La prueba de Kruskal-Wallis se realizó para determinar diferencias significativas entre los meses de muestreo para las tallas y pesos de *M. productus*. Esto debido a que los datos de peso y tallas de los individuos analizados no presentaron ni distribución normal ni varianzas homogéneas (Kruskal y Wallis, 1952).

#### **6.4.4 Relación talla-peso**

La relación talla – peso se analizó y describió a partir de la ecuación potencial (1) con el fin de determinar el tipo de crecimiento que presentan los organismos en base al coeficiente de isometría ( $b$ ). El coeficiente de isometría establece que si se tiene un valor igual a 3 el crecimiento es isométrico y alométrico si es diferente de 3.

$$P = aL^b \quad (1)$$

Dónde  $L$  es la longitud patrón del organismo,  $a$  es el parámetro de condición,  $b$  el parámetro de crecimiento isométrico, y  $P$  el peso del organismo.

Para evaluar si el coeficiente es estadísticamente diferente de 3 se aplicó una prueba  $t$  de Student (Froese *et al.*, 2011).

#### **6.4.5 Factor de condición de Fulton (K)**

El factor de condición de Fulton (2), se utilizó para describir la condición nutricional de las merluzas a lo largo del periodo muestreado, ya que se ha determinado que el valor de  $K$  se encuentra relacionado con el sexo, el tamaño, la estación y el grado de desarrollo de las gónadas de los organismos (Froese, 2006).

$$K = 100 \frac{W}{L^3} \quad (2)$$

Dónde  $W$  es el peso de los organismos,  $L$  es la longitud de las merluzas y multiplicado por el factor 100 para acercarlo a la unidad. Para este análisis se utilizaron valores promedios de

los pesos y longitudes por cada uno de los meses de prospección separados por sexo y en conjunto.

#### **6.4.6 Aspectos reproductivos**

##### *Proporción de estadios de madurez*

Una vez descritos los estadios de madurez de cada individuo, se realizó un análisis de la frecuencia relativa mensual, para definir si existen cambios estacionales en la reproducción de esta especie. Estos análisis se realizaron por sexo y en conjunto para determinar si existen diferencias o no en el periodo de reproducción de hembras y machos. De no existir esta diferencia se considera que ambos géneros tienen su mayor actividad reproductiva en una estación en particular.

##### *Índice gonadosomático (IGS)*

Se estimó el índice gonadosomático para cuantificar la actividad reproductiva de esta especie. Este índice utiliza el peso de la gónada y el peso total de cada individuo (3). Se utilizó el promedio mensual del IGS para demostrar si existe o no uno o más “picos” reproductivos en esta área (Balart-Páez, 2005).

$$IGS = \left( \frac{Pg}{P} \right) * 100 \quad (3)$$

Dónde  $Pg$  es el peso total de las gónadas y  $P$  es el peso total del organismo.

##### *Talla de primera madurez (función logística).*

Se estimó la talla de primera madurez, incorporando los datos de talla y estadio de madurez en una función logística (4), en la cual se observaron las frecuencias relativas acumuladas de los estadios de madurez de los organismos para cada clase de talla. Para este análisis se tomó en cuenta solamente aquellos datos dentro de los meses de mayor actividad reproductiva resultantes del análisis de la proporción de estadios de madurez y del IGS a lo

largo de la temporada muestreada (Alarcón *et al.*, 2008). De acuerdo a la escala de madurez (Tabla I), se consideró a aquellos organismos con estadio de madurez igual o mayor a III como activos reproductivamente. De esta manera se estimó la talla teórica a la cual el 50 % de los organismos se encuentran sexualmente maduros.

$$y = \frac{1}{1 + \exp(a-bx)} \quad (4)$$

Dónde  $y$  es la proporción de organismos maduros,  $a$  y  $b$  son las constantes las cuales se estimaron maximizando la función log-likelihood, suponiendo que las proporciones observados están distribuidos binomialmente, es decir la curva formada por la función logística es simétrica (Ashton, 1972; Ni y Sandeman, 1982). La maximización se realizó usando la rutina Solver en MS-Excel como lo describe Tokai (1997), donde  $x$  es la talla de los individuos.

A esta ecuación se le realizó una transformación logarítmica (5) con el fin de linealizar la ecuación, es decir, describir una relación lineal en escala logarítmica.

$$\ln\left(\frac{1}{y} - 1\right) = a - bx \quad (5)$$

De tal manera que, una vez calculados los coeficientes mediante la maximización de la función logística, la longitud en la que la que 50% de la población está sexualmente madura ( $L_{50}$ ) se puede calcular como la razón de los coeficientes (6) mediante la sustitución de  $y = 0.5$  en la ecuación (5) (Ni y Sandeman, 1982):

$$L_{50} = a/b \quad (6)$$

### 6.4.7 Edad y crecimiento

#### *Estructura de edades*

Con el fin de representar las edades de las merluzas a lo largo del periodo muestral, se realizaron histogramas de frecuencias de edades por mes y por clase de talla así como uno para representar la estructura de edades de la población muestreada.

Aunado a lo anterior se estimaron las medidas de tendencia central (media, desviación estándar) para las edades de merluza del Pacífico, con el fin de lograr comparar dichos valores con los estudios de edad realizados con anterioridad a la especie en el área de estudio (Balart-Páez, 2005; Vrooman y Paloma, 1977).

#### *Crecimiento individual*

Se calculó el crecimiento individual de los peces en longitud mediante la aplicación de seis modelos matemáticos: von Bertalanffy (VB; 7), Gompertz (8), Johnson (9), Logístico (10), von Bertalanffy generalizado (GVB; 11) y Richards (12), con los cuales se determinaron los distintos parámetros de crecimiento utilizando un enfoque multimodelo (Ruíz-Domínguez, 2015; Luquin-Covarrubias, 2016).

$$L(t) = L_{\infty} [1 - \exp^{-k(t-t_0)}] \quad (7)$$

$$L(t) = L_{\infty} \exp^{-\exp[-k(t-t_0)]} \quad (8)$$

$$L(t) = L_{\infty} \exp^{-\left[\frac{1}{k}(t-t_0)\right]} \quad (9)$$

$$L(t) = L_{\infty} [1 + \exp^{-k(t-t_0)}]^{-1} \quad (10)$$

$$L(t) = L_{\infty} [1 - \exp^{-k(t-t_0)}]^{\delta} \quad (11)$$

$$L(t) = L_{\infty} \left[ 1 + \frac{1}{\alpha} \exp^{-k(t-t_0)} \right]^{-\delta} \quad (12)$$

Dónde  $L(t)$  es la longitud promedio del pez a la edad  $t$ ,  $L_{\infty}$  es la longitud máxima promedio alcanzada (infinita),  $k$  es la tasa de crecimiento individual,  $t_0$  es la edad teórica a la longitud cero del pez,  $t$  es la edad (tiempo),  $\alpha$  (parámetro adimensional) representa el parámetro de crecimiento por año,  $\delta$  (parámetro adimensional) proporciona mayor flexibilidad a la ecuación para modelar los datos.

En estudios previos, diversos autores han documentado el crecimiento de la merluza del Pacífico en el área de estudio y lo han comparado con el de aquella que habita en aguas más norteñas, obteniendo como resultado en común que durante el primer año de vida el crecimiento es muy similar en ambos *stocks*, sin embargo a partir del segundo año de vida aquel que habita en latitudes mayores acelera su crecimiento alcanzando tallas mucho mayores que aquel que habita frente a la Costa Occidental de Baja California Sur (Aurioles-Gamboa, 1991; Balart-Páez, 2005; Vrooman y Paloma, 1977).

Con base en lo anterior, se procedió a incorporar a la estructura de tallas a la edad los datos correspondientes a larvas de *M. productus* recolectadas frente a la costa de EUA y aplicados en el modelo de Gompertz por Butler y Nishimoto (1997). De esta manera, se logró una mejor estimación de  $t_0$  (edad teórica a la longitud cero del pez) y se obtuvo un mejor ajuste de los modelos a los datos observados, específicamente en la porción temprana del desarrollo y crecimiento de los organismos (Luquin-Covarrubias, 2016)

El ajuste de las curvas de crecimiento a los datos observados, se llevó a cabo mediante el método de mínimos cuadrados en la rutina Solver de MS-Excel mediante la aplicación del algoritmo GRG Nonlinear, tanto para la población en general como por sexos separados (Piñeiro y Saínza, 2003).

La selección del mejor modelo se basó en el cálculo y comparación del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) (13) de cada uno de ellos mediante la fórmula:

$$R^2 = 1 - \left( \frac{SC_{Residual}}{SC_{total}} \right) \quad (13)$$

Donde  $SC_{Residual}$  corresponde a la suma de cuadrados inexplicada, es decir, es una medida de dispersión de los valores observados de  $Y (L_t)$  en torno a los valores calculados por el modelo.  $SC_{total}$  es la suma total de cuadrados, es decir, es una medida de la dispersión de los valores observados de  $Y (L_t)$  en torno a su media (varianza) (Daniel, 2008).

#### *Edad de primera madurez ( $E_{50}$ )*

Homólogo al análisis de la  $L_{50}$ , se incorporaron los datos de edad y estadio de madurez en una función logística (4), en la cual se observaron las frecuencias relativas acumuladas de los estadios de madurez de los organismos para cada edad. Así también, se consideró a aquellos organismos con estadio de madurez igual o mayor a III como activos reproductivamente (Tabla I). Al igual que para  $L_{50}$ , para este análisis se tomó en cuenta solamente aquellos datos dentro de los meses de mayor actividad reproductiva resultantes del análisis de la proporción de estadios de madurez y del IGS a lo largo de la temporada muestreada. De esta manera se estimó la edad teórica a la cual el 50 % de los organismos se encuentran sexualmente maduros (Gluyas-Millán, 1994; Dorn, 1997). Los parámetros  $a$  y  $b$  se estimaron nuevamente maximizando la función log-likelihood, suponiendo que las proporciones observados están distribuidos binomialmente. Así también, la maximización se realizó usando la rutina Solver en MS-Excel como lo describe Tokai (1997).  $x$  es la talla de los individuos. A esta ecuación se le realizó una transformación logarítmica (5) con el fin de linealizarla, es decir, describir una relación lineal en escala logarítmica. De tal manera que, una vez calculados los coeficientes mediante la maximización de la función logística, la edad en la que la que 50% de la población está sexualmente madura se puede calcular como la razón de los coeficientes (6) mediante la sustitución de  $y = 0.5$  en la ecuación (5).

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Proporción de sexos

Con respecto a la proporción de sexos, en general se observa que las hembras se presentaron en mayor número que los machos en una proporción de 1.2:1 (H:M). En total se contaron 503 hembras y 424 machos del total de individuos analizados (927). El análisis mensual de la proporción sexual, muestra que septiembre fue el mes con mayor proporción de hembras 1.8:1, por el contrario, en agosto y octubre la proporción de machos fue superior a la de hembras (0.9:1) (Tabla II).

**Tabla II.** Proporción mensual de sexos de merluza del Pacífico (*M. productus*) en la CO de BCS.

	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
<b>Hembras</b>	18	36	58	53	86	90	82	80	<b>503</b>
<b>Machos</b>	17	25	42	61	47	98	68	66	<b>424</b>
<b>proporción H:M</b>	<b>1.1:1</b>	<b>1.4:1</b>	<b>1.4:1</b>	<b>0.9:1</b>	<b>1.8:1</b>	<b>0.9:1</b>	<b>1.2:1</b>	<b>1.2:1</b>	<b>1.2:1</b>

Los resultados de la prueba de equidad de proporciones aplicada a estos datos, indica que la proporción sexual de merluzas no es estadísticamente diferente de 1:1 ( $X^2_7 = 12.921$ ,  $p > 0.05$ ) durante los meses de prospección muestreados.

### 7.2 Normalidad y homogeneidad de varianzas

Los resultados de las pruebas de Shapiro-Wilk aplicadas a los datos de tallas y pesos de la merluza indican que ni las tallas ni los pesos tienen una distribución de frecuencias del tipo Normal ([Tallas]  $W_{926} = 0.974$ ,  $p < 0.05$ ; [Pesos]  $W_{926} = 0.859$ ,  $p < 0.05$ ). De manera similar, los resultados de la prueba de Fligner-Killeen indican que ni las tallas ni el peso tienen varianzas homogéneas ([Tallas]  $X^2_{919, 7} = 67.645$ ,  $p < 0.05$ , [Pesos]  $X^2_{919, 7} = 71.708$ ,  $p < 0.05$ ). Por lo tanto, se aplicaron pruebas estadísticas clasificadas como no paramétricas para determinar si las tallas y los pesos difieren significativamente por sexo y mes, es decir,

Mann-Whitney o Kruskal-Wallis dependiendo si existen dos o más grupos de comparación, respectivamente.

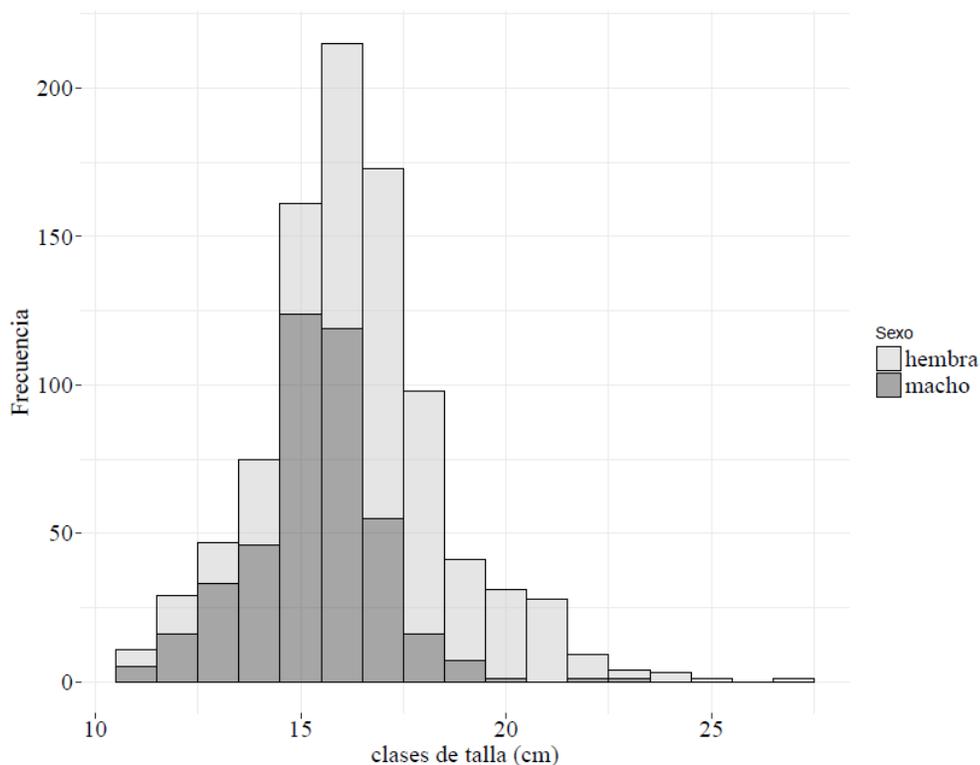
### 7.3 Estructura de tallas

La estructura de tallas de merluza muestra que en promedio los peces capturados en CO tienen una longitud patrón de 16.4 cm, en un rango de tallas de 10.8 a 27.5 cm (Tabla III). De manera más específica se observó que las hembras mostraron tallas superiores a las de los machos (Fig. 4). El promedio de tallas de los machos fue de 15.4, con un rango tallas de 10.8 a 23.5 cm. El promedio de tallas de las hembras fue de 17.2, con un rango de tallas de 11 a 27.5 cm.

Para determinar si las tallas de la merluza varían significativamente por sexos se aplicó una prueba de Mann-Whitney. Los resultados de la prueba indican que si existen diferencias significativas entre las tallas de machos y hembras de merluza del Pacífico durante los meses de prospección realizados, siendo las hembras más grandes ( $W_{926} = 160930$ ,  $p < 0.05$ ).

**Tabla III.** Promedio, mínimo y máximo de las tallas (cm) de merluza registradas en el periodo de estudio.

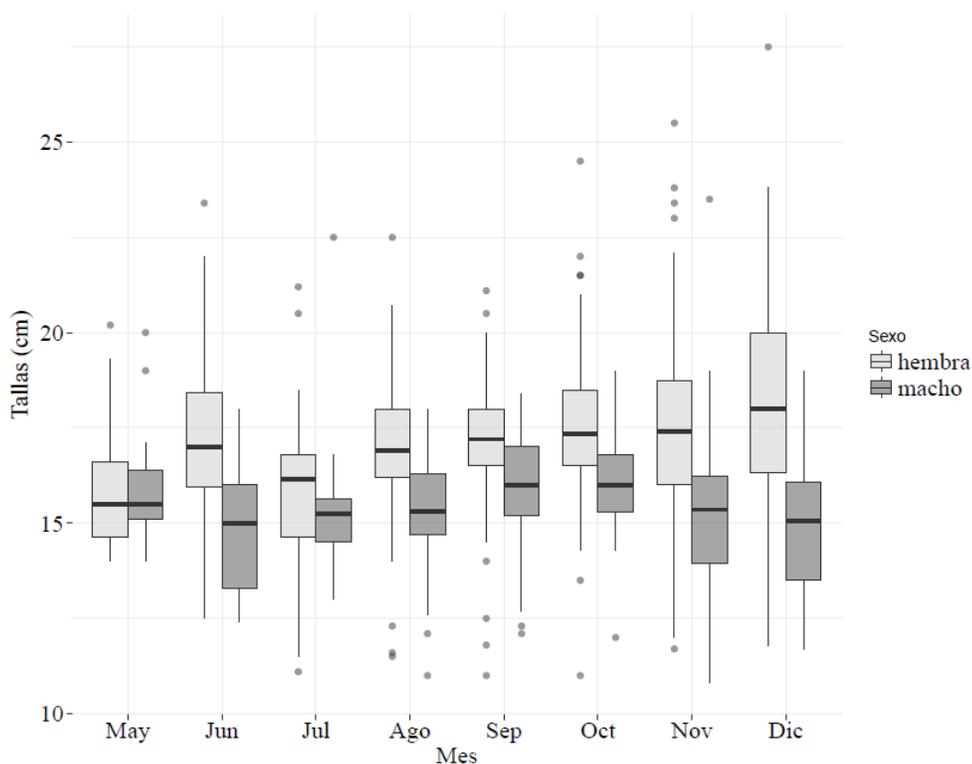
Medida	General	Hembras	Machos
Media	16.4	17.2	15.4
Mínimo	10.8	11	10.8
Máximo	27.5	27.5	23.5
n	927	503	424



**Figura 4.** Histograma de frecuencia de tallas por sexos de *M. productus*. n = 927.

El análisis mensual de las tallas de merluza presentes en esta zona muestra que, las tallas más grandes se presentan en los últimos meses del año (noviembre-diciembre), y que particularmente son las hembras las que muestran este aumento en la talla. Por su parte, los machos presentan su media más alta durante el mes de septiembre (Fig. 5).

Para determinar si las tallas de los peces varían significativamente entre meses, se aplicó una prueba de Kruskal-Wallis, usando todas las tallas de la población y posteriormente separados por sexos. Los resultados de estas pruebas indican que existen diferencias significativas entre las tallas de machos y hembras de merluza del Pacífico en los meses analizados ([General]  $X^2_7 = 42.693$ ,  $p < 0.05$ ; [Machos]  $X^2_7 = 40.016$ ,  $p < 0.05$ ; [Hembras]  $X^2_7 = 47.158$ ,  $p < 0.05$ ).



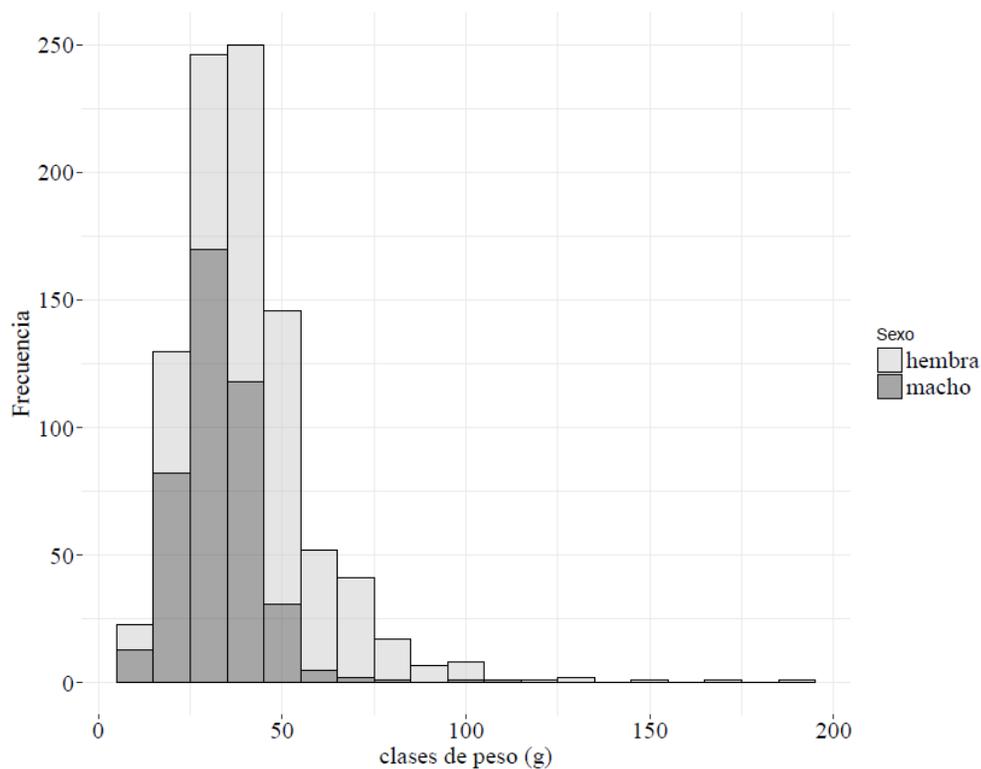
**Figura 5.** Variación mensual de tallas de merluza separadas por sexo. Las líneas sólidas representan la mediana, las cajas el primer y tercer cuartil, las líneas verticales 1.5 veces el rango intercuartílico (Q3-Q1)  $\pm$  la mediana, y los puntos valores extremos.

#### 7.4 Estructura de pesos

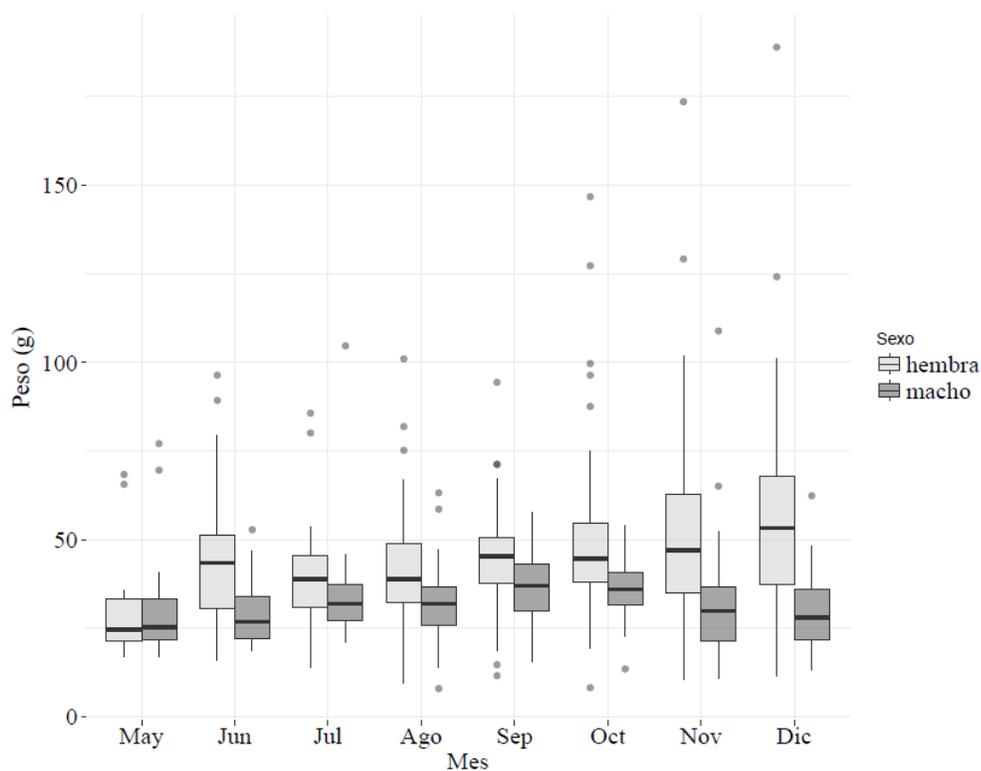
El peso promedio observado durante este periodo de estudio fue de 40.3 g, con un rango entre 8 y 189 g, solo 9 organismos presentaron pesos superiores a los 100 g. Al igual que en las tallas, las hembras presentaron los valores mayores de peso con un promedio de 46.6 g en un rango de entre 8.2 y 189 g, mientras que el peso promedio de los machos fue de 32.8 g en un rango de 8 a 108.9 g (Tabla IV, Fig. 6).

**Tabla IV.** Promedio, mínimo y máximo de los pesos (g) registrados en el periodo de estudio.

Medida	General	Hembras	Machos
Media	40.3	46.6	32.8
Mínimo	8	8.2	8
Máximo	189	189	108.9
n	927	503	424

**Figura 6.** Histograma de frecuencias de los pesos (g) por sexos de *M. productus* para la CO de BCS, durante el periodo de muestreo (may-dic 2015), n = 927.

La estructura mensual de los pesos presenta un patrón similar al observado en las tallas, las hembras de mayor peso se presentaron durante los meses de octubre-diciembre y siendo solamente mayo el mes donde las medias de peso para ambos sexo se asemejaron más (Fig. 7).



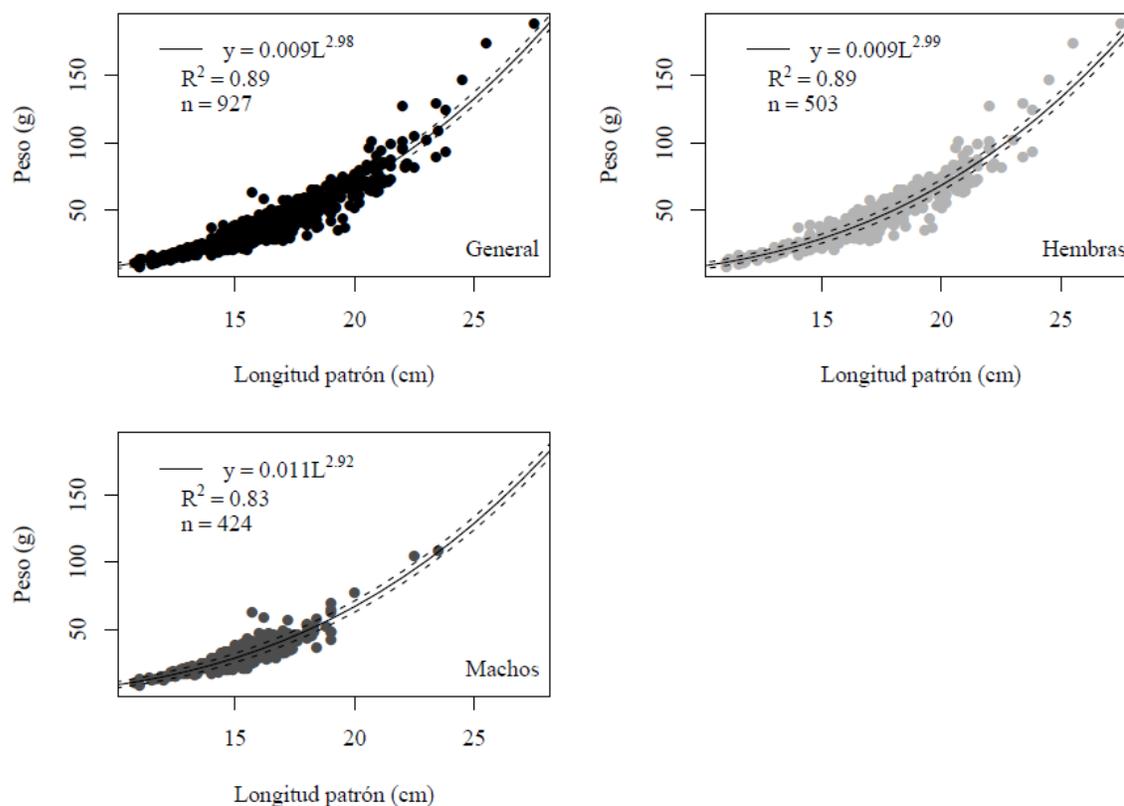
**Figura 7.** Variación mensual de pesos registrados en el periodo de estudio. Las líneas sólidas representan la mediana, las cajas el primer y tercer cuartil, los bigotes 1.5 veces el rango intercuartílico (Q3-Q1)  $\pm$  la mediana y los puntos valores extremos.

Mediante los análisis realizados se encontraron diferencias significativas tanto entre sexos ( $W_{926} = 158220$ ,  $p < 0.05$ ), como entre los meses de prospección ([General]  $X^2_7 = 46.029$ ,  $p < 0.05$ ; [Machos]  $X^2_7 = 46.185$ ,  $p < 0.05$ ; [Hembras]  $X^2_7 = 49.027$ ,  $p < 0.05$ ), observándose un peso promedio de 31.04 g en mayo y 43.11 g en diciembre para la porción de la población muestreada.

Aunado a lo anterior, se observó que las hembras siempre fueron más pesadas que los machos y mostraron el mayor aumento en peso durante el periodo de estudio, yendo desde los 30.24 g promedio en mayo a los 54.43 g en diciembre.

## 7.5 Relación Talla-Peso

Los resultados del análisis de regresión aplicados para describir la relación talla-peso de la merluza, sugieren que la población muestreada en general tiene un valor de  $a = 0.009$  (parámetro de condición), un valor de  $b = 2.98$  (parámetro de crecimiento isométrico). El modelo presentó un valor de  $R^2 = 0.89$ , lo que indica que el modelo explica un 89% de los datos analizados (Fig. 8, panel superior izquierdo).



**Figura 8.** Relación talla-peso para la población en general, machos y hembras de merluza del Pacífico para la CO de BCS durante el periodo de estudio (may-dic 2015).

El modelo aplicado con datos de talla y peso de las hembras muestra un valor de  $a = 0.009$ , un valor de  $b = 2.99$  y un  $R^2 = 0.89$ . El modelo aplicado a los datos de machos, muestra un ajuste ( $R^2$ ) ligeramente menor que el de las hembras y de la población en general, con un valor de  $R^2 = 0.83$ , y valores de  $a$  y  $b$  de 0.011 y 2.92, respectivamente.

La prueba  $t$  de Student para estimar si el valor del coeficiente de crecimiento isométrico ( $b$ ) dió como resultado que los valores de  $b$  fueron estadísticamente iguales a 3, tanto para la población en general como para machos y hembras por separado (Tabla V) .

**Tabla V.** Parámetros de las relaciones talla-peso de la porción de la población de *M. productus* estudiada en el presente estudio. Se muestran los valores de  $p$  para la prueba  $t$  de Student realizada a los coeficientes  $a$  y  $b$ , el error estándar asociado y el intervalo de confianza al 95%.

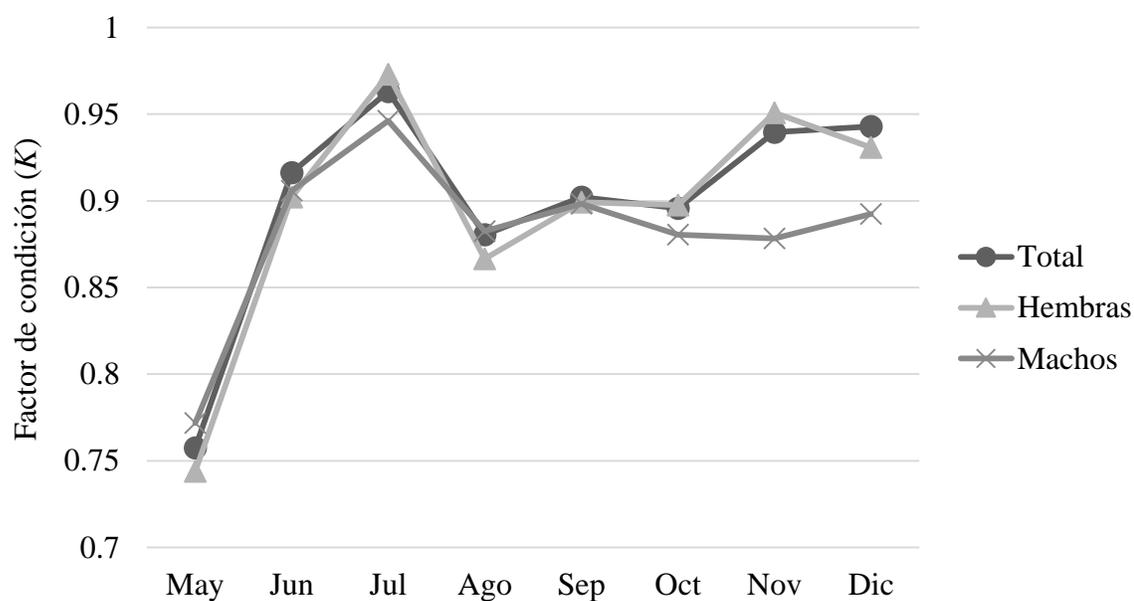
<b>Parámetro</b>	<b>Total</b>	<b>Hembras</b>	<b>Machos</b>
$R^2$	0.89	0.89	0.83
$a$	0.009	0.009	0.011
Error estándar ( $a$ )	0.096	0.130	0.179
Probabilidad ( $a$ )	0	0	0
Inferior ( $a$ ) 95%	0.008	0.007	0.007
Superior ( $a$ ) 95%	0.011	0.012	0.015
$b$	2.98	2.99	2.92
Error estándar ( $b$ )	0.035	0.046	0.065
Probabilidad ( $b$ )	0	0	0
Inferior ( $b$ ) 95%	2.91	2.90	2.79
Superior ( $b$ ) 95%	3.05	3.08	3.05

Dado lo anterior, se determinó un crecimiento de tipo isométrico ( $b = 3$ ) para la población de merluza del Pacífico en la costa occidental de BCS, es decir, los organismos aumentan de igual manera su tamaño en talla como en peso.

### 7.6 Factor de condición de Fulton ( $K$ )

Con respecto al factor de condición se observó que en general la condición de las merluzas aumentó a partir del mes de mayo (0.75) hasta julio (0.96) manteniéndose más o menos constante hasta diciembre (0.9).

En general, hembras y machos presentaron factor de condición similar hasta noviembre y diciembre observándose valores de  $K$  ligeramente menores en los machos (0.88, 0.89) que en las hembras (0.95, 0.93) durante estos meses respectivamente (Fig. 9).



**Figura 9.** Factor de condición de Fulton ( $K$ ) para las merluzas analizadas en el presente estudio a lo largo del periodo de muestreo.

## 7.7 Aspectos reproductivos

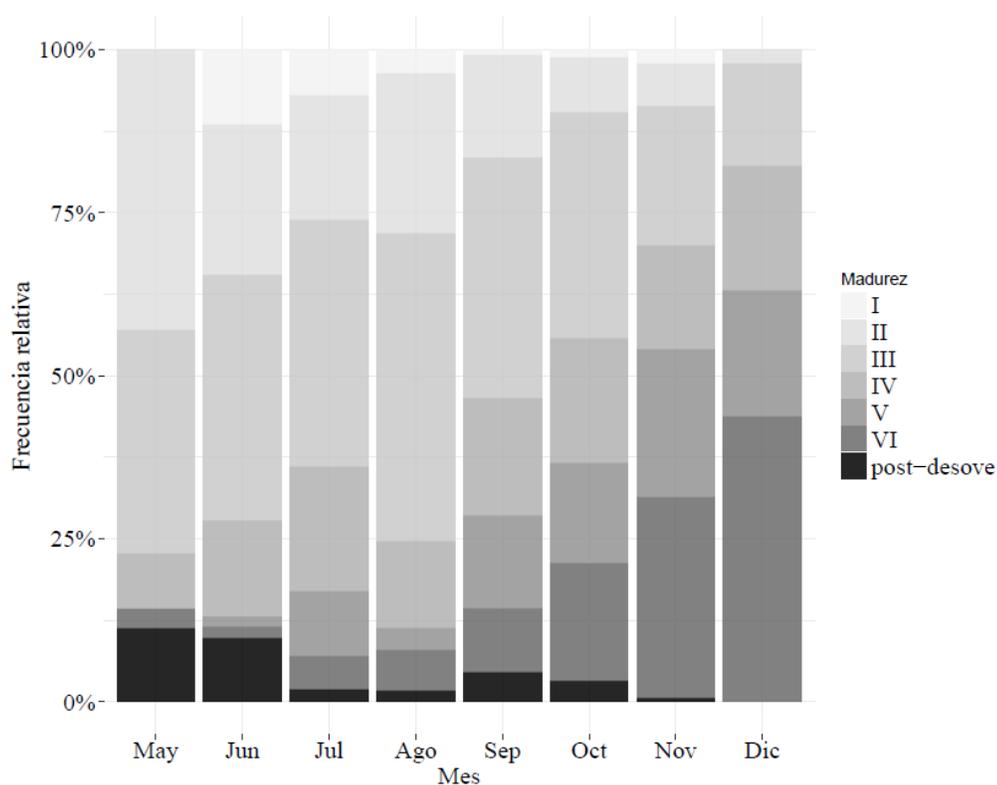
### 7.7.1 Estructura mensual de la proporción de madurez sexual.

Los datos mensuales de la frecuencia de cada uno de los estadios de madurez sexual de la población en general muestran un aumento gradual en la frecuencia de individuos clasificados como maduros durante el periodo de muestreo. De manera más específica se observa que la proporción de individuos maduros es mayor al final del año (noviembre – diciembre).

A partir del mes de junio, se observa que por lo menos el 50% de la población muestreada se encuentra activamente madura ( $\geq$  estadio III, Tablas I y VI; Fig. 10). Aunado a lo anterior, se observa que la proporción de los estadios más desarrollados (IV, V y VI) incrementa hacia los meses de noviembre y diciembre sugiriendo que la mayor actividad reproductiva de la especie en la región muestreada, pudiera estar representada durante los meses en los que no se realizó prospección (enero – abril) (Tabla VI; Fig. 10).

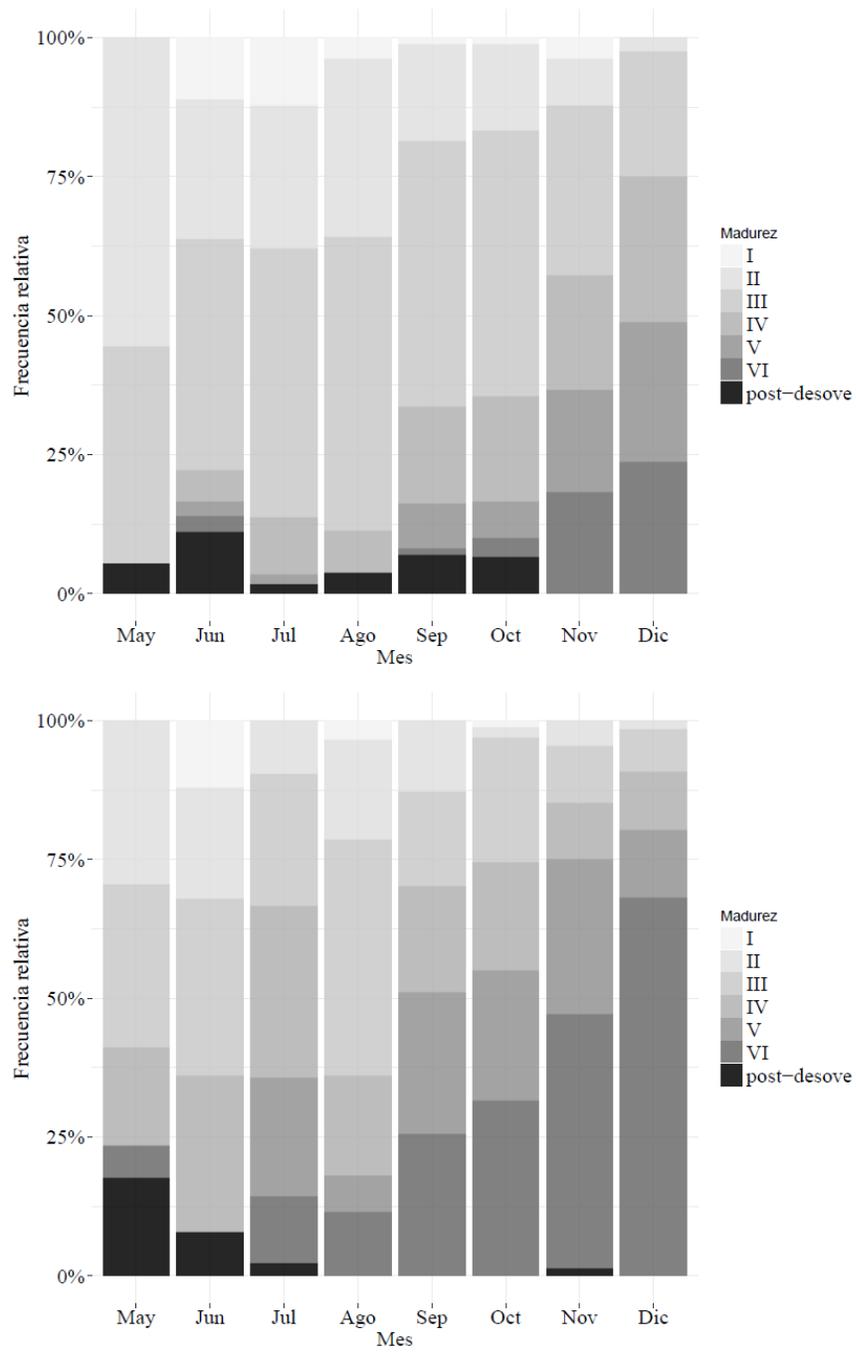
**Tabla VI.** Frecuencia relativa (%) de los distintos estadios de madurez para *M. productus* a lo largo del periodo muestreado.

Estadio madurez	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
I	0	11	7	4	1	1	2	0
II	43	23	19	25	16	9	7	2
III	34	38	38	47	37	35	21	16
IV	9	15	19	13	18	19	16	19
V	0	2	10	4	14	15	23	19
VI	3	2	5	6	10	18	31	44
post-desove	11	10	2	2	5	3	1	0



**Figura 10.** Frecuencia relativa de los estadios de madurez por mes para la población en general de *M. productus* en la CO de BCS durante el periodo de estudio (may-dic 2015).

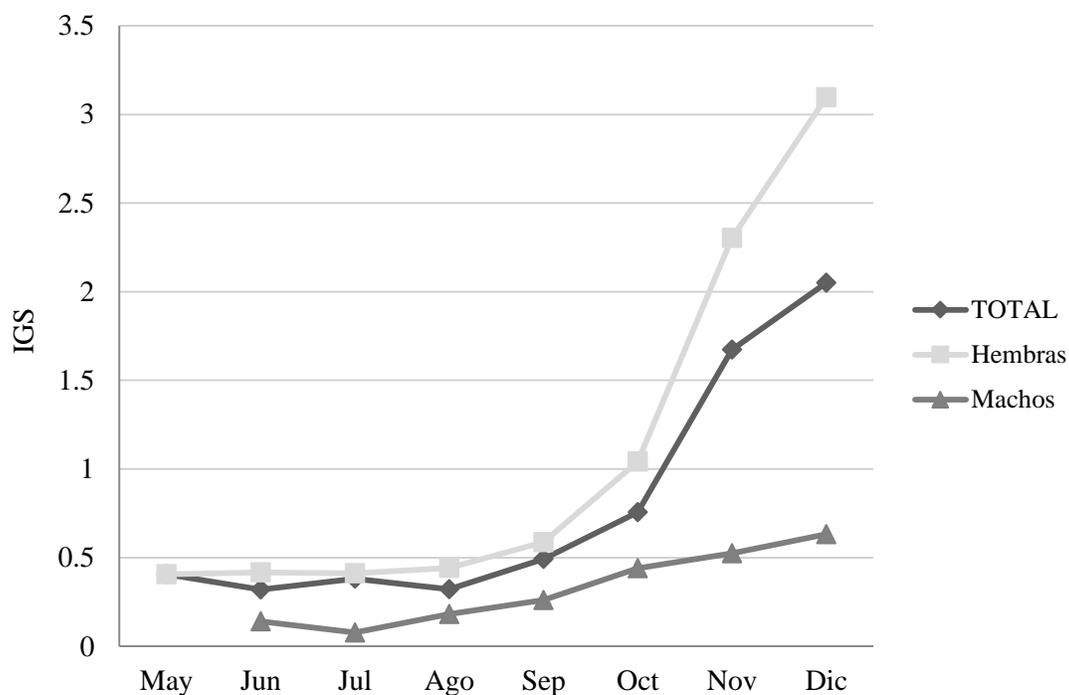
Para las hembras y los machos se observó la misma estructura que para la población en general con los organismos más maduros hacia los meses de noviembre y diciembre, no obstante hubo una ligera diferencia entre sexos, siendo en general los machos los organismos más maduros (Fig. 11).



**Figura 11.** Frecuencia relativa de los estadios de madurez por mes para hembras (*arriba*) y machos (*abajo*) de *M. productus* en la CO de BCS durante el periodo de estudio (may-dic 2015).

### 7.7.2 Índice gonadosomático (IGS)

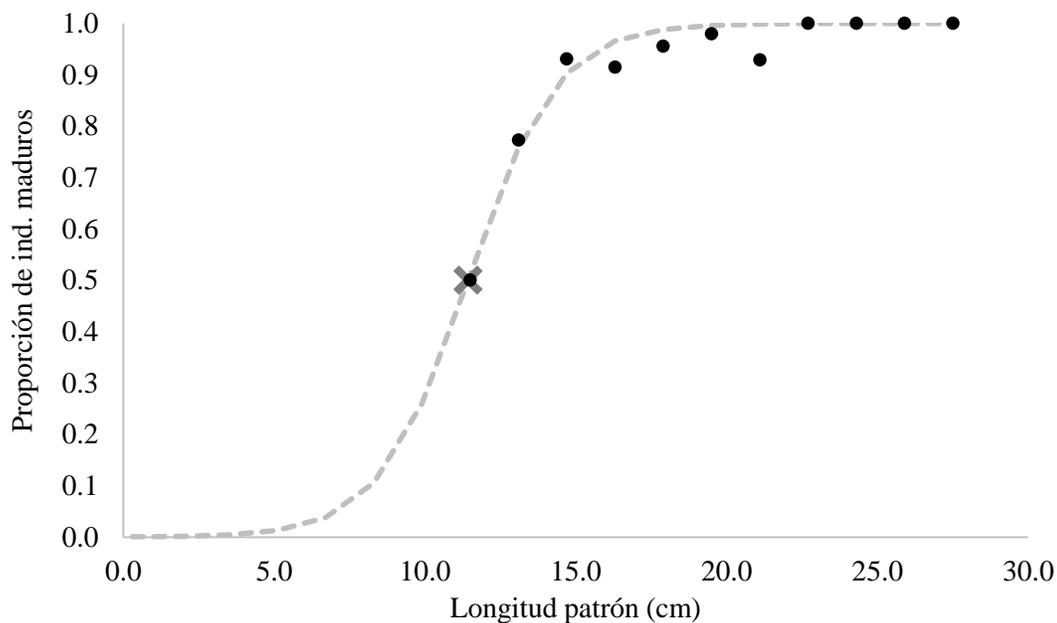
El índice gonadosomático (promedio) muestra de manera más evidente que la época de reproducción de esta especie, se presenta a partir del mes de octubre. Esto ocurre de la misma manera tanto para hembras como para machos, sin embargo, los valores de este índice son mayores en hembras (Fig. 12).



**Figura 12.** Variación mensual del Índice gonadosomático (IGS) promedio para *M. productus* para cada uno de los meses de prospección en la CO de BCS.

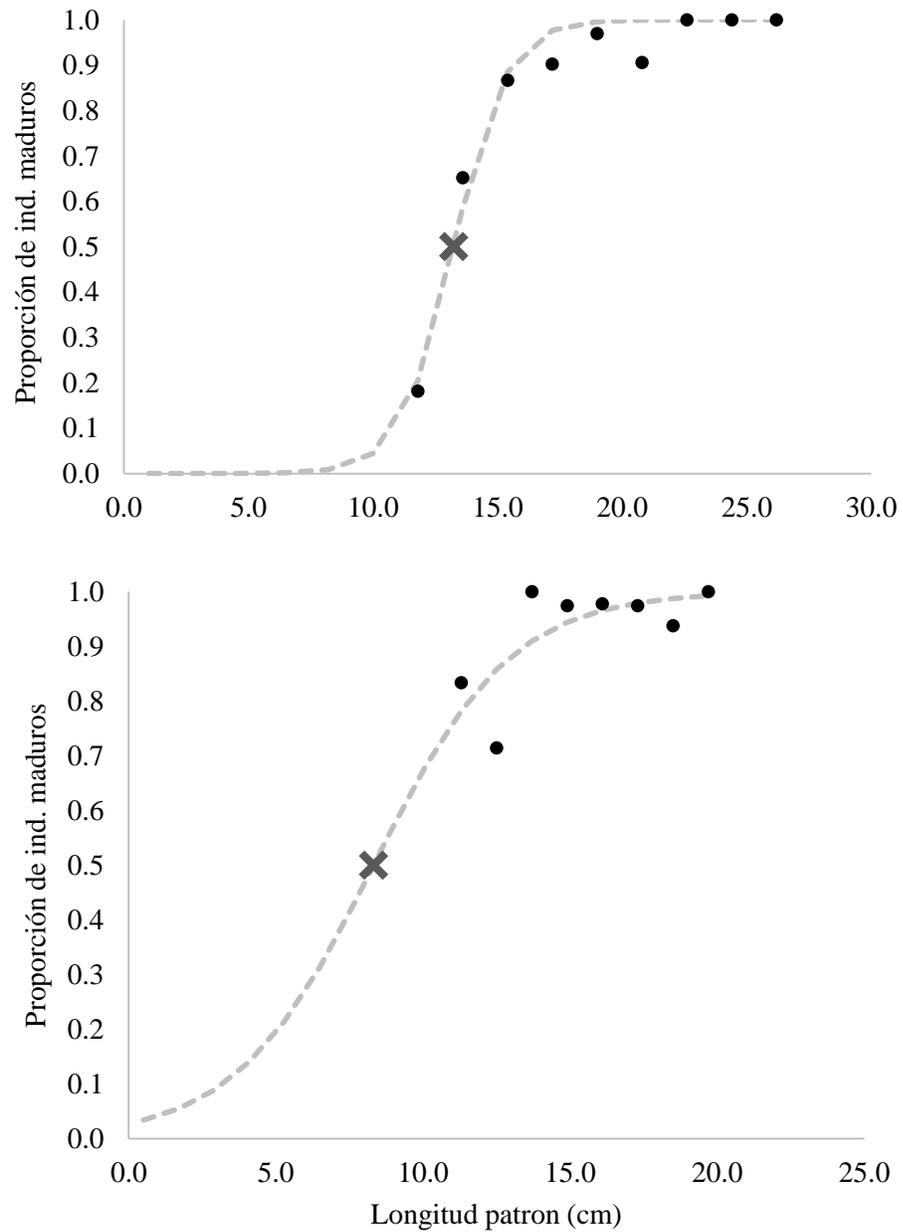
### 7.7.3 Talla de primera madurez ( $L_{50}$ )

Con base en los resultados de la proporción de estadios de madurez, se consideró para el análisis de la  $L_{50}$  solamente los meses de alta actividad reproductiva (septiembre – diciembre) obteniendo un tamaño de muestra de 617. Al realizar el análisis de la talla de primera madurez se calculó un  $L_{50}$  para la población en general de 11.4 cm (Fig. 13).



**Figura 13.** Talla de primera madurez ( $L_{50}$ ) para la población en general de *M. productus* en la CO de BCS para el periodo de estudio.

El análisis de la  $L_{50}$  entre sexos mostró una talla de primera madurez mayor para las hembras con 13.2 cm en contraste con los 8.3 cm estimados para los machos (Fig. 14), marcando aún más el dimorfismo sexual respecto a las tallas entre sexos.

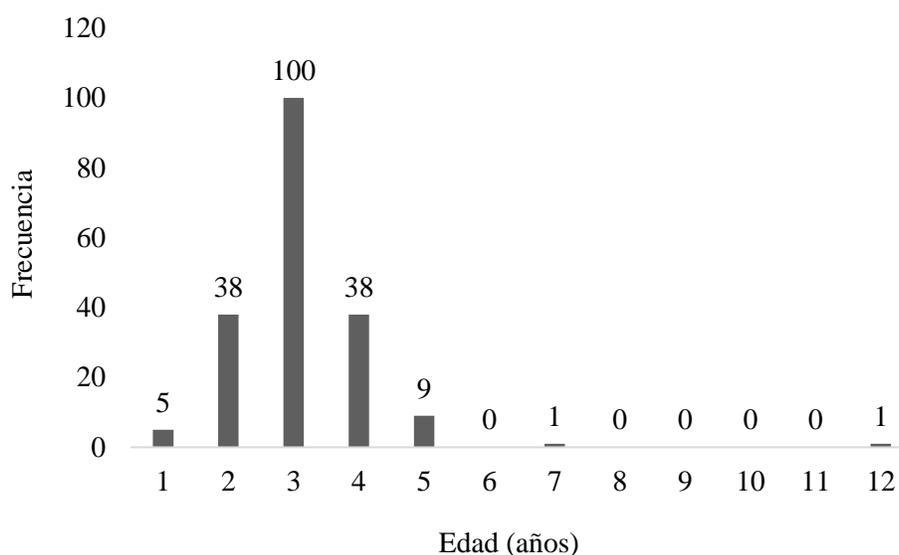


**Figura 14.** Talla de primera madurez ( $L_{50}$ ) para hembras (arriba) y machos (abajo) de *M. productus* en la CO de BCS para el periodo de estudio.

## 7.8 Edad

### 7.8.1 Estructura de edades por talla

A partir del conteo de anillos de crecimiento en los otolitos de merluza del Pacífico, se logró determinar la edad de 192 de los 240 individuos analizados, obteniendo que el grupo de edad 3 años fue el más abundante en la porción de la población muestreada a lo largo del periodo de prospección (Fig. 15).



**Figura 15.** Frecuencia del número de individuos para cada grupo de edad encontrado de merluza del Pacífico en la costa occidental de BCS, durante el periodo de mayo-diciembre 2015. n = 192.

Las merluza más longeva encontrada correspondió a una hembra de 12 años con una longitud patrón de 27.5 cm capturada en diciembre de 2015 (Tabla VII). La mayor variación (D.S.) de la LP promedio se observó a los 5 años de edad, principalmente en los machos, por lo que cabe mencionar que a partir de este año de edad la determinación de la misma por medio de la lectura de otolitos se vuelve más complicada para la especie, debido a la deposición irregular de los anillos a lo largo del otolito (Beamish, 1979; Piñeiro y Sainza, 2003).

**Tabla VII.** Talla promedio (longitud patrón) por grupos de edad de *M. productus*.

Edad	Hembras			Machos			General		
	media de LP (cm)	±D.S.	n	media de LP (cm)	±D.S.	n	media de LP (cm)	±D.S.	n
1	11.8	0.3	4	12.4	-	1	11.9	0.4	5
2	13.8	0.7	15	14.2	1.0	23	14.0	0.9	38
3	16.9	1.1	53	15.6	0.9	47	16.3	1.2	100
4	18.8	1.3	31	17.5	0.7	7	18.6	1.3	38
5	20.8	1.1	6	20.8	2.4	3	20.8	1.4	9
7	23.4	-	1	-	-	-	23.4	-	1
12	27.5	-	1	-	-	-	27.5	-	1
<b>Promedio</b>	17.2	2.6	111	15.5	1.7	81	16.5	2.4	192

Dado lo anterior, la validación de la edad no se realizó por medio de la verificación del tipo de marca sobre el borde del otolito (claras-oscuras) como anteriormente se ha realizado (Dark, 1975, Balart-Páez, 2005).

Sin embargo, si fue posible la identificación de los tres primeros anillos de crecimiento en la mayoría de los otolitos (Fig. 16), correspondientes a las primeras etapas de desarrollo de las larvas-juveniles de merluza (Piñeiro *et al.*, 2009).



**Figura 16.** Fotografía de la sección de un otolito *sagitta* de una merluza de 4 años de edad recolectada en mayo de 2015 en el área de estudio. Se muestran los primeros anillos correspondientes a las etapas tempranas de desarrollo (E = eclosión, P = vida pelágica, D = vida demersal).

### 7.8.2 Crecimiento individual

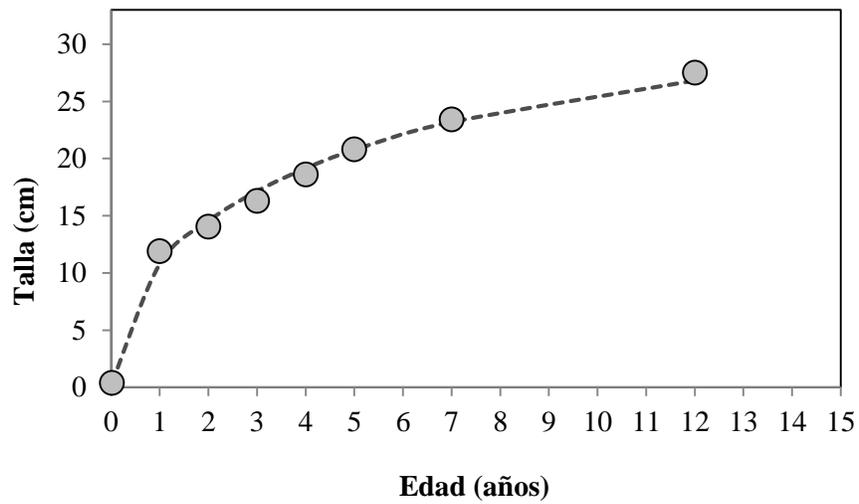
El crecimiento individual de la merluza fue descrito mediante la aplicación de los seis modelos matemáticos antes descritos, para los cuales se estimaron los diversos parámetros así como el coeficiente de determinación con el propósito de lograr la comparación de la bondad de ajuste de los mismos (Tabla VIII).

**Tabla VIII.** Parámetros de crecimiento para los modelos de crecimiento aplicados a los datos de edad de merluza del Pacífico en el presente. Se incluye el valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ).  $n = 192$ .

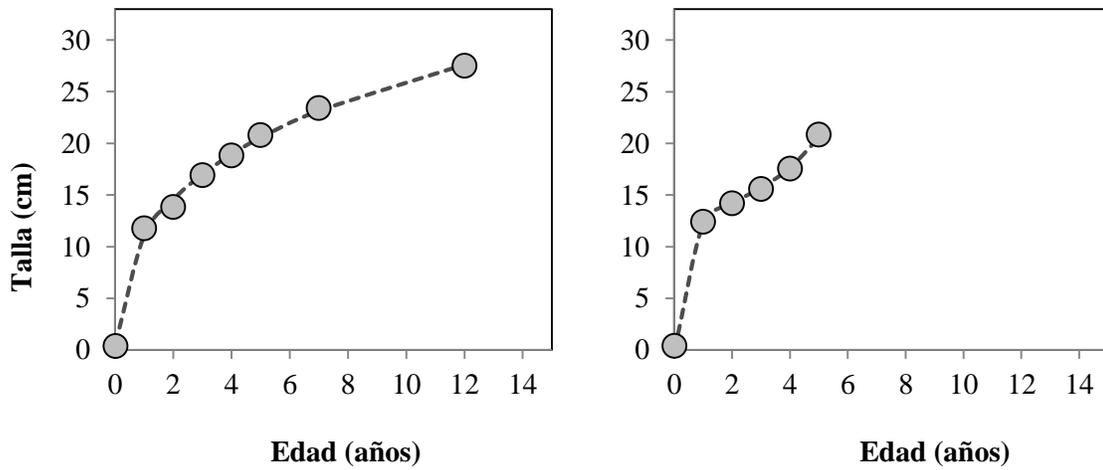
Parámetro	Modelos de crecimiento					
	VB	Gompertz	Johnson	Richards	Logístico	GVB
$L_{\infty} =$	27.00	26.17	31.05	26.17	25.79	31.02
$k =$	0.30	0.45	0.46	0.45	0.61	0.11
$t_0 =$	-0.28	1.28	-0.78	-0.25	2.16	0.01
$\delta =$				834.10		0.46
$\alpha =$				1671.34		
<b><math>R^2 =</math></b>	<b>0.96</b>	<b>0.93</b>	<b>0.97</b>	<b>0.93</b>	<b>0.90</b>	<b>0.99</b>

El modelo de crecimiento de von Bertalanffy generalizado (GVB) fue aquel que presentó mayor bondad de ajuste (Fig. 17), superando el 99% ( $R^2 = 0.99$ ). Se obtuvo una  $k = 0.11 \text{ año}^{-1}$ , una  $L_{\infty} = 31.02 \text{ cm}$ , se estimó una  $t_0 = 0.01$  y una  $\delta = 0.46$  (Fig. 17 y Tabla VIII). No obstante, la bondad de ajuste del modelo de von Bertalanffy y el de Johnson superó el 95% ( $R^2 = 0.96$  y  $R^2 = 0.97$ , respectivamente).

El análisis de crecimiento individual por sexos presentó ciertas discrepancias respecto a los parámetros, mostrando una  $k = 0.04 \text{ año}^{-1}$ , una  $L_{\infty} = 40.03 \text{ cm}$ , una  $t_0 = 0.01$  y una  $\delta = 0.4$  para hembras. Mientras para machos se estimó  $k = 0.06 \text{ año}^{-1}$ , una  $L_{\infty} = 34.1 \text{ cm}$ ,  $t_0 = 0.01$  y una  $\delta = 1.82$  (Fig. 18). La falta de información de edad a la talla; principalmente de machos de mayor tamaño, generan el aumento de dichas discrepancias respecto a los modelos aplicados, sin embargo la bondad de ajuste fue del 99% para ambos ( $R^2 = 0.99$ ).



**Figura 17.** Ajuste del modelo de von Bertalanffy generalizado (GVB) a los datos de edad observados mediante el análisis de otolitos *sagitta*.  $n = 192$ .



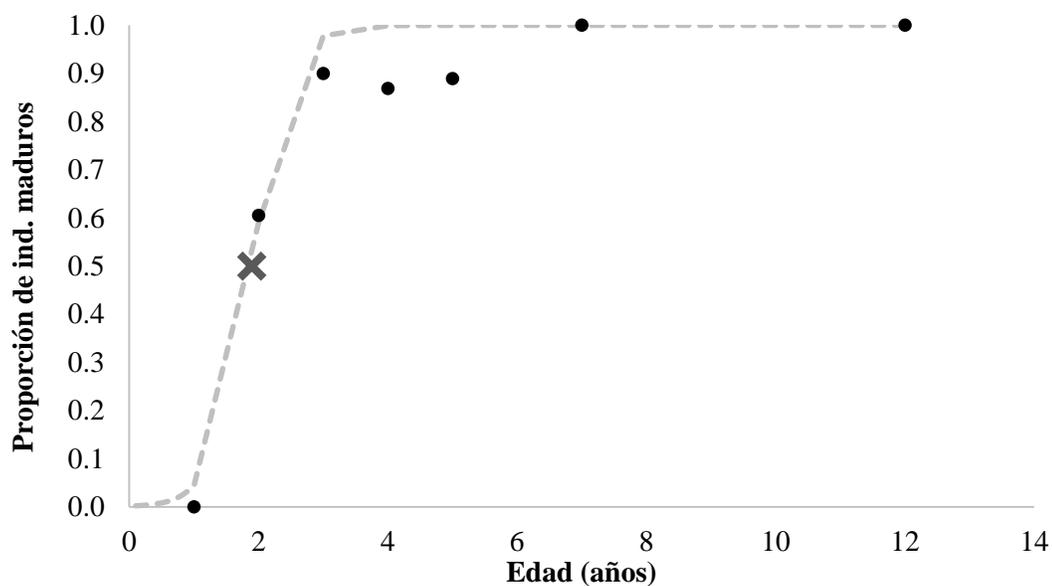
**Figura 18.** Ajuste del modelo de crecimiento individual de GVB para las hembras (izquierda) y para los machos (derecha) de *M. productus* en el área de estudio.

### 7.8.3 Edad de primera madurez ( $E_{50}$ )

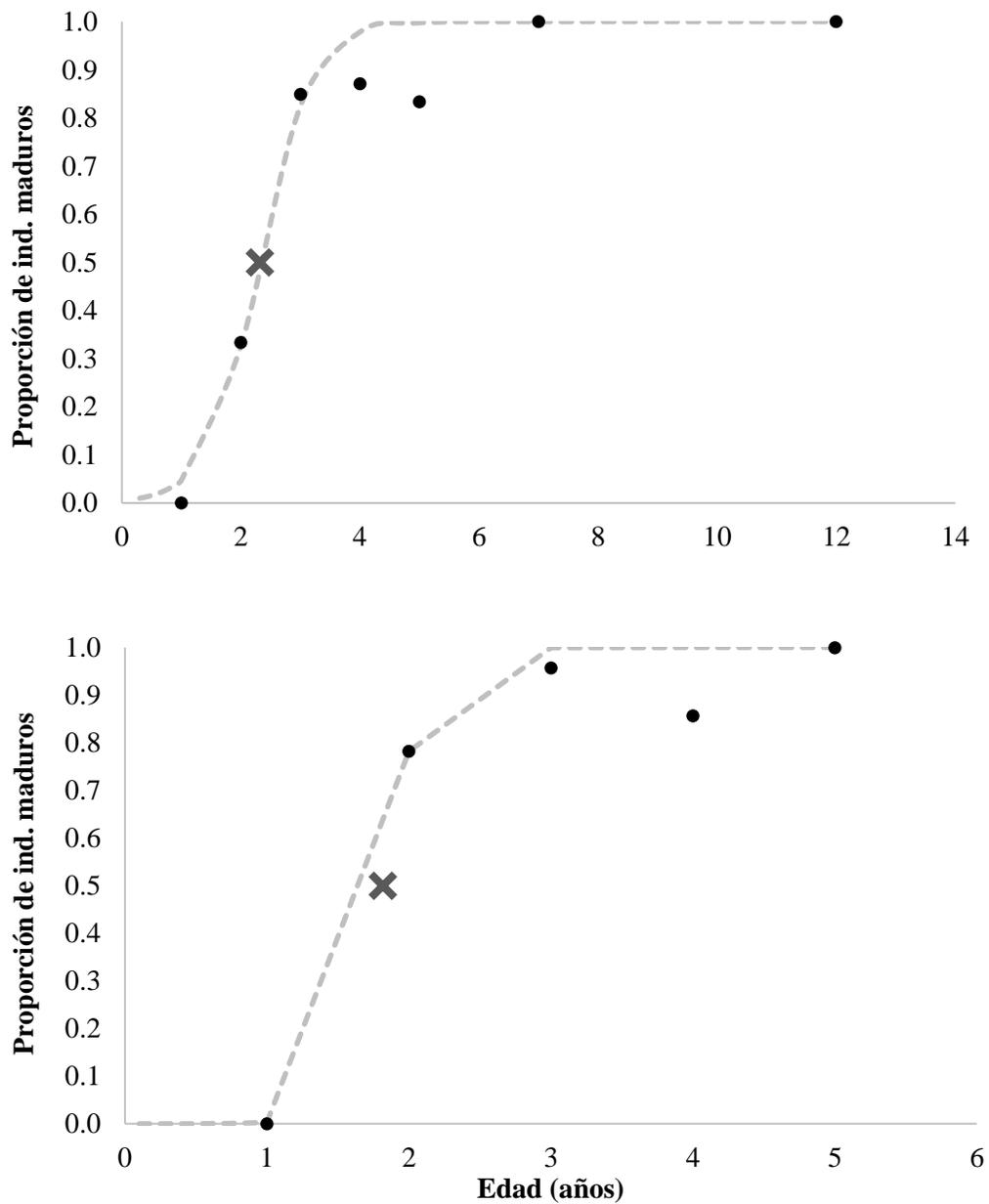
Respecto a la edad de primera madurez; estimada mediante la aplicación del modelo logístico para la porción de la población de merluza estudiada, se estimó en  $E_{50} = 1.9$  años, obteniendo casi el mismo valor para los machos ( $E_{50} = 1.8$  años), sin embargo la de las hembras fue mayor resultando una  $E_{50} = 2.3$  años. La bondad de ajuste de los 3 modelos aplicados supero el 95% (Tabla IX; Figs. 19 y 20).

**Tabla IX.** Parámetros estimados de los modelos logísticos ( $E_{50}$ ), aplicados a la porción de la población en general, hembras y machos de *M. productus* analizada en el presente.

Parámetro	General	Hembras	Machos
a =	6.52	5.27	12.60
b =	3.44	2.27	6.94
$E_{50}$ =	1.9 cm	2.3 cm	1.8 cm
$R^2$ =	0.97	0.97	0.99



**Figura 19.** Ajuste del modelo logístico aplicado a la porción de la población en general de *M. productus* en el área de estudio, para el análisis de  $E_{50}$ .  $n = 192$ .



**Figura 20.** Ajuste del modelo logístico para la estimación de  $E_{50}$  para la porción de hembras (arriba;  $n = 111$ ) y machos (abajo;  $n = 81$ ) de *M. productus* estudiada en el presente.

## 8. DISCUSIÓN

### 8.1 Proporción de sexos

La proporción sexual en peces es utilizada como parte de los parámetros que ayudan a estimar la capacidad reproductiva de una población, punto base para lograr un manejo adecuado de un recurso a explotar. En este trabajo se observó que la proporción sexual de la merluza del Pacífico capturada frente a Bahía Magdalena, México, presenta en promedio una proporción de 1.2 hembras por cada macho, sin embargo, la prueba de equidad muestra que su proporción no es diferente de 1:1, variando ligeramente a lo largo del periodo muestreado. Resultados similares fueron descritos por Balart-Páez (2005) en la misma región para *M. angustimanus*; sugiriendo que son la misma especie. Otros autores encontraron resultados similares en el Gran Ecosistema de la corriente de California (Best, 1963; Ressler *et al.*, 2007; Smith, 1995; Vrooman y Paloma, 1977), describiendo que por lo general la proporción de hembras es mayor que de los machos, sin embargo, en este trabajo se observó que durante los meses de agosto y octubre la proporción de machos fue mayor que la de las hembras.

El desfase en la proporción de sexos puede deberse a varios factores, desde el arte de pesca hasta factores ambientales, ya que ha sido bien documentado que existe cierta segregación espacial causada por el sexo, en donde se describe que las hembras suelen encontrarse en mayor proporción en aguas más frías ya sea hacia la porción más norteña de la CC frente a las costas de Alaska y Canadá y/o a profundidades mayores que los machos, probablemente debido a sus tallas mayores les permiten nadar mayores distancias por más tiempo (Balart-Páez, 2005; Dorn, 1995; Ressler *et al.*, 2007). A pesar de esto, se ha sugerido que la proporción sexual de 1:1 garantiza el éxito reproductivo de la especie, lo que se traduce en grandes biomasas, característica propia de la biología de este tipo de organismos (Balart-Páez, 2005; Best, 1963; Edwards *et al.*, 2018).

### 8.2 Estructura de tallas y pesos

La estructura de tallas y pesos de recursos pesqueros se utiliza como base para estimar la conformación de la parte explotada de una población, ya que en fines prácticos, el manejo pesquero busca determinar el mayor rendimiento constante a lo largo de los años, en función

del esfuerzo pesquero y la tasa de renovación del recurso (reproducción y crecimiento corporal). Dado lo anterior, la estructura de tallas y pesos en conjunto con otros parámetros de la dinámica poblacional de una población de peces; como lo son la edad y la proporción de los estadios de madurez sexual, permiten estimar dicha renovación de la población (Sparre y Venema, 1997). Respecto a la estructura de tallas y pesos analizados en el presente, se observó que la talla promedio la población fue 16.4 cm dentro de un rango de tallas de 10.8 a 27.5 cm, con un peso promedio de 40.3 g y un rango desde los 8 a los 189 g. Dado que la especie presenta un dimorfismo sexual respecto al tamaño (Balart-Páez, 2005; Best, 1963), se esperaba que las hembras presentaran mayor longitud patrón promedio y peso que los machos. Esto es muy similar a lo reportado por Vrooman y Paloma (1977) para el *stock* de merluza “enana”, las cuales mostraron el mismo rango de tallas. Las tallas de *M. angustimanus* reportadas por Balart-Páez (2005), son muy similares, no obstante las merluzas analizadas en dicho estudio son en promedio un poco más grandes (LP = 22.5 cm), llegando a un máximo de 33 cm. Esto sugiere que ambos estudios analizaron el mismo *stock* que se describe en este trabajo.

Por otro lado, el rango de tallas registradas para las merluzas del *stock* norteño que sustenta la pesquería en los países vecinos (EUA y Canadá) va de los 50 a los 70 cm en promedio dependiendo la zona, la época y el año en que se reporten las tallas (Bailey, 1982; Best, 1963; Ressler, 2007; Taylor, 2015). Indicando de manera muy evidente que el *stock* del norte es tres veces más grande que el que se encuentra frente a la Costa Occidental de BCS.

#### **8.4 Relación longitud-peso y factor de condición**

El coeficiente de isometría es un parámetro de referencia del crecimiento de los organismos utilizado para estimar el incremento en peso de los organismos a partir de datos de tallas de estos o viceversa. Particularmente para poblaciones explotadas, este parámetro se utiliza en conjunto con los parámetros de edad para estimar el aumento del peso de los organismos (traducido a biomasa) a lo largo del tiempo (Sparre y Venema, 1997). El tipo de crecimiento de los individuos de *M. productus* analizados en este estudio es del tipo isométrico, tal como lo sugiere el valor estimado del parámetro de isometría en este trabajo ( $b = 2.98$ ), muy similar al obtenido por Auriolles-Gamboa (1991) para las merluzas analizadas

en la misma zona de estudio. Para el caso de *M. angustimanus*, Balart-Páez (2005), sugiere que el crecimiento de esta especie es del tipo alométrico negativo ( $b = 2.78$ ). Por otro lado, Best (1963) describe un crecimiento isométrico para la merluza del Pacífico encontrada en la porción de Oregon, Washington y British Columbia. Las diferencias en los coeficientes de isometría de los diversos estudios, pueden deberse principalmente a cambios estacionales, ya que los individuos aumentan su proporción en peso al aumentar las gónadas su tamaño conforme se acerca la época reproductiva (Bailey, 1982; Balart-Páez, 2005; Dorn, 1992, 1995; Ressler *et al.*, 2007) y a un ligero aumento en el mismo coeficiente de isometría puede ser el resultado de un gran cambio biológico y/o ecológico en la especie tanto desde el punto de vista reproductivo como trófico.

El factor de condición de Fulton se ha utilizado como un indicador de la salud de las poblaciones de peces y se basa en la relación corporal talla-peso. Valores altos del factor de condición de Fulton, usualmente se traducen en un mayor bienestar biológico de la especie. Los resultados obtenidos en este trabajo muestran un aumento gradual del factor de condición de las merluzas a partir del mes de mayo. Esto quizá se debe a la disminución de la actividad reproductiva, lo que conlleva una rehidratación y reabsorción de las gónadas, traducida en una recuperación del peso corporal (Balart-Páez, 2005; Froese, 2006).

### **8.5 Aspectos reproductivos**

La descripción de los eventos reproductivos de las especies es fundamental para entender su biología, así como para tomar decisiones de manejo en especies que son explotadas comercialmente. Algunas especies presentan actividad reproductiva durante todo el año y son clasificadas como desovadores parciales, mientras que otras tienen picos reproductivos en épocas bien definidas, a este periodo se le conoce con el nombre de periodo de desove o de mayor actividad reproductiva. Con el fin de llevar a cabo un manejo pesquero adecuado, es necesario identificar este periodo de aumento de actividad reproductivo, dado que el esfuerzo pesquero aplicado durante este periodo puede llegar a ser crítico para la renovación de las poblaciones de peces, ya que por lo general se presenta un cambio en el comportamiento de la población; ya sea el caso de alguna migración o congregación de la misma, lo que puede llegar a aumentar la vulnerabilidad del recurso. En el presente estudio,

mediante el análisis de las proporciones de los estadios de madurez de la especie durante mayo-diciembre de 2015, se observó que las merluzas en la CO de BCS presentan una mayor actividad reproductiva durante el invierno. Al respecto, Bailey *et al.* (1982) y Ressler *et al.* (2007), sugieren que las merluzas del norte realizan migraciones hacia el sur (zona de California, hasta aguas mexicanas) durante el invierno-primavera con fines reproductivos. A pesar de que los resultados obtenidos concuerdan con el patrón de migración del norte hacia el sur con fines reproductivos del *stock* de merluza del Pacífico que sustenta las pesquerías en la costa occidental de Norteamérica, las tallas reportadas en los trabajos anteriormente descritos no concuerdan con las tallas encontradas en este estudio, lo que pudiera sugerir que este stock pudiera ser residente de la zona de estudio y que no realiza movimientos migratorios ni se mezcla con el stock del norte (Auriolles-Gamboa, 1991; Balart-Páez, 2005; Vrooman y Paloma, 1977).

El Índice gonadosomático (IGS) ha sido utilizado ampliamente por varios autores y en varias especies para describir la actividad reproductiva (Balart-Páez, 2005; Chong, 2007; De Vlaming *et al.*, 1982). La teoría detrás de este índice explica que un organismo que se encuentra en reproducción destina una mayor cantidad de recursos energéticos en la producción de tejidos reproductivos (gónadas), por lo tanto, la proporción del peso de las gónadas con respecto al peso total del organismo es mayor cuando existen eventos reproductivos, por el contrario, cuando los organismos no se encuentran en actividad reproductiva esta proporción es menor. En este trabajo se observó que los valores promedio mensual del IGS, sugieren que la actividad reproductiva de la especie es mayor durante los meses de octubre a diciembre, confirmando los resultados obtenidos de la descripción de la proporción de los estadios de madurez. Al respecto, Balart-Páez (2005), encontró que la mayor actividad reproductiva para *M. angustimanus*, respecto al IGS, sucede de febrero a mayo, por su parte MacGregor (1971) registró más del 50% de las hembras de merluza analizadas en su estudio, en un estadio de madurez sexual avanzado durante los meses de enero a marzo para la misma zona evaluada en el presente. Por otro lado, Funes-Rodríguez *et al.* (2009) en su atlas de distribución de las larvas y huevos de merluza en la porción sur

de la CC, describen un aumento en la abundancia de estos durante los meses de invierno e inicios de primavera (Enero-Abril).

Trabajos previos sugieren que los meses de mayor actividad reproductiva de la merluza son de enero a abril (Bailey *et al.*, 1982; Balart-Páez, 2005; Ressler *et al.*, 2007; Smith, 1995), sin embargo, en este trabajo no se contó con muestreos biológicos de la especie para esos meses. No obstante, el aumento del IGS hacia el invierno y la estructura en la proporción de estadios de madurez, sugieren que los máximos picos reproductivos para el *stock* de merluza del Pacífico en la Costa Occidental de BCS pudieran encontrarse durante el periodo de transición invierno-primavera.

La utilización de la ecuación logística en análisis biológicos fue descrita por Ashton (1972), y ha sido ampliamente utilizada para determinar la talla de primera madurez ( $L_{50}$ ) en poblaciones de peces a lo largo del mundo. Específicamente en manejo pesquero, sirve para definir la talla de captura óptima a la cual se asegure que los organismos capturados hayan pasado por lo menos por algún evento reproductivo, con el fin de asegurar la renovación de los recursos. La talla de primera madurez ( $L_{50}$ ) observada en este trabajo fue de 11.4 cm en general, 13.2 cm para hembras y 8.3 cm para machos, coincidiendo la general con lo reportado por MacGregor (1971) y por Vrooman y Paloma (1977), quienes reportan un valor de  $L_{50}$  de 11.9 cm para los machos y 12.5 cm para las hembras respectivamente, observando maduras a mayor talla a las hembras que a los machos y a aquellas merluzas mayores a 14 cm de LP. Las tallas de primera madurez reportadas por Balart-Páez (2005) para hembras y machos de *M. angustimanus* (13.8 y 12.7 cm, respectivamente) coinciden de igual manera con las del presente estudio, sugiriendo nuevamente que se trata de la misma especie.

A pesar de la similitud entre los resultados obtenidos en el presente con los reportados con anterioridad, es evidente que la  $L_{50}$  encontrada en este trabajo es menor a la reportada en estudios anteriores, específicamente en lo relacionado a los machos, lo cual pudiera deberse principalmente a la falta de datos de edad a la talla para aquellos machos de mayor tamaño específicamente. No obstante, esto pudiera estar relacionado probablemente con los factores ambientales encontrados durante los meses de prospección, ya que ha sido bien documentado

que estos pueden influir en el crecimiento, maduración y distribución de la especie, pudiendo encontrar organismos de mayor talla a menores temperaturas y viceversa, ya sea ampliando su distribución o acelerando su desarrollo (Agostini *et al.*, 2006; Benson *et al.*, 2002; Cooke *et al.*, 2006; Ressler *et al.*, 2007).

La talla de primera madurez descrita en este estudio, difiere sustancialmente con las tallas de primera madurez reportadas para el stock de merluza del Pacífico encontrado en aguas más norteñas (EUA y Canadá), cuyos valores se encuentran alrededor de los 38 y 41 cm para machos y hembras, respectivamente (Bailey *et al.*, 1982; Taylor *et al.*, 2015). Dado lo anterior, el enanismo de *M. productus* en el área de estudio del presente se hace más notorio, encontrando organismos sexualmente maduros a tallas muy pequeñas, haciendo más evidente que se trata de un stock diferente con características reproductivas distintas al explotado en Norteamérica actualmente (Vrooman y Paloma, 1977).

## **8.6 Edad**

La estructura de edades de una población de peces es utilizada principalmente para estimar la tasa de renovación de las poblaciones a lo largo del tiempo, teniendo como parámetro de tiempo la edad de los individuos, que en conjunto con otros parámetros como lo son la estructura de tallas, pesos y la proporción de madurez sexual permiten dicha estimación (Sparre y Venema, 1997). Los métodos más comunes para hacer la estimación de edades en peces son la lectura de anillos de crecimiento en estructuras duras (otolitos, escamas, vértebras, entre otras), el análisis de frecuencia de tallas (método de Bhattacharya, ELEFAN I, entre otros) y la captura-recaptura de organismos marcados. No obstante, el análisis de frecuencia de tallas se puede ver sesgado por diversos factores tal como la selectividad del arte de pesca (Galindo, 2005) y por otro lado, la captura y recaptura de organismos depende mucho del azar, por lo que el método más utilizado y confiable desde hace décadas a la fecha; a pesar de ser el que más exige trabajo y esfuerzo en laboratorio, es la lectura de anillos de crecimiento, principalmente en otolitos. El análisis de edad realizado en el presente, sugiere que las secciones de otolitos analizadas resultaron ser una fuente de información confiable dada la concordancia de los resultados obtenidos con la literatura reportada para la especie en la zona (Balart-Páez, 2005; Vrooman y Paloma, 1977), a pesar

de la falta de validación de la edad de las merluzas. El resultado anterior es respaldado por el estudio de Beamish (1979), en el cual realiza una comparación entre la lectura de otolitos enteros y secciones de los mismos de *M. productus*, obteniendo como conclusión principal que al momento de seccionar los otolitos mediante cortes transversales, se hacen mucho más evidentes diversos anillos de crecimiento que en el análisis de otolitos enteros no son visibles por lo que la edad puede estar subestimada en este tipo de estudios, tal es el caso de los mencionados anteriormente. De igual manera, la lectura de los anillos de crecimiento fue en general muy bien sustentada por el trabajo de Piñeiro y Sainza (2003) con *Merluccius merluccius*, encontrando al igual que ellos tres anillos bien marcados antes del primer anillo anual (annuli), correspondientes a los estadios larval, pelágico y demersal de la vida de los organismos (Piñeiro, 2009).

El grupo de 3 años de edad fue el más abundante a lo largo del periodo muestral con una media de LP = 16.3 cm. Vrooman y Paloma (1977) al igual que Balart-Páez (2005), reportan que el grupo de 2 años de edad es el más abundante en sus estudios con una media de LP = 17.3 cm, encontrando que el grupo más grande corresponde al de 7 años (LP = 28 cm), por el contrario en el presente se reporta un grupo de 12 años de edad como el más grande para una merluza de 27.5 cm (LP).

Los modelos de crecimiento individual son utilizados para describir la tasa de crecimiento de los peces, la cual se puede traducir en el aumento de biomasa (peso) a lo largo del tiempo, dado que lo que busca el manejo pesquero es lograr el rendimiento óptimo de los recursos a partir de la estimación de la renovación de los mismos, y con base en esto, ajustar el esfuerzo de pesca que se ejerce sobre de ellos (Sparre y Venema, 1997).

La aplicación de diversos modelos de crecimiento permitió realizar diversos ajustes de la estructura de edades con respecto a las tallas de las merluzas, modificando los parámetros en los diversos modelos matemáticos que se utilizaron y de esta manera se logró una inferencia mucho más adecuada de la tasa de crecimiento de los organismos (Ruíz-Domínguez, 2015). Aunado a lo anterior, la incorporación de la información correspondiente al crecimiento de las larvas de *M. productus* frente a la costa de EUA, permitió la adecuación

de los modelos de crecimiento, forzándolos a considerar dichos valores cercanos a  $t_0$  (Luquin-Covarrubias *et al.*, 2016), lo cual no se había implementado en ningún trabajo de edad y crecimiento para esta especie de merluza en el área de estudio. En este trabajo, respecto al análisis de crecimiento de la población en general, el modelo generalizado de von Bertalanffy fue el que presentó mayor bondad de ajuste ( $R^2 = 0.99$ ) torno a los datos observados, con valores de  $L_\infty = 31.02$  cm y  $k = 0.11$  año<sup>-1</sup> (Tabla VIII). Por otro lado, Balart-Páez (2005) estimó los parámetros de crecimiento mediante la aplicación del modelo de GVB, reportando valores de  $L_\infty = 31.70$  cm,  $k = 0.27$  año<sup>-1</sup>, muy semejantes a los reportados en este estudio, reforzando la estimación y ajuste de los modelos aplicados.

Así mismo, los estudios de edad y crecimiento realizados a las merluzas del Pacífico en la porción norte la CC, muestran una  $L_\infty = 56 - 60$  cm y  $k = 0.4 - 0.5$  año<sup>-1</sup>, dando como resultado un crecimiento mucho más rápido de organismos de más del doble de talla que los reportados en la zona que comprende el presente, evidenciando la diferencia entre estos stocks de *M. productus* aún más (Balart-Páez, 2005; Beamish, 1979; Best, 1963; Dark, 1975; Vrooman y Paloma, 1977).

Respecto al análisis de crecimiento realizado por sexos, se encontró cierta diferencia entre los parámetros obtenidos a partir de los modelos aplicados a machos y hembras, sin embargo es muy probable que estas discrepancias estén asociadas a la falta de información de edad, principalmente de los machos de *M. productus*. Lo anterior se ve reflejado en el hecho de que el modelo GVB para las hembras; al igual que para la porción de la población en general de *M. productus* analizada, si consideran a los dos organismos de mayor edad y tamaño analizados obteniendo resultados semejantes. Por el contrario, el modelo aplicado en machos solo considera organismos hasta los 5 años de edad, faltando aquellos de edades avanzadas, resultando en una curva con pendiente positiva y comportamiento exponencial a partir del año 3 de vida (Tabla VII; Fig. 18). Dado que la aplicación de estos modelos de crecimiento en peces, se basa en el supuesto (entre otros), de que la tasa de crecimiento de los organismos se va reduciendo conforme avanza la edad de los mismos (Sparre y Venema, 1997), así como con base en lo reportado en la literatura para la especie en el área de estudio

y fuera de la misma (Bailey *et al.*, 1982; Balart-Páez, 2005; Vrooman y Paloma, 1977), el análisis del crecimiento entre machos y hembras no puede ser comparable.

En el manejo de recursos pesqueros, la edad de primera madurez ( $E_{50}$ ) de una población de peces es utilizada principalmente para estimar la tasa de renovación de las poblaciones a lo largo del tiempo. Como anteriormente se expuso, este parámetro poblacional en conjunto con otros parámetros, principalmente aquellos que tienen que ver con los aspectos reproductivos como lo son la fecundidad, la frecuencia de los desoves, la época de desove y el potencial reproductivo de los organismos permiten dicha estimación de la incorporación de nuevos individuos a la población (Alarcón *et al.*, 2008; Sparre y Venema, 1997). En el presente, a partir de la aplicación de los modelos logísticos a los datos de edad y madurez de *M. productus* en el área de estudio, se estimó una  $E_{50} = 1.9$  años para la porción de la población en general, muy semejante a lo reportado por Taylor *et al.* (2015) mientras que para hembras resultó de  $E_{50} = 2.3$  años y  $E_{50} = 1.8$  años para machos.

Al igual que en los modelos de crecimiento, esta diferencia entre sexos, puede estar influenciada por la falta de datos de edad para la población de machos de *M. productus* del presente stock, sin embargo, esto puede deberse al hecho de que las hembras de esta especie presentan un crecimiento mayor, alcanzando mayores tallas en menor tiempo que los machos, dedicando mayor parte del gaste energético a este crecimiento somático en lugar de a la maduración sexual de los individuos.

## 9. CONCLUSIONES

- La proporción sexual (H:M) de *M. productus* estimada en el presente análisis, dio como resultado 1.2:1, sin embargo a partir del análisis de equidad de proporción no fue diferente de 1:1 a lo largo de los meses de prospección (Mayo – Diciembre 2015).
- Las merluza presentaron diferencias en las tallas respecto al sexo, siendo las hembras de mayor tamaño (LP = 17.2 cm) que los machos (LP = 15.4 cm), con una talla promedio de 16.7 cm en general para la porción de la población analizada. Así mismo, los pesos promedios fueron de 46.6 g para hembras, 32.8 g para machos y 40.3 g en general.
- Las merluzas del Pacífico frente a la costa occidental de BCS, presentaron un tipo de crecimiento isométrico con una relación de talla-peso ( $y = 0.009LP^{2.98}$ ) para la población en general, ( $y = 0.009LP^{2.99}$ ) para hembras y ( $y = 0.011LP^{2.92}$ ) para los machos.
- El factor de condición de Fulton (K) presentó un aumento después del mes de mayo manteniéndose relativamente constante a lo largo de los meses analizados.
- Las merluzas analizadas presentaron un aumento en la proporción de estadios de madurez avanzados (>IV) a partir del mes de septiembre.
- El índice gonadosomático (IGS) presentó un aumento similar que la proporción de estadios de madurez, asociado al aumento del volumen de las gónadas de los organismos.
- Por medio de la lectura de anillos de crecimiento en 192 otolitos *sagitta*, se identificaron 7 grupos de edad (1-5, 7 y 12 años), siendo el grupo de 3 años de edad el más frecuente a lo largo de los meses de prospección y la merluza más longeva una hembra de 12 años de edad y 27.5 cm de LP.
- El crecimiento individual de las merluzas se estimó a partir de un enfoque multimodelo, resultando ser el modelo Generalizado de von Bertalanffy aquel que presentó el mejor ajuste a los datos observados ( $R^2 = 0.99$ ), mediante el cual se estimaron los parámetros de crecimiento  $L_{\infty} = 31.02$  cm,  $k = 0.11$ ,  $t_0 = 0.01$  y  $\delta = 0.46$ .
- La talla de primera madurez ( $L_{50}$ ) se estimó para la población en general ( $L_{50} = 11.4$  cm), para hembras ( $L_{50} = 13.2$  cm) y para machos ( $L_{50} = 8.3$  cm).

- La edad de primera madurez ( $E_{50}$ ) en ( $E_{50} = 1.9$  años) para la población en general, ( $E_{50} = 1.8$  años) para machos y ( $E_{50} = 2.3$  años) para hembras..
- La información obtenida a partir del presente, permite inferir que el stock de *M. productus* ubicado frente a la Costa Occidental de BCS presenta una dinámica poblacional distinta a aquellos encontrados en aguas más norteñas (EUA y Canadá) reafirmando su independencia.
- Dado lo anterior, en caso de iniciarse la pesquería de este recurso en dicha región de México, su gestión tendría que ser adecuada a las características poblacionales tan particulares que presenta el mismo en esta porción de la Corriente de California.

A partir de los resultados obtenidos en el presente análisis y con base en las conclusiones planteadas anteriormente, se presentan las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda ampliar la base de datos acerca del stock analizado en el presente con el propósito de por lo menos contar con datos para un año completo y dar mayor robustez a los análisis realizados en el presente, incluyendo los meses en los que al parecer ocurre la mayor actividad reproductiva (enero – abril), así como el posible traslape con los stock más norteros según la literatura citada (Bailey *et al.*, 1982).
- Profundizar en el estudio y análisis de otolitos de la merluza del Pacífico encontrada en aguas mexicanas con el fin de validar la edad y crecimiento estimados en el presente.
- Definir el estatus taxonómico de la merluza del Pacífico frente a la costa occidental de BCS mediante técnicas moleculares de vanguardia y morfométricas, con el fin de establecer un mejor manejo dirigido específicamente a esta especie.

## 10. LITERATURA CITADA

- Alarcón, R., F. Balbontín, M. Aguayo, P. Ruiz, S. Núñez, G. Herrera, G. Claramunt, A. Sepúlveda. 2008. Biología reproductiva de merluza común. Informe Final Corregido Proyecto FIP 2006-16. Instituto de Investigación Pesquera. Talcahuano, Chile. 292p.
- Alverson, D.L., Larkins, H. A. 1969. Status of knowledge of the Pacific hake resource. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep. 13:24-31.
- Agostini, V., R. Francis, A. Hollowed, S. Pierce, C. Wilson, A. Hendrix. 2006. The relationship between Pacific hake (*Merluccius productus*) distribution and polewars subsurface flow in the California Current System. Can. J. Fish Aquat Sci. 63: 2648-2659.
- Ahlstrom, E.H. 1959. The vertical distribution of fish eggs and larvae off California and Baja California, Fish. Bull. 60:107-146.
- Ahlstrom, E.H. y R.C. Counts. 1955. Eggs and larvae of the Pacific hake, *Merluccius productus*. Fish Bull. 56:295-329.
- Arreguín-Sánchez, F., E. Arcos Huitrón. 2011. La pesca en México: estado de la explotación y uso de los ecosistemas. Hidrobiológica. 21(3):431-462.
- Ashton, W. D. 1972. The logit transformation with special reference to its uses in bioessay. Hafner Publ. Co. New York. 88p.
- Aurioles-Gamboa, D. 1991. Otolith size versus weight and body-length relationships for eleven fish species of Baja California, Mexico. Fish. Bull. 89:701-706.
- Aurioles-Gamboa, D., E.F. Balart-Páez, J.L. Castro. 1993. Los recursos potenciales pesqueros de fondo de la plataforma continental de la costa oeste de la Península de Baja California, México. Documento Interno. CIBNOR. S.C. 16p.
- Ayres, W. 1855. Description of the new species of California fishes. Proc. Cal. Acad. Nat. Sci. 1:23-77.
- Bailey, K.M., R.C. Francis, P.R. Stevens. 1982. The life history and fishery of Pacific whiting, *Merluccius productus*. CalCOFI Rep. 13:81-98.
- Bailey, K.M. 1981. Larval transport and recruitment of Pacific hake *Merluccius productus*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 6:1-9.
- Bailey, K.M., R.C. Francis. 1985. Recruitment of Pacific whiting, *Merluccius productus*, and the ocean environment. Mar. Fish. Rev. 47:8-15.
- Balart-Páez, E.F. 1996. Recurso Merluza. En: Casas-Valdez, M., G. Ponce-Díaz (eds.). Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur. Secretaria del Medio Ambiente Recursos Forestales y Pesca. Primera edición. México. pp 263-271.

- Balart-Páez, E.F., J.L. Castro-Aguirre. 1995. Estimación del impacto de la depredación de merluza sobre la langostilla. En: Aurióles-Gamboa, D., E.F. Balart-Páez (Eds.). La Langostilla: Biología, Ecología y Aprovechamiento. CIBNOR. S.C. Primera edición. 139-162.
- Balart-Páez E.F. 2005. Biología y ecología de la merluza bajacaliforniana, *Merluccius angustimanus* Garman, 1899, en la Costa Occidental de Baja California Sur, México. Tesis (Doctorado en Ciencias). Monterrey, México. Universidad Autónoma de Nuevo León. 158p.
- Barber, R.T., F.P. Chávez. 1983. Biological consequences of el niño. Science. 222(4629):1203-1210.
- Beamish, R.J. 1979. Differences in the age of Pacific hake (*Merluccius productus*) using whole otolith and sections of otoliths. J. Fish. Res. Board Can. 36:(15144)
- Benson, A.J., G.A. MacFarlane, S.E. Allen, J.F. Dower. 2002. Changes in Pacific hake (*Merluccius productus*) migration patterns and juvenile growth related to the 1989 regime shift. Can. J. Fish. Acua. Sci. 59:(1969-1979).
- Best, E.A. 1963. Contribution to the biology of the Pacific hake, *Merluccius productus*. CalCOFI Rep. 9:51-56.
- Bladon, A.J., K.M. Short, E.Y. Mohammed, E.J. Milner-Gulland. 2016. Payments for ecosystem services in developing world fisheries. Fish Fish. 17:839-859.
- Botsford, L.W., J.C. Castilla, C.H. Peterson. 1997. The management of fisheries and marine ecosystems. Science. 277(5325):509-515.
- Butler, J.L., R.N. Nishimoto. 1997. Growth and cohort dynamics of larval Pacific hake (*Merluccius productus*). CalCOFI Rep. 38: 63-68.
- Cabrera-Neri, E. 2003. Uso del microondas convencional para el horneado de otolitos del robalo prieto (*Centropomus nigrescens*). Ciencia y Mar. 7(19):33-36.
- Carta Nacional Pesquera (Actualización). Diario Oficial de la Federación (Segunda Sección), Ciudad de México, México, 24 de agosto de 2012.
- Cisneros-Montemayor, A.M., M.A. Cisneros-Mata, S. Harper, D. Pauly. 2013. Extent and implications of IUU catch in Mexico's marine fisheries. Mar. Policy. 39:283-288.
- Cisneros-Montemayor, A.M., M.A. Cisneros-Mata, S. Harper, D. Pauly. 2015. Unreported marine fisheries catch in Mexico, 1950-2010. Fisheries Centre Working Paper. 22:10p.
- CONAPESCA (Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca). 2014. Programa integral de ordenamiento pesquero en el Golfo de Ulloa, Baja California Sur. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 61p.

- Cooke, K., J. Holmes, G. Fleischer, R. Thomas, P. Ressler. 2006. Distributional changes observed in the geographic range of Pacific Hake (*Merluccius productus*) in association with ocean conditions off the Pacific coast of Canada and the United States. ICES. 20p.
- Csirke, J. 1980. Introducción a la dinámica de poblaciones de peces. FAO, Doc. Tec. Pesca 192:87p.
- Daniel, W.W. 2008. Bioestadística: Base para el análisis de las ciencias de la salud. Limusa Wiley. 4a ed. México. 755p.
- Dark, T.A. 1975. Age and growth of Pacific hake, *Merluccius productus*. Fish. Bull. 73:336-355.
- De Vlaming, V., G. Grossman, F. Chapman. 1982. On the use of the gonosomatic index. Comp. Biochem. Physiol. 73A:31-39.
- Diario Oficial de la Federación. 2012. Acuerdo por el que se da a conocer la Actualización de la Carta Nacional Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Ciudad de México, México. 24 de agosto de 2012. Segunda sección, pp 21–128.
- Dorn, M.W. 1992. Detecting environmental covariates of Pacific whiting *Merluccius productus* growth using a growth-increment regression model. Fish. Bull. 90:260-275.
- Dorn M.W. 1995. The effects of age composition and oceanographic conditions on the annual migration of Pacific whiting, *Merluccius productus*. Cal. Coop. Ocean. Fish. 36:97-105.
- Dorn, M.W., M. Saunders. 1997. Status of the Coastal Pacific whiting Stock in U.S. and Canada in 1997. En: Pacific Fishery Management Council. 84p.
- Edwards, A.M., I.G. Taylor, C.J. Grandin, A.M. Berger. 2018. Status of the Pacific Hake (whiting) stock in U.S. and Canadian waters in 2018. Prepared by the Joint Technical Committee of the U.S. and Canada Pacific Hake/Whiting Agreement, National Marine Fisheries Service and Fisheries and Oceans. Canada. 222p.
- Eigaard, O.R., P. Marchal, H. Gislason, A.D. Rijnsdorp. 2014. Technological development and fisheries management. Rev. Fish. Sci. Aquac. 22(2):156–174.
- Environmental Defense Fund de México, Comunidad y Biodiversidad A.C. 2013. Intercambio pesquero de merluza Estados Unidos – México. New port, Oregon. Reporte. 21p.
- Espinoza, A., I. Espejel, M. Wolff, J.A. Zepeda. 2011. Contextual factors influencing sustainable fisheries in Mexico. Mar. Policy. 35(3):343-350.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2005. The state of food insecurity in the world. Eradicating world hunger – key to achieving the Millenium Development Goals. Rome. 186p.

- FAO. 2016. The state of world fisheries and aquaculture. Contributing to food security and nutrition for all. Rome. 200p.
- Froese, R. 2006. Cube law, condition factor and weight–length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *J. Appl. Ichthyol.* 22:241–253.
- Froese, R., Tsikliras A.C., Stergiou K.I. 2011. Editorial note on weight–length relations of fishes. *Acta Ichthyol. Piscat.* 41 (4): 261–263.
- Funes-Rodríguez, R., J.F. Elorduy-Garay, A. Hinojosa-Medina, A. Zárate-Villafranco. 2009. Interannual distribution of Pacific hake *Merluccius productus* larvae in the southern part of the California Current. *J. Fish Biol.* 75(3):630–646.
- Gluyas-Millán, M.G. 1994. Reproducción, edad y talla de primera madurez de la macarela *Scomber japonicus* (Houttuyn, 1872) en bahía Vizcaíno. *Cienc. Mar.* 20(3)
- Grandin, C.J., A.C. Hicks, A.M. Berger, A.M. Edwards, N. Taylor, I.G. Taylor, S. Cox. 2016. Status of the Pacific Hake (whiting) stock in U.S. and Canadian waters in 2016. Prepared by the Joint Technical Committee of the U.S. and Canada Pacific Hake/Whiting Agreement, National Marine Fisheries Service and Fisheries and Oceans Canada. 165 p.
- Godínez-Pérez, C.A. 2013. Estimación acústica de la biomasa de la merluza del Pacífico Norte, *Merluccius productus* (Ayres, 1855) en el Golfo de Ulloa. Tesis (Licenciatura en Biología Marina). La Paz, México. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 72p.
- Grafton, R.Q., T. Kompas, R. Hilborn. 2007. The economics of overexploitation revisited. *Science.* 318:1681.
- Grover, J., T. Buckley, D. Woodbury. 2002. Effects of the 1997-1998 El Niño on early-juvenile Pacific hake *Merluccius productus*: age, growth, abundance, and diet in coastal nursery habitats. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 240:235-247.
- Gutiérrez, N., R. Hilborn, O. Defeo. 2011. Leadership, social capital and incentives promote successful fisheries. *Nature.* 470:386–389.
- Hamel, O., I. Stewart. 2009. Stock Assessment of Pacific Hake, *Merluccius productus*, (a.k.a. Whiting) in U.S. and Canadian Waters in 2009. National Marine Fisheries Service. 246 p.
- Hamel O., P. Ressler, R. Thomas, D. Waldeck, A. Hicks, J. Holmes y G. Fleischer. 2015. Biology, fisheries, assessment and management of Pacific hake (*Merluccius productus*). En: Arancibia, H (ed.). 2015. Hakes. Biology and exploitation. Fish and aquatic resources series. John Wiley & Sons, Ltd. Primera edición. West Sussex, UK. 9: 234-262.
- Henderson, M.G., J.K. Horne. 2007. Comparison of in situ, ex situ and backscatter model estimates of Pacific hake target strength. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 64(12):1781-1794.
- Hilborn, R., C.J. Walters. 1992. Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics & uncertainty. Chapman & Hall. Primera edición. Londres. 568p.

- Hilborn, R., T.A. Branch, B. Ernst, A. Magnuson, C.V. Minte-Vera, M.D. Scheurell, J.L. Valero. 2003. State of the world's fisheries. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 28:359-399.
- Hollowed, A. 1992. Spatial and temporal distributions of Pacific hake, *Merluccius productus*, larvae and estimates of survival during early life stages. *CalCOFI Rep.* 33
- Inada, T. 1989. Current status of the systematics of Merlucciidae. *Nat. Hist. Mus. Los Angeles County. Science Ser.* 32:197-207.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010. Indicadores socioeconómicos, índice y grado de marginación por localidad. Baja California Sur. En: [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx)
- Iwamoto, E., M.G. Ford, R.G. Gustafson. 2004. Genetic population structure of Pacific hake, *Merluccius productus*, in the Pacific Northwest. *Environmental biology of fishes*, 69:187-199.
- Kruskal, W.H., W.A. Wallis. 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *J. Am. Stat. Assoc.* 47(260):583-621.
- Livingston, P.A., K.M. Bailey. 1985. Trophic Role of the Pacific Whiting, *Merluccius productus*. *Mar. Fish. Rev.* 47(5): 16–22.
- Lluch-Belda D., J. Elorduy-Garay, S.E. Lluch-Cota, G. Ponce-Díaz (Eds.). 2000. BAC: Centros de Actividad Biológica del Pacífico mexicano. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Primera Edición. México. 365p.
- Lluch-Cota, D.B., S. Hernández-Vázquez, E.F. Balart-Páez, L.F. Beltrán-Morales, P. del Monte-Luna, A. González-Becerril, S.E. Lluch-Cota, A.F. Navarrete del Proó, G. Ponce-Díaz, C.A. Salinas-Zavala, J. López-Martínez, S. Ortega-García. 2006. Desarrollo Sustentable de la Pesca en México: Orientaciones Estratégicas. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste/ Comisión de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca del Senado de la República. Primera edición. México. 436p.
- Luquin-Covarrubias, M.A., E. Morales-Bojórquez, S.S. González-Peláez, J.A. Hidalgo-De-La-Toba, D.B. Lluch-Cota. 2016. Modeling of growth depensation of geoduck clam *Panopea globosa* based on a multimodel inference approach. *J. Shellfish Res.* 35(2):379-387.
- Lynn, R.J., J.J Simpson. 1987. The California Current System: The seasonal variability of its physical characteristics. *J. Geophys. Res.* 92C(12):12947-12966.
- Martínez, A., S. Manzanilla, J. Zavala. 2011. Vulnerability to climate change of marine and coastal fisheries in México. *Atmósfera.* 24(1):103–123.
- MacGregor, J.S. 1971. Additional data on the spawning of the hake. *Fish. Bull. U.S.* 69: 95-98.

- Mathews, C.P. 1985. Meristic studies of the Gulf of California species of *Merluccius*, with a description of a new species. *J. Nat. Hist.* 19:697–718.
- Ni, I-H., E.J. Sandeman. 1982. The logistic model for determining size at maturity in species differentiation and stock discrimination for Northwest Atlantic redfishes. Fourth Annual Meeting, Northwest Atlantic Fisheries Organization. 13p.
- Norma Oficial Mexicana NOM-003-SAG/PESC-2014. Para regular el aprovechamiento de las especies de peces pelágicos menores con embarcaciones de cerco, en aguas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California. Diario Oficial de la Federación de los Estados Unidos Mexicanos, Mazatlán, México, 6 de octubre de 2014.
- Padilla, M.A., S. De la Campa. 1981. Estimación de biomasa de merluza (*Merluccius productus*) en Baja California por medio de censos larvales. *Cienc. Pesq.* 1(2):81-85.
- Pauly, D., V. Christensen, S. Guénette, T.J. Pitcher, U.R. Sumaila, C.J. Walters, D. Zeller. 2002. Towards sustainability in world fisheries. *Nature.* 418(6898):689-695.
- Pauly D., D. Zeller. 2017. Comments on FAOs State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA 2016). *Mar. Policy.* 77:176-181.
- Piñeiro C., M. Saínza. 2003. Age estimation, growth and maturity of the european hake (*Merluccius merluccius* (Linnaeus, 1758)) from Iberian Atlantic waters. *J. Mar. Sci.* 1086-1102.
- Piñeiro, C.G., C. Morgado, M. Saínza, W.J. McCurdy (Eds). 2009. Hake age estimation: state of the art and progress towards a solution. *ICES Coop. Res. Rep.* (294):43p.
- R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. En: <https://www.R-project.org/>.
- Ramírez-Rodríguez, M., G. De la Cruz-Agüero, E. Marín-Monroy, M. Ojeda de la Peña, G. Ponce-Díaz. 2010. Estudio sobre la caracterización socioeconómica y pesquera del área del Golfo de Ulloa, Baja California Sur. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional. La Paz, BCS, México. 116p.
- Ressler, P.H., J.A. Holmes, G.U. Fleischer, R.E. Thomas, K.C. Cooke. 2007. Pacific Hake, *Merluccius productus*, Autecology : A Timely Review. *Mar. Fish. Rev.* 69: 1–24.
- Ruíz-Domínguez, M. 2015. Enfoque multimodelo en la descripción del crecimiento de la sardina crinuda (*Opisthonema libertate*) en la zona sur del Golfo de California. Tesis (Maestría en Ciencias en Manejo de Recursos Marinos). Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional. La Paz, BCS, México. 70p.
- Sakuma, K.M., S. Ralston. 1997. Vertical and horizontal distribution of juvenile Pacific whiting (*Merluccius productus*) in relation to hydrography off California. *Cal. Coop. Ocean. Fish.* 38:137-146.

- Saunders, M.W., G.A. MacFarlane. 1997. Observations on the spawning distribution and biology of offshore Pacific hake (*Merluccius productus*). Cal. Coop. Ocean. Fish. 38:147-157.
- Sevaly, S., J. Raakjaer. 1996. Fisheries co-management: a comparative analysis. Mar. Policy. 20(5):405-418.
- Silva-Segundo, C.A., M. Brito-Chavarria, E.F. Balart-Páez, I.A. de los Barriga-Sosa, R. Rojas-Esquivel, M.I. Roldán, G. Murugan, F.J. García De León. 2011. Clarifying the taxonomic status of *Merluccius spp.* in the northeastern Pacific: A combined morphological and molecular approach. Rev. Fish Biol. Fisher. 21(2): 259-282.
- Smith, P.E. 1995. Development of the population biology of the Pacific hake, *Merluccius productus*. CalCOFI Rep. 36:144-152.
- Sparre, P., S.C. Venema. 1997. Introduction to tropical fish stock assessment. Part 1. Manual. FAO Fish. Tech. Paper. (306)420p.
- Traynor, J.J. 1996. Target-strength measurements of Walleye Pollock (*Theragra chalcogramma*) and Pacific whiting (*Merluccius productus*). ICES J. Mar. Sci. 53:253-258.
- Tokai, T. 1997. Maximum likelihood parameter estimates of a mesh selectivity logistic model through SOLVER on MS Excel. Bull. Jpn. Fish. Oceanogr., 61: 288-298.
- Valdez-Leyva, G. 2012. Producción pesquera ribereña por zonas de pesca en la región del Golfo de Ulloa, Baja California Sur, México. Tesis (Maestría en Ciencias en Manejo de Recursos Marinos). La Paz, BCS, México. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. 87p.
- Villamar, A., U. Schmidt. 1976. Posibilidades pesqueras de la merluza en la costa occidental de Baja California, México. Mem. Primer Simp. Nal. de Recur. Pesq. Masivos de México. 2:55-85.
- Vrooman A.M., P.A. Paloma. 1977. Dwarf hake off the coast of Baja California, México. CalCOFI Rep. 19:67-72.
- Worm, B., R. Hilborn, J.K. Baum, T.A. Branch, J.S. Collie, C. Costello, M.J. Fogarty, E.A. Fulton, J.A. Hutchings, S. Jennings, O.P. Jensen, H.K. Lotze, P.M. Mace, T.R. McClanahan, C. Minto, S.R. Palumbi, A.M. Parma, D. Ricard, A.A. Rosenberg, R. Watson, D. Zeller. 2009. Rebuilding Global Fisheries. Science. 325(5940):578–585.
- Zweifel, J.R., R. Lasker. 1976. Prehatch and posthatch growth of fishes - a general model. Fish. Bull, 74(3):609-621.