



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR



DOCTORADO EN CIENCIAS EN RECURSOS
ACUÁTICOS

EVALUACIÓN POBLACIONAL DE LA MERLUZA DEL PACÍFICO,
***Merluccius productus* (AYRES, 1855) EN EL GOLFO DE**
CALIFORNIA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS EN RECURSOS ACUÁTICOS
EN EL ÁREA DE PESQUERÍAS

PRESENTA:

EDUARDO ALVAREZ TRASVIÑA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. LUIS ANTONIO SALCIDO GUEVARA

DRA. DANA ISELA ARIZMENDI RODRÍGUEZ

Mazatlán, Sinaloa, México Enero de 2023.



Dirección General de Bibliotecas
Ciudad Universitaria
Av. de las Américas y Blvd. Universitarios
C. P. 80010 Culiacán, Sinaloa, México.
Tel. (667) 713 78 32 y 712 50 57
dgbuas@uas.edu.mx

UAS-Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional Buelna

Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial
Compartir Igual, 4.0 Internacional



RESUMEN

La merluza del Pacífico, *Merluccius productus*, es un pez demersal, de importancia ecológica y económica en la corriente de California, debido a los grandes volúmenes de captura (103, 000 t anualmente) en las costas de Estados Unidos y Canadá. En México, este recurso era capturado bajo el amparo de los permisos denominados Escama Marina, sin embargo, en 2018 la pesquería se formalizó y se establecieron algunas medidas de manejo como la cuota de captura y el número máximo de embarcaciones en 2022. Este estudio, tiene como objetivo conocer aspectos de distribución, abundancia, edad, crecimiento individual, así como evaluar y conocer el nivel biológico (estatus) de la población. Se empleó una base de datos generada a partir de cruceros de investigación realizados entre 2014 y 2019, con información de ubicación y duración de los lances de pesca, profundidad, captura de merluza, así como información biométrica de merluza, información ambiental (temperatura de fondo, salinidad) con un CTD, además se utilizó información de los estadísticos de pesca (SIPESCA-CONAPESCA). Los resultados muestran los centros de abundancia, al norte de la Isla Ángel de la Guarda y entre las Grandes Islas, a temperaturas preferenciales de fondo entre 13°C a 14°C, en la isóbata de los 200 m de profundidad principalmente durante los meses de invierno (diciembre a marzo). Los individuos de merluza alcanzan tallas superiores a los 100 cm de LT, presenta dimorfismo sexual encontrando solo hembras en tallas >73 cm de LT. Basados en el conteo de las bandas de crecimiento en los otolitos, se identificaron 13 grupos de edad para las hembras y nueve grupos de edad para machos, el enfoque multimodelo mostró al modelo logístico como el mejor para describir los datos de talla-edad en ambos sexos. Las biomásas variaron de las 6,917.80 t a 68,260.37 t. El Rendimiento Máximo Sostenible (RMS) fue de 3,760 t a 9,760 t, con una mortalidad por pesca (F_{RMS}) de 0.09 a 0.29 respectivamente. El Análisis de Reducción de Stock (ARS) mostró una reducción del 41-44% del tamaño del stock, respecto al stock virgen. El nivel de aprovechamiento en el último año ($F/F_{RMS} = 0.63$ y el $B/B_{RMS} = 1.29$) indica que la población se encuentra explotada biológicamente sostenible.

Palabras Claves: Distribución, abundancia, crecimiento individual, Rendimiento Máximo Sostenible, Puntos de Referencia Biológicos.

ABSTRACT

The Pacific hake, *Merluccius productus*, is a demersal fish of ecological and economic importance in the California current, due to the large volumes caught (103,000 t annually) off the coasts of the United States and Canada. In Mexico, this resource was captured under the protection of permits called Marine Scale, however, in 2018 the fishery was formalized and some management measures were established, such as the catch quota and the maximum number of vessels in 2022. This study, has as objective to know aspects of distribution, abundance, age, individual growth, as well as to evaluate and know the biological level (status) of the population. A database generated from research cruises carried out between 2014 and 2019 was used, with information on the location and duration of fishing sets, depth, hake catch, as well as hake biometric information, environmental information (bottom temperature, salinity) with a CTD, in addition, information from fishing statistics (SIPESCA-CONAPESCA) was used. The results show the centers of abundance, to the north of Ángel de la Guarda Island and between the Great Islands, at preferential bottom temperatures between 13°C and 14°C, in the 200 m depth isobath, mainly during the months winter (December to March). They reach length greater than 100 cm TL, presenting sexual dimorphism, finding only females in length >73 cm TL. Based on the count of the growth bands in the otoliths, 13 age groups for females and nine age groups for males were identified, the multi-model approach showed the logistic model as the best to describe the length-age data in both sex. The biomasses varied from 6,917.80 t to 68,260.37 t. The Maximum Sustainable Yield (MSY) was from 3,760 t to 9,760 t, with a fishing mortality (F_{MSY}) of 0.09 to 0.29 respectively. The Stock Reduction Analysis (ARS) showed a reduction of 41-44% in the size of the stock, compared to the virgin stock. The level of harvest in the last year ($F/F_{MSY} = 0.63$ and $B/B_{MSY} = 1.29$) indicates that the population is biologically sustainable exploited.

Keywords: Distribution, abundance, individual growth, Maximum Sustainable Yield, Biological Reference Points.

DEDICATORIA

En memoria de mi madre Esperanza Trasviña Cota confió que algún día volvamos a reencontrarnos, para tener esas largas charlas.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Autónoma de Sinaloa por darme la oportunidad de desarrollar mis estudios de posgrado y la formación académica. En especial al laboratorio de Ecología de Pesquerías por brindarme sus instalaciones en todo momento.

Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada (CVU 377029) durante el programa de Doctorado en Ciencias en Recursos Acuáticos.

Este trabajo fue realizado bajo el apoyo del siguiente programa del Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INAPESCA) “Dinámica Poblacional de la Merluza (*Merluccius productus*) en aguas marinas del Golfo de California” durante los años 2014 al 2019 en el Centro Regional de Investigación Pesquera y Acuícola en Guaymas, Sonora. Así como a la tripulación y técnicos del Buque de Investigación Pesquera (BIPXI) por todas las horas de trabajo, para la obtención de la información en especial a Alejandro Valdez Pelayo.

Al Proyecto de UAS-PTC-131 (DSA 511-6/17-7679) de la Universidad Autónoma de Sinaloa por el apoyo de infraestructura y equipo.

A mis directores de tesis el Dr. Luis Antonio Salcido Guevara y la Dra. Dana Isela Arizmendi Rodríguez por estar siempre pendientes en mi desempeño, así como por sus asesorías, revisiones, compartir sus conocimientos y por la amistad brindada.

A la Dra. Rebeca Sánchez Cárdenas y al Dr. Guillermo Rodríguez Domínguez por los comentarios y asesorías brindadas que, sin lugar a duda, hicieron mejorar el presente trabajo.

A la coordinación de posgrado en especial a Lic. Nerika Benítez Pardo secretaria de posgrado que siempre nos aclara cualquier duda, sin duda alguna nos facilita los trámites administrativos.

Durante esta etapa del doctorado la presencia de diferentes personas hace más llevadero el tiempo, a Violeta González (Roommate) gracias por las porras y ánimos, a Concepcion Enciso, Eva Coteró (Doctora) por la amistad, consejos y opiniones, al Dr. Casimiro Quiñonez por la asesoría y opiniones. Juan Maldonado por las asesorías y orientaciones.

Tabla de Contenido

Lista de Figuras	iii
Lista de Tablas.....	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1 Distribución	3
2.2 Abundancia.....	4
2.3 Edad y Crecimiento.....	5
2.4 Alimentación	6
2.5 Reproducción.....	8
2.6 Pesquería.....	8
2.7 Medidas de Manejo.....	11
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
4. HIPÓTESIS.....	13
5. OBJETIVO GENERAL	14
5.1 Objetivos específicos	14
6. ÁREA DE ESTUDIO	15
7. MATERIALES Y MÉTODOS	17
7.1 Estructura de talla y peso	18
7.2 Proporción sexual	18
7.3 Distribución espacial y relación con el ambiente.....	18
7.3.1 Selección de variables ambientales.....	19
7.3.2 Elaboración de los Modelos	20
7.3.3 Selección de mejor modelo.....	20
7.4 Estimaciones de biomasa	21
7.5 Determinación de la edad.	24
7.6 Evaluación del crecimiento	26
7.6. 1 Selección del mejor modelo.....	27
7.6.3 Intervalos de Confianza	29
7.6.4 Mortalidad Natural.....	29
7.7 Evaluación de la población de merluza.....	30
7.8 Análisis de Reducción de Stock (ARSS).....	32

7.9 Estatus del la población de merluza en el Golfo de California.	34
8. RESULTADOS	35
8.1 Estructura de talla y peso	35
8.2 Proporción Sexual.....	38
8.3 Distribución espacial de la merluza y la relación ambiental.	41
8.3.1 Modelación Estadística	43
8.4 Estimación de biomasa.....	46
8.5 Estructura de edad.....	49
8. 5. 1 Evaluación del crecimiento individual	51
8.5.2 Selección del mejor modelo	53
8.5.3 Comparación del crecimiento individual.....	53
8.5.4 Intervalos de Confianza	54
8.6 Mortalidad Natural.....	54
8.7 Evaluación de la población de merluza.....	55
8.7.1 Modelo de CRMS.....	55
8.7.2 Analisis de Reducción de Stock (ARS).	58
8.7.3 Estatus de la población de merluza en el Golfo de California.	60
9. DISCUSIÓN	64
9.1 Estructura de talla y peso	64
9.2 Proporción sexual.	65
9.3 Distribución espacial de la merluza del Pacífico.	67
9.4 Modelación Estadística.	68
9.5 Abundancia de la merluza.....	69
9.6 Determinación de la edad.	70
9.7 Estructura de edad.....	71
9.8 Evaluación del crecimiento.	72
9.9 Evaluación de la población de merluza.....	73
10. CONCLUSIONES	79
11. RECOMENDACIONES	81
12. REFERENCIAS	82
13. ANEXOS	98

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Merluccius productus</i> (Ayres, 1855), merluza del Pacífico norte, merluza norteña (Tomado de Fischer <i>et al.</i> 1995).	1
Figura 2. Captura mundial de <i>Merluccius productus</i> de 1960 a 2020 por país. 9	
Figura 3. Capturas anuales de merluza del Pacífico en México. Las capturas fueron obtenidas a partir de avisos arribo (CONAPESCA-SIPESCA, 2022) 10	
Figura 4. Área de estudio, en el Golfo de California. La línea negra señala el derrotero seguido por el buque BIP XI durante los cruceros de prospección.....	16
Figura 5. Corte transversal del otolito sagitta de merluza en el Golfo de California. N= Núcleo, D= Dorsal, V= Ventral, S= Sulcus, AS= Antisulcus. Hembra de 68 cm de LT	26
Figura 6. Distribución de las estructuras de tallas por sexos durante los cruceros de 2014 al 2019 de merluza en el Golfo de California.....	36
Figura 7. Distribución de las capturas (Kg) de los cruceros de investigación realizados en el Golfo de California durante, a) febrero del 2014, b) abril-mayo del 2014, c) diciembre del 2015, d) octubre del 2016, e) abril del 2018 y f) febrero del 2019.....	42
Figura 8. Graficas de respuesta del MAG, mostrando el efecto de las funciones significativas para describir la distribución espacial, ambiental y temporal de la merluza del Pacífico en el Golfo de California; Temperatura (A), Longitud (B), Mes (C) e interacción Mes/Longitud (D). El eje Y representa cual es el efecto de la covariante con respecto a la abundancia. El área gris representa los intervalos de confianza al 95%.	45
Figura 9. Figuras de efecto parcial del Mes/Temperatura (a) y Profundidad/Longitud (b) en el MAG que utilizó las tallas promedio de merluza del Pacífico en el Golfo de California.	46
Figura 10. Estructura de edad de la merluza del Pacífico en el Golfo de California.....	49
Figura 11 Curvas de crecimiento individual de la merluza del Pacífico en el Golfo de California.	52
Figura 12. Capturas de merluza en el Golfo de California de 1990-2021. La línea continúa es el Rendimiento Máximo Sostenible(RMS) para 2021 y la línea discontinua corresponde a los intervalo de confianza.....	55
Figura 13. Estimaciones de biomasa calculadas por el método de Froese <i>et al.</i> 2017. Los puntos azules indican la biomasa observada con el método de área barrida.....	56
Figura 14. Relación entre F/F_{RMS} de la pesquería de merluza del Pacífico en el Golfo de California para el periodo de 1990-2021. La línea roja indica el esfuerzo de pesca adecuado para alcanzar el RMS.....	57
Figura 15. Biomasa relativa ($B1/B_{2020}$) del modelo Análisis de Reducción de Stock (A) y, Biomasa total del modelo de análisis de reducción de stocks (ARS) Mortalidad, Captura-Rendimiento Máximo Sostenible y Área barrida (B) de la	

merluza del Pacífico en el Golfo de California para el periodo de 2000-2021.....	60
Figura 16. Diagrama de fases de Kobe relacionando la tasa de explotación (F/F_{RMS}) y la Biomasa para el Rendimiento Maximo Sostenible (B/B_{RMS}) de la merluza del Pacífico en el Golfo de California para 1990-2021.	61
Figura 17. Análisis de riesgo simulado al año 2025 obtenido con simulacion de la Biomasa del último año (2021) obtenida con el C_{RMS}	62
Figura 18. Proyección de la biomasa relativa de la merluza del Pacífico para el Golfo de California al 2026 considerando como medida de manejo las cuotas de captura.....	63

Lista de Tablas

Tabla I. Variables potenciales como variables predictoras	19
Tabla II. Modelos de crecimiento individual para la <i>Merluccius productus</i>	27
Tabla III. Rangos a priori para parámetros de r, basados en la clasificación de resiliencia (Froese y Pauly 2015).....	31
Tabla IV. Rangos a priori de biomasa relativa sobre k (Froese <i>et al.</i> 2017). 31	
Tabla V. Mínimos, promedio y máximos de las tallas y pesos de la merluza del Pacífico durante los cruceros del 2014, 2015, 2016, 2018 y 2019.....	37
Tabla VI. Proporción sexual durante los cruceros de merluza del Pacífico en el Golfo de California.	38
Tabla VII. Proporción sexual por estrato durante los cruceros de merluza del Pacífico en el Golfo de California.....	39
Tabla VIII. Proporción sexual por intervalo de talla durante los cruceros de merluza del Pacífico en el Golfo de California.	40
Tabla IX. Modelos aditivos generalizados para la merluza del Pacífico en el Golfo de California. Temperatura = temperatura del fondo del mar, AIC = Criterio de Información de Akaike	44
Tabla X. Estimaciones de biomasa por crucero de la merluza del Pacífico en el Golfo de California. DE = Desviación estándar y CV = Coeficiente de variación.	47
Tabla XI. Estimaciones de biomasa por estrato de profundidad de la merluza del Pacífico en el Golfo de California. DE = desviación estándar	48
Tabla XII. Tallas relativas a la edad de la merluza del Pacífico <i>Merluccius productus</i> en el Golfo de California.....	50
Tabla XIII. Parámetros de los modelos de crecimiento de la merluza del Pacífico en el Golfo de California.....	53
Tabla XIV. Intervalos de confianza (IC) del modelo logístico de la merluza del Pacífico en el Golfo de California.....	54
Tabla XV. Parámetros y puntos de referencia biológicos del Modelo de producción excedente de Schaefer-Bayesiano state-space (MSB) para el año 2021 de la merluza en el Golfo de California. Los parámetros r, k, RMS (t), FRMS, y BRMS para el periodo de 1990-2021.....	58
Tabla XVI. Soluciones aceptables de ARS para la merluza del Pacífico del Golfo de California con dos diferentes mortalidades (M). M = Mortalidad, r = fuerza reclutamiento, P = Proporción B_{2020}/B_1 , B_1 = Biomasa virgen (t), R = Reclutamiento (t), SSQ = suma residuales.....	59

1.INTRODUCCIÓN

El género *Merluccius* esta integrado por 16 especies alrededor del mundo (Froese y Pauly 2022), algunas son objetivos de importantes pesquerías (Lloris *et al.* 2005), entre estas encontramos a *Merluccius productus* (Ayres 1855), la cual es capturada en el continente americano en las costas del Pacífico norte, especie comúnmente llamada merluza del Pacífico norte, merluza norteña o merluza blanca, la cual se caracteriza por un cuerpo alargado y cabeza ancha, de color gris oscuro con el dorso color verdoso y el vientre gris claro (Froese y Pauly 2022). Es bentopelágico, es decir, que vive asociada al fondo del mar, hasta los 1000 m de profundidad, pero las mayores concentraciones se realizan en la plataforma continental (Fischer *et al.* 1995). Su clasificación taxonómica según ITIS (2022) es la siguiente:

Reino: Animalia

Filo: Chordata

Superclase: Actinopterygii

Clase: Teleostei

Orden: Gadiformes

Familia: Merlucciidae

Subfamilia: Merlucciinae

Género: *Merluccius*

Especie: *Merluccius productus* (Ayres, 1855)

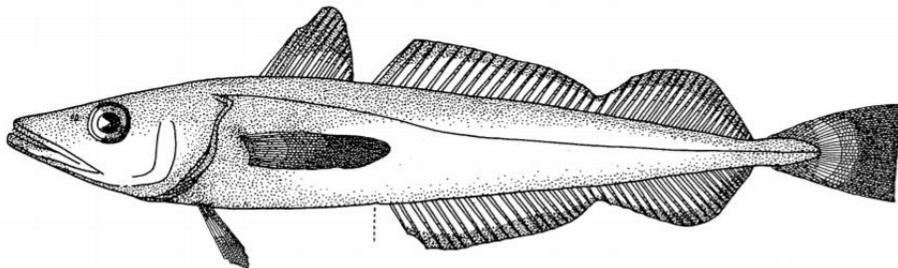


Figura 1. *Merluccius productus* (Ayres, 1855), merluza del Pacífico norte, merluza norteña (Tomado de Fischer *et al.* 1995).

A lo largo de su distribución se ha reconocido una población estructurada por stocks, encontrando de norte a sur el siguiente patrón de distribución: El stock del estrecho de la Reina Charlotte y el estrecho de Georgia en Canadá, el stock en la parte centro-sur del estrecho de Puget, el stock costero desde la costa sur de California hasta el estrecho de la Reina Charlotte en Canadá (Iwamoto *et al.* 2004).

Se tiene identificado un stock de merluza, morfológicamente distinto, denominado “enano” (*M. angustimano*) localizado a fuera de la costa este de Baja California (Vrooman y Paloma 1977) y Mathews (1985) a través de estudios merísticos describió dos especies de merluzas en el Golfo de California, para la parte norte a la especie de *M. hernandezii* y en la parte sur del Golfo de California *M. angustimanus*.

En la actualidad y con base en estudios de diferenciación genética empleando marcadores microsatelitales y mitocondriales en la población de merluza del Pacífico se ha concluido que los diferentes morfotipos corresponden a la misma especie *M. productus*, sin embargo, se encontro que las poblaciones del estrecho de Puget y la del norte del Golfo de California, presentan cierto grado de aislamiento, el cual podría ser consecuencia de barreras oceanográficas, sin embargo, no son significativas para ser consideradas poblaciones diferentes, pero deben ser consideradas para fines de evaluación y manejo (Silva-Segundo 2011; García-De León *et al.* 2018).

2. ANTECEDENTES

La estructura de tallas para la merluza del Pacífico, *Merluccius productus* a lo largo de su distribución ha sido reportada en varios trabajos mostrando que en el extremo norte (Canadá) varía de los 6 cm hasta los 81 cm Longitud Furcal (LF), para las costas de Estados Unidos, se han reportado tallas de los 10 hasta 80 cm LF (Best 1962; Dark 1974; Saunders y McFarlane 1997). En la parte sur frente a las costas de Baja California Balart-Páez (2005) y Salinas-Mayoral (2018) reportan organismos con tallas máximas de 27.8 cm y 27.5 cm Longitud Patrón (LP) respectivamente. Para el Golfo de California se han reportado tallas de 112 cm y 108 cm de Longitud Total (LT) (Nevárez-Martínez *et al.* 2007; Zamora-García *et al.* 2020)

2.1 Distribución.

La merluza del Pacífico se distribuye en el Pacífico Nororiental, desde Canadá hasta el Golfo de Tehuantepec, incluyendo el Golfo de California en México (Lloris *et al.* 2005). Como se mencionó anteriormente, a lo largo de su distribución se han reconocido varios stocks, de los cuales el stock costero, el cual se distribuye a lo largo de la corriente de California, presenta movimientos migratorios anuales, en invierno-primavera hacia las costas del sur de California durante la temporada de desove y en verano-otoño se desplaza hacia áreas de alimentación más norteñas como la Sonda de reina Charlotte en Canadá o en algunos años hasta el sur de Alaska (Bailey *et al.* 1982; Hamel *et al.* 2015). Estos movimientos son asociados a: anomalías en la temperatura subsuperficial, la intensidad de la corriente subsuperficial hacia el norte y cambios en la distribución de sus presas durante los años cálidos y fríos (Smith *et al.* 1990, Dorn 1995).

Swartzman (1997) analizó la relación entre los cardúmenes de merluza y la temperatura de fondo en las costas de Estados Unidos, observando un patrón

espacial latitudinal, donde las agregaciones en las latitudes norteñas se localizaron a mayor profundidad y alejadas de la costa. En este mismo sentido, Benson *et al.* (2002) encontraron una relación inversa de la biomasa con las anomalías de surgencias, explicando el 77% de la varianza de dichas biomásas. Agostini *et al.* (2006, 2008), encontraron una relación significativa entre los movimientos migratorios de la merluza con la corriente subsuperficial y la profundidad.

2.2 Abundancia.

En México, uno de los primeros trabajos donde se documentó a la merluza del Pacífico como una especie con potencial pesquero, recurso que sería una alternativa a las pesquerías tradicionales como son: camarón, pelágicos menores, atún, calamar gigante para el Golfo de California fue el realizado por Mathews *et al.* (1974) en este trabajo estimaron a través del método de área barrido volúmenes de biomasa de 4,000 a 28,000 toneladas, señalando que las mayores abundancias se encuentran en los meses de febrero y marzo, reportan que la mortalidad natural en hembras es de 0.29 y 0.47 en machos, con estos valores y el supuesto de que el rendimiento máximo podría ser obtenido cuando la mortalidad por pesca igualara a la mortalidad natural estimaron que el rendimiento de la merluza estaría entre 4,060 t a 6,580 t.

Padilla-García (1977) a través del método de producción de huevos y larvas estimó una biomasa de adultos de reproductores de 24,299 t, las larvas de merluza se encontraron distribuidas principalmente al este y norte de la Isla Ángel de la Guarda, las cuales fueron capturadas a profundidades entre los 36 m y 221 m, a una temperatura promedio de 16.2° C, se deduce que las larvas derivan probablemente de un desove que se realizó a principios del mes de febrero.

Nevárez-Martínez *et al.* (2007) para la misma área estimaron una biomasa entre las 12,000 hasta 145,000 toneladas con un rendimiento máximo 4,200 t y 21,100 t, con las mayores abundancias en los meses de invierno-primavera.

2.3 Edad y Crecimiento.

En el género *Merluccius* el otolito sagitta es la estructura calcificada más utilizada para la determinación de la edad y el crecimiento individual el cual es una de las variables básicas que determinan la productividad de las poblaciones, al guardar relación directa con otros parámetros biológicos (la mortalidad natural, la fecundidad, condición de progenitores), información básica para incorporar en los modelos estructurados de dinámica de poblaciones (Morales-Nin 1992) permitiendo un manejo pesquero efectivo (Ruíz-Domínguez y Quiñonez-Velázquez 2018).

Para la merluza del Pacífico *M. productus* han evaluado el crecimiento a lo largo de su distribución, Dark (1974) para la costa occidental de EUA mediante el conteo de anillos de crecimiento en los otolitos, reportó una edad máxima de 13 años en las hembras y una diferencia de dos a tres años menores en los machos con valores de $k=0.30$ y $L_{\infty}=61.23$ y $k=0.34$ y $L_{\infty}=56.29$ respectivamente. Beamish (1979) para el estrecho de Georgia, comparó el conteo de marcas de crecimiento entre el otolito entero y seccionando el otolito, encontrando que en los otolitos seccionados de organismos que superaban los siete años de edad, revelaban mayor número de marcas de crecimiento, debido a que algunos anillos de crecimiento del borde se encuentran por debajo de otras marcas, reportando así hembras de 16 años de edad. Más tarde McFarlane *et al.* (1983) utilizando la técnica de sección del otolito reporta organismos hembras de 18 años para la misma área.

Balart-Páez (2005) determinó la edad y el crecimiento para *M. angustimanus* en la costa occidental de Baja California Sur, contando los anillos de

crecimiento en otolitos enteros reportando cuatro grupos de edad y un solo organismo de edad cinco el cual perteneció a una hembras de 27.8 cm LP, señalando un enanismo en la especie a diferencia de las merluzas que se distribuyen más al norte (*M. productus*) con una $L_{\infty}=32.7$ cm LP y una $k=0.28$. Es importante recordar que en la actualidad a *M. angustimanus* de la costa occidental de la península de Baja California se le tiene reconocida como *M. productus*.

Salinas-Mayoral (2018) describió el crecimiento para la merluza del Pacífico para la Costa Occidental de la Península de Baja California, el conteo de anillos lo realizó en secciones del otolito, encontrando 12 grupos de edad, siendo las hembras de mayor edad. El crecimiento lo describió con el enfoque multimodelo, encontrando que el modelo de von-Bertalanffy fue el que presentó mayor ajuste ($L_{\infty}=31.02$ cm, $k=0.11$ años⁻¹ $t_0=0.01$).

Zamora-García (2021) estimó la edad para la merluza del Pacífico que habita en el Golfo de California, encontro una estructura de edades que varió por sexos, con una edad máxima para las hembras de 13 años y nueve años para machos, el crecimiento individual lo describió mejor el modelo Gompertz con $L_{\infty}=86.13$ cm LP, $g=0.23$ años⁻¹ $t_i=2.30$ (años) y $L_{\infty}=79.61$ cm LP, $g_i=0.44$ años⁻¹ $t_i= 3.32$ (años).

2.4 Alimentación.

La alimentación de la merluza del Pacífico *M. productus* varia de acuerdo a su ontogenia. Sumida y Moser (1980) encontrarón frente a las costas de California y Baja California que las larvas de merluza del Pacífico, presentán una alimentación amplia que va desde huevos de copépodos, adultos de copépodos caloideos, copepoditos y nauplios, aunque presentarón una mayor preferencia por copépodos adultos (74%). Livingston (1983) reportó para las costas del este de norteamerica, en organismos <20 mm de longitud, se

alimentaban principalmente de Eufausidos, pero en organismos con longitudes >55 cm la dieta estuvo conformada principalmente de peces, destacando la anchoveta norteña (*Engraulis mordax*), eulacon (*Thaleichthys pacificus*) y el arenque del Pacífico (*Clupea harengus pallasii*), la presencia o el peso de cada especie de presa en la alimentación de la merluza, presenta variaciones estacionales.

Buckley y Livingston (1997) encontraron que además de la variación en la dieta de la merluza del Pacífico por la talla, esta presentaba una variación latitudinal, en la región de California especies de peces de la familia Scorpaenidae y la anchoveta norteña fueron las predominantes, en la costa central de EUA en la región de Eureka los camarones pandalidos y en las costas de Columbia y Vancouver fueron el arenque del Pacífico y otros peces fueron los dominantes. Los eufausidos fueron recurrentes en todas las áreas, también se reportan consumo de congéneres de adultos sobre juveniles que representa el 39% del alimento, este evento se observó en la región de Monterey, California.

Trujillo-Olvera (2012) catalogó a la merluza del Pacífico de la costa occidental de Baja California Sur como un depredador generalista con base en su extensa diversidad de presas dentro de las que destacan crustáceos, moluscos, equinodermos y peces. En este sentido Arizmendi-Rodríguez *et al.* (2021c) catalogaron a la merluza del Pacífico en el Golfo de California como especialista, alimentándose principalmente de crustáceos, seguido por peces, así como la presencia de canibalismo.

En el Golfo de California se ha reportado que *M. productus* forma parte del espectro trófico como presa en diferentes organismos como el calamar gigante y lobos marinos, (Markaida *et al.* 2003; Espinoza de los Reyes-Ayala 2007; Rosas-Luis 2007).

2.5 Reproducción.

Se ha documentado que los meses de invierno es el principal periodo donde la merluza del Pacífico, realiza la actividad reproductiva (Bailey *et al.* 1982; Hammel *et al.* 2015; Salinas-Mayoral 2018).

Para el Golfo de California, Denton-Castillo (2018) reporta la época de desove para la merluza del Pacífico de diciembre a mayo del siguiente año, la talla media del stock reproductor de hembras y machos de 64.9 cm de LT y 38.98 cm de LT respectivamente, además, menciona que el potencial reproductivo presenta diferencias temporales, es decir, la mayor producción de óvulos y la mayor intensidad reproductiva se presenta durante los primeros meses del año, con una fecundidad parcial promedio de 618,586 ovocitos, presentando una relación positiva con respecto a la longitud total.

2.6 Pesquería.

La pesquería del stock costero de *M. productus* se realiza a lo largo de las costas de California, Oregón y Washington en Estados Unidos y en Columbia Británica, en Canadá, típicamente de mayo a diciembre con redes de arrastre de media agua a profundidades que van desde los 100 m hasta 500 m, aunque en los últimos años se han llevado a cabo extensiones mar adentro para disminuir la captura de especies agotadas, como el pez roca y el salmon (Hammel *et al.* 2015).

Las capturas de merluza del Pacífico en Estados Unidos han variado desde las 211 t hasta las 353,000 t con un promedio de 103,000 t de 1962 a 2020 y en la costa de Canadá de 19,300 t a 124,872 t con un promedio de 38,641 t de 1981 a 2020 (FAO 2022a, Fig. 2).

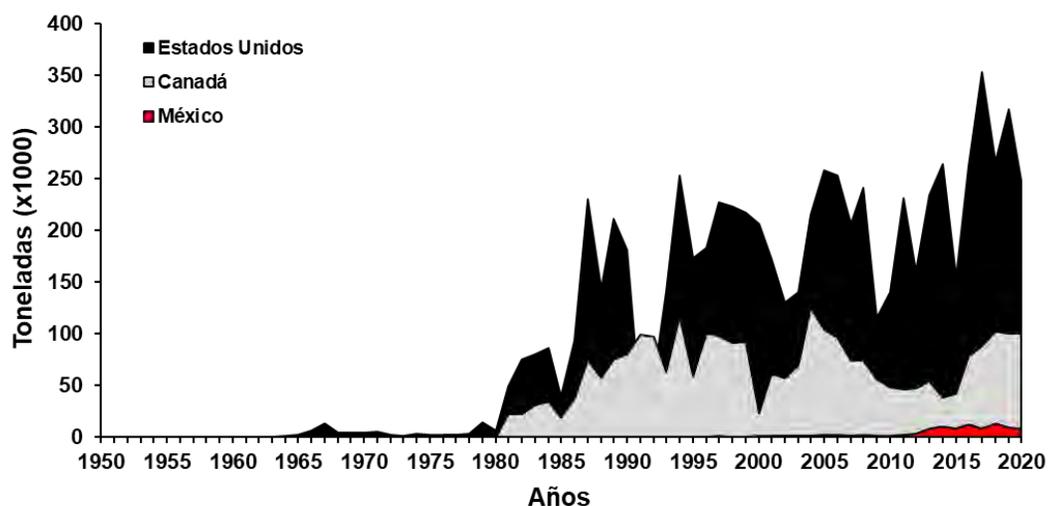


Figura 2. Captura mundial de *Merluccius productus* de 1960 a 2020 por país.

En México la captura de la merluza del Pacífico se ha realizado principalmente en embarcaciones de origen camaronero y escamero, con eslora superior a los 10.5 metros, capacidad superior a 10 toneladas de arqueado neto, las cuales pueden utilizar dos métodos de pesca, doble aparejo o por popa, las dimensiones de las artes de pesca varían de acuerdo al método, así para el sistema por popa se utilizan redes con relinga superior de 50.29 metros, con un tamaño de malla del copo de 7.62 centímetros, una longitud del copo de 6 metros y una capacidad de la red de 3 toneladas y para el sistema de doble aparejo se utilizan redes de 32 metros de relinga superior, con un tamaño de malla del copo de 7.62 centímetros, una longitud del copo de 7 metros y una capacidad de la red de 7 toneladas (Arizmendi-Rodríguez *et al.* 2019). Durante la década de 1990 se capturaron en promedio 202.4 toneladas, del año 2000 al 2010 incrementó a 1,183 toneladas y en los últimos ocho años siguiendo la tendencia de aumento la captura fue de 6,664 toneladas (Fig. 3).

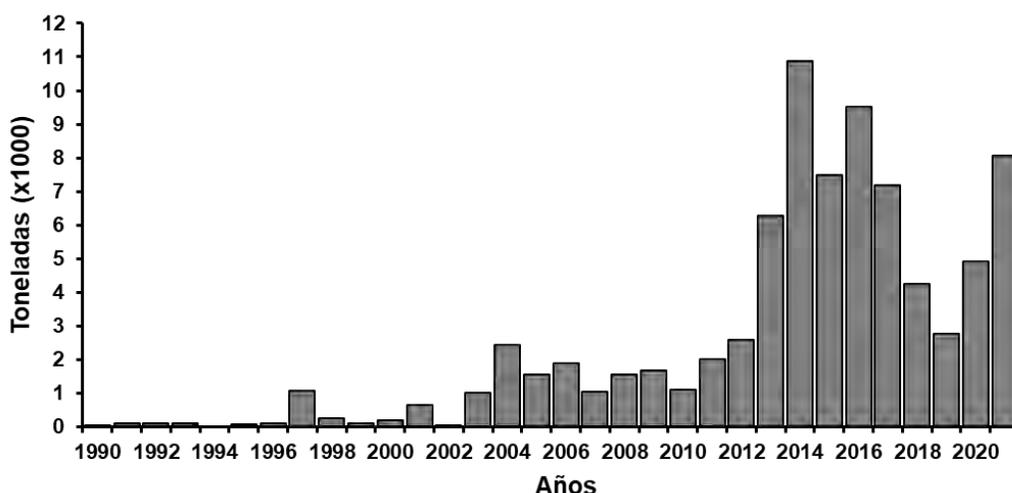


Figura 3. Capturas anuales de merluza del Pacífico en México. Las capturas fueron obtenidas a partir de avisos arribo (CONAPESCA-SIPESCA, 2022).

La temporada de pesca inicia en diciembre y termina en mayo, obteniendo los mayores volúmenes entre enero y marzo, el máximo histórico anual de 10,871.4 t con una captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de 27.45 t/viaje se reportó en 2014. A partir de 2015 a 2020 las capturas han fluctuado, llegando a un mínimo de 2,700.7 t con una CPUE de 10.59 t/viaje en 2019, Sonora aporta el 83.0% de la captura total anual (Arizmendi-Rodríguez *et al.* 2019).

Zamora-García *et al.* (2020) reporta un decremento en la CPUE y en la talla promedio de la merluza del Pacífico en la pesquería del norte del Golfo de California, esto durante enero a marzo con una proporción mayor de machos en las capturas, sugiriendo que la actividad reproductiva la realiza en invierno en esta zona. Parra-Alaniz y Ramírez-Rodríguez (2022) analizaron la eficiencia de los barcos merluceros, encontrando que la variabilidad en la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) es debido al año, tipo de red, tipo de embarcación, así como del área de pesca, logrando un 18% de la devianza explicada del Modelo Lineal Generalizado (GLM por sus siglas del inglés General Linear Model) y que las embarcaciones de mayor calado son más eficientes que las embarcaciones de menor tamaño.

2.7 Medidas de Manejo.

La cuota de captura es la medida de manejo utilizada para regular la pesquería de Merluza del Pacífico en Estados Unidos y Canadá. Esta se determina usando una tasa de mortalidad por pesca de $F_{IDP=40\%}$. El Índice de Desove Potencial (IDP) es igual al punto de referencia biológico de 40% planteado como adecuado para esta pesquería y la mortalidad por pesca estaría asociado a ese nivel de referencia ($F_{IDP40\%}$). Las regulaciones también restringen el área y la temporada de pesca para reducir la captura incidental (Hicks *et al.* 2013).

Debido al incremento en las capturas en la última década en el Golfo de California, se han propuesto diferentes medidas de manejo. Ramírez-Rodríguez (2017), propone un manejo de cuotas por buques individuales, las cuotas potenciales por embarcación se estimaron sobre la base del flujo de efectivo de un arrastrero representativo y la estimación de la biomasa total de merluza del Pacífico, dando como resultado una captura promedio de 90.4 ó 100 toneladas métricas.

Con la publicación de la ficha de la Carta Nacional Pesquera en 2018, (DOF 2018), la merluza del Pacífico del Golfo de California dejó de estar bajo el amparo de los permisos de escama, para sustentar permisos exclusivos para su captura. En la última actualización de la ficha de la Carta Nacional Pesquera (DOF, 2022), se establecen las últimas medidas de control de manejo para la pesquería, como la Captura Biológicamente Aceptable (Cuota), las características de las unidades de pesca, las zonas de pesca (Golfo de California), tipo de acceso (Permiso de pesca), así como el estatus que hasta el 2020 guarda la pesquería (se encuentra en el Rendimiento Máximo Sostenible).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Golfo de California debido a sus características propias alberga una gran diversidad de recursos con importancia ecológica y económica, entre estos encontramos a la merluza del Pacífico, en la actualidad se ha definido que, a lo largo de toda el área de distribución de la merluza del Pacífico, existen diferentes stocks, con características poblacionales diferentes (tallas, edad, crecimiento), las cuales deben ser tomadas en cuenta para su evaluación.

En México, la merluza se había considerado como una especie con potencial pesquero, con niveles de aprovechamiento alrededor de las 5,000 toneladas (Mathews *et al.* 1974; Nevárez-Martínez *et al.* 2007); pero en la última década sus capturas mostraron un rápido crecimiento, de tal manera que se ha formalizado como una pesquería alcanzando un máximo en las capturas. Por lo anterior, este estudio está enfocado a evaluar la abundancia, distribución, estructura y estado actual del recurso, lo cual permita contribuir a una administración eficiente de su pesquería.

4. HIPÓTESIS

Los principales centros de abundancia de merluza del Pacífico *Merluccius productus* en el Golfo de California están determinados por el ambiente.

La merluza del Pacífico *Merluccius productus* en el Golfo de California presenta un crecimiento diferente a los stocks que se encuentran en la corriente de California.

La pesquería del stock de merluza del Pacífico *Merluccius productus* en el Golfo de California se encuentra explotado a un nivel biológicamente sostenible.

5. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la población de merluza del Pacífico, *Merluccius productus* en el Golfo de California, con el fin de generar elementos para su aprovechamiento sostenible.

5.1 Objetivos específicos

- Evaluar la relación de la distribución de la merluza del Pacífico con algunos parámetros ambientales en el Golfo de California.
- Determinar el tamaño del stock de la merluza del Pacífico en el Golfo de California.
- Determinar la estructura por edades de la merluza del Pacífico en el Golfo de California.
- Estimar puntos de referencia pesqueros para la población de la merluza del Pacífico en el Golfo de California.

6. ÁREA DE ESTUDIO

El Golfo de California es una cuenca de evaporación de aproximadamente 1,000 km de longitud y 150 km de anchura promedio; presenta un gradiente latitudinal natural que va desde condiciones templadas y áridas (en el norte) hasta tropicales y lluviosas (al sur). En general se puede dividir en dos grandes regiones: región norte, al norte de las islas Ángel de la Guarda y Tiburón; región sur, desde la boca hasta estas islas (Fig. 4. Álvarez-Borrego, 1983).

El patrón de circulación de sus aguas, está relacionado al sistema de vientos locales, las mareas, distribución de la densidad, además del intercambio de calor y agua con la atmosfera y el forzamiento con el Océano Pacífico (Lavín *et al.* 1997; Ripa 1997). En la superficie del Golfo de California se encuentran dos masas de agua, las cuales llegan hasta los 15 m de profundidad, la primera corresponde al Agua del Golfo de California, la cual se localiza en la región norte y se distingue por su alta salinidad, la segunda es el Agua Superficial Ecuatorial, la cual abarca desde la entrada del Golfo de California hasta la cuenca de Guaymas en verano y en invierno solo se encuentra en la boca del Golfo de California (Molina-Cruz 1986; Lavín *et al.* 1997). Entre los 150 y 500 m se encuentra el Agua Subsuperficial Subtropical (ASS), hasta la isoterma de los 9° C con una salinidad menor a los 35 UPS (Lavín *et al.* 1997), durante el otoño presenta la máxima intrusión en la parte norte del Golfo (Arias-Aréchiga, 1998). Después del ASS se encuentra entre los 500 y 1200 m de profundidad el Agua Intermedia del Pacífico, la cual constituye el 33% del volumen del Golfo de California con una temperatura entre 4 y 9 °C, el límite norte de esta masa de agua se localiza en la cuenca Tiburón. Finalmente, desde los 1200 m y hasta el fondo delimitado por la isoterma de 4 °C, se encuentra el Agua Profunda del Pacífico, la cual ocupa el 41% del volumen del GC, y presenta mayor estabilidad debido a que está aislada de la influencia meteorológica que afecta a las capas superficiales (Torres-Orozco 1993; Lavín *et al.* 1997).

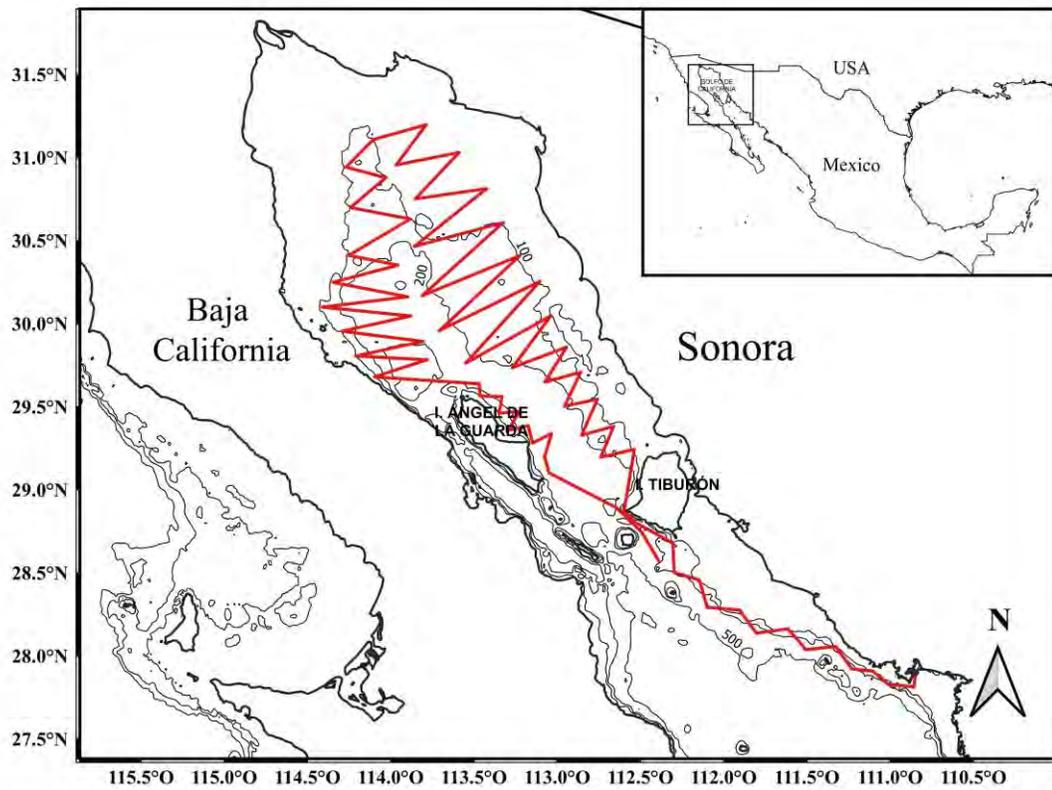


Figura 4. Área de estudio, en el Golfo de California. La línea roja señala el derrotero seguido por el buque BIP XI durante los cruceros de prospección.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos que se utilizaron en el presente trabajo fueron obtenidos de los cruceros de investigación científica realizados por el buque BIP XI del Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INAPESCA) el cual esta equipado con una red de arrastre demersal largada por popa de 33.8 m de relinga superior con luz de malla de 6" en el cuerpo y 3 ½" en el copo, puertas metálicas de arrastre de fondo y una ecosonda científica (EK60), durante los meses de febrero y abril 2014, abril y diciembre 2015, octubre-noviembre 2016, mayo 2017, abril 2018 y febrero 2019 con una duración promedio de 20 día. Siguiendo un derrotero previamente establecido, el cual comprende la región centro-norte del Golfo de California (Fig. 4) desde los 50 hasta los 500 m de profundidad. De cada crucero se estructuro una base de datos la cual contiene información de ubicación inicial y final de los lances de pesca, duración de lance, profundidad, captura total, captura merluza.

Una vez detectado el cardumen (energía) por la ecosonda, la embarcación viraba para realizar el lance de pesca por popa a una velocidad promedio de 3 nudos durante 30 minutos. La captura en cada arrastre fue colocada sobre la cubierta del barco, la cual se separó por especies para posteriormente pesar (kilogramos). La identificación de los diferentes grupos que conformaban la fauna de acompañamiento fueron identificados hasta el menor nivel taxonómico posible empleando los caracteres diagnósticos descritos en Fisher *et al.* (1995).

De las merluzas capturadas se tomó una muestra al azar hasta de 100 organismos a los cuales se les registró la longitud total (LT), y el peso total (PT) y se agruparon en intervalos de 2 cm, de cada intervalo se seleccionaba hasta 5 organismos a los cuales se les midió la LT, la longitud patrón (LP), PT y el peso eviscerado usando una balanza digital (Marca Ohaus, modelo

Adventurer-Pro) con precisión ± 0.1 g. Posteriormente fueron evisceradas por la parte ventral para identificar macroscópicamente el sexo y evaluar su condición reproductiva, mediante la escala de madurez morfo cromática y fueron pesadas. Así como se colectaron el par de otolitos sagita, los cuales fueron guardados en bolsas de plástico y etiquetados.

7.1 Estructura de talla y peso.

La estructura de tallas de la merluza del Pacífico se analizó por sexo, agrupando la LT en intervalos de 2 cm, y el PT en intervalos de 200 g. Se evaluó la normalidad de estos datos con una prueba Shapiro-Wilk, y las diferencias en tallas entre sexos se evaluaron con la prueba Kolmogorov-Smirnov.

7.2 Proporción sexual.

Se determinó la proporción sexual en los cruceros de investigación y por estrato de profundidad. Para definir si existe una diferencia entre la proporción teórica de una hembras por un macho (1:1) a través de una prueba de χ^2 con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

7.3 Distribución espacial y relación con el ambiente.

Con el fin de conocer la relación de la distribución espacial y temporal de la merluza del Pacífico en el Golfo de California, se utilizó la posición geográfica inicial de cada lance de pesca (latitud, longitud) realizado durante los cruceros de investigación pesquera en febrero y abril 2014, abril y diciembre 2015, diciembre 2016, abril 2018 y febrero 2019. Las representaciones gráficas se realizaron con el software QGIS 3.6.1.

7.3.1 Selección de variables ambientales.

Para analizar el patrón de distribución de la abundancia y las tallas de la merluza del Pacífico en el Golfo de California en relación con el ambiente, se consideró el criterio de Swartzman (1997) para la selección de las variables; como espacial se considero la posición geográfica inicial de cada lance de pesca (latitud, longitud), en las ambientales se consideraron la temperatura de fondo y salinidad, además de la profundidad, obtenidas a través de lances con el CTD al finalizar los lances de pesca, de manera adicional, en este trabajo se utilizó la temporalidad a través de la variable mes y año (Tabla I).

Tabla I. Variables potenciales como varibles predictoras

Variable	Unidades	Explicación
Latitud, Longitud	Grados sexagesimales en notación decimal	Posición geográfica inicial de los lances de pesca.
Mes	Días	Mes donde se realizó la prospección; evaluación de la estacionalidad de la abundancia.
Año	Meses	Año en que se realizo la prospección.
Temperatura de fondo	Grados Centígrados	Temperatura de fondo obtenida de cada lance de CTD.
Salinidad	Unidades prácticas de salinidad	Salinidad de fondo obtenida de cada lance de CTD.
Profundidad	Metros	Profundidad de fondo obtenida de cada lance de CTD.

7.3.2 Elaboración de los Modelos.

Para evaluar las características ambientales de las áreas de ocurrencia de merluza del Pacífico en el Golfo de California se construyeron modelos aditivos generalizados (MAG), los cuales son una extensión de los modelos lineales generalizados, pero los MAG representan una ventaja al modelar relaciones no lineales entre las variables de respuesta y las variables predictoras mediante el uso de funciones de suavizado de las covariantes (f_j), las cuales al poder tomar cualquier forma pueden proporcionar mayor información entre la relación de las variables de respuestas y las predictoras (Wood 2006; Kainge *et al.* 2017). La fórmula general de un MAG es la siguiente:

$$g(\mu_i) = \mu + \sum_{j=1}^P f_j(X_i) \quad (1)$$

Donde g = función monotónica de enlace, μ_i = valor ajustado, X_i = variable predictoras y f_i = función de suavizado con una distribución gaussiana, un link tipo *identity* y una base *thin plate*, la cual es apropiada cuando se utiliza base de datos no muy grandes (Zuur *et al.* 2009). Primero se utilizó como variable de respuesta la captura (Kg) de cada lance de pesca a la cual se le aplicó el logaritmo natural (LN) para estabilizar la razón media/varianza y como primera aproximación se utilizaron las variables ambientales (temperatura de fondo y salinidad), las variables espaciales (latitud, longitud y profundidad) y como variable temporal (año y mes) como predictoras. Se generó un segundo MAG, donde la variable de respuesta fue la talla promedio de los organismos capturados en cada lance de pesca y las variables predictoras fueron las mismas variables de la aproximación anterior.

7.3.3 Selección de mejor modelo.

La construcción de los MAGs se realizó de una manera paso a paso (*stepwise*), es decir, añadiendo una variable a la vez para evaluar el grado de

aporte de cada una de las covariables. Primero se agregaron las variables ambientales, seguida de las variables espaciales y posteriormente las temporales e interacción, se conservaron solo aquellas variables que redujeron el Criterio de Información de Akaike (AIC por sus siglas en Inglés) por lo menos dos unidades (Burnham y Anderson, 2002) y si la prueba del cociente de verosimilitud (likelihood ratio test) resultaba en un aporte significativo ($P < 0.05$). Debido a que, el utilizar variables que estén altamente correlacionadas entre sí puede resultar en errores en el proceso de modelación, se aplicó una prueba de concurvidad (*concurvity*) en cada paso de la construcción del modelo. La concurvidad puede interpretarse como una extensión no lineal de la multicolinealidad (Wood, 2006) que es cuando algunas de las variables predictoras incluidas en el modelo, esta relacionada con otra variable predictor, provocando un incremento en la varianza. Todo el proceso de modelación se efectuó utilizando las funciones de la librería *mgcv* (Wood, 2006) del ambiente R (R Core-Team, 2018).

7.4 Estimaciones de biomasa.

Las estimaciones de biomasa se realizaron por dos métodos: el primero a través del método de área barrida (Pierce y Guerra 1994; Hernández-Herrera *et al.* 1998; Nevárez-Martínez *et al.* 2000; Rivera-Parra 2001).

Las estimaciones de biomasa (Kg) se obtuvieron con la siguiente fórmula:

$$B_T = \sum_{i=1}^n \left[Y_i * \frac{A_i}{a_i} \right] \tag{2}$$

Con variancia:

$$s_i^2 = \sum_{i=1}^n \left[\frac{\sum_i^2 * n_i * s_i^2}{a_i^2} \right] \quad (3)$$

Con desviación estandar:

$$DE = \sqrt{s_i^2} \quad (4)$$

Donde para cada estrato i :

Y_i = Captura total.

A_i = Área total dada en kilometros al cuadrado.

a_i = Área barrida dada en kilometros al cuadrado.

s_i^2 = Variancia de la captura (Kg).

n_i = Número de lances de pesca.

Con la finalidad de incrementar la precisión en la estimación de biomasa, se aplicó el método de muestreo aleatorio estratificado (Schaeffer *et al.* 1987; Nevárez-Martínez *et al.* 2000), utilizando un criterio batimétrico. El número de estratos se definio utilizando la regla de Sturges (1926):

$$Nt = 1 + (3.3 * \log n) \quad (5)$$

Mientras que el tamaño del intervalo (TI) se estimó como sigue:

$$TI = \frac{pmax - pmin}{Nt} \quad (6)$$

Donde el tamaño del intervalo (T):

p_{max} = profundidad máxima por lance.

p_{min} = profundidad mínima por lance.

Nt = Número de estratos.

n = Número de estaciones.

Estimador de la media poblacional i -ésimo estrato:

$$\bar{y}_{st} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^L N_i \bar{y}_i \quad (7)$$

Con variancia \bar{y}_{st}

$$V(\bar{y}_{st}) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^L N_i^2 \left(\frac{N_i - n_i}{N_i} \right) \left(\frac{s_i^2}{n_i} \right) \quad (8)$$

Estimador del total de la abundancia poblacional:

$$N\bar{y}_{st} = \sum_{i=1}^L N_i \bar{y}_i \quad (9)$$

Variancia estimada $N\bar{y}_{st}$

$$V(N\bar{y}_{st}) = \sum_{i=1}^L N_i^2 \left(\frac{N_i - n_i}{N_i} \right) \left(\frac{s_i^2}{n_i} \right) \quad (10)$$

Limites del error de la estimación de la abundancia:

$$\sqrt{V(N\bar{y}_{st})} = \sqrt{\sum_{i=1}^L N^2 \left(\frac{N_i - n_i}{N_i}\right) \left(\frac{s_i^2}{n_i}\right)}$$

(11)

Donde:

N = Número total de unidades muestrales en la población.

N_i = Número de unidades muestrales en el estrato.

L = Número de estratos.

n_i = Números de unidades muestrales, muestreadas en cada estrato.

\bar{y}_{st} = Promedio por estrato para las i -ésimas observaciones de n_i .

s_i^2 = Varianza por estrato para las i -ésimas observaciones de n_i .

7.5 Determinación de la edad.

Para seleccionar la submuestra para la determinación de edad, se agruparon los muestreos biológicos por crucero, y para estimar el número óptimo de organismos por intervalo de talla (2 cm), se realizó un remuestreo con reemplazo aumentando el tamaño de muestra en función de la frecuencia absoluta de el intervalo, las diferencias entre los remuestreos se evaluarón con un análisis de varianza múltiple (Kruskal-Wallis) y cuando la prueba fue significativa, se definió ese tamaño de muestra como el número a seleccionar por intervalo de longitud (Salcido-Guevara *et al.* 2014).

Los otolitos seleccionados para la determinación de la edad se lavaron con agua dulce y jabón libre de fosfatos utilizando un cepillo de cerdas finas para no dañar los otolitos. El otolito izquierdo se utilizó para leer las marcas de crecimiento; si ese otolito se dañó o se perdió, se utilizó el otolito derecho. Los otolitos se embebieron en resina epoxi y se dejaron secar durante 24 h. Se tomarón secciones del sulcus-antisulcus del centro del núcleo de cada otolito utilizando un cortador ISOMET™ BuehlerMet de baja velocidad. Las secciones se pulieron con papel de lija (grano de 800 μm y grano de 1500 μm) hasta que las marcas de crecimiento quedaron claramente definidas. Para hacer más

evidentes las marcas de crecimiento, las secciones se tiñeron durante 20 min en una solución de 0,2 g de rojo neutro, 1 g de cloruro de sodio, 100 ml de agua destilada y 0,5 ml de ácido acético (Easey y Millner 2008). Finalmente, las secciones fueron fotografiadas utilizando un estereoscopio con un sistema digitalizador de video (OLYMPUS SZ61) con luz reflejada.

Las lecturas de las marcas de crecimiento en las secciones de otolitos fueron realizadas por tres lectores de forma independiente. De acuerdo a la técnica de tinción a la que fueron sometidos los cortes de otolitos, la banda opaca adquirió un color menos intenso que la banda hialina (Fig. 5). Asumimos una periodicidad anual de depósito de una marca de crecimiento (banda opaca más banda hialina) según Dark (1974).

Para estimar la precisión en la asignación de edad por los lectores se utilizó el error promedio porcentual (*APE* por sus siglas en inglés) (Beamish y Fournier, 1981) y el coeficiente de variación (*CV*) (Chang, 1982).

$$APE = 100 * \frac{1}{N} \sum_{j=1}^R \left[\frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij} - X_i)}{X_j} \right] \quad (12)$$

$$CV = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{\sqrt{\frac{1}{R} \sum_{j=1}^R \frac{(X_{ij} - X_j)^2}{R - 1}}}{X_j} * 100 \quad (13)$$

Dónde: N = tamaño de muestra, R = número de lectura por estructura, X_{ij} = i -ésima lectura de la j -ésima estructura, \bar{X}_j = promedio de número de marcas de crecimiento para la j -ésima estructura.

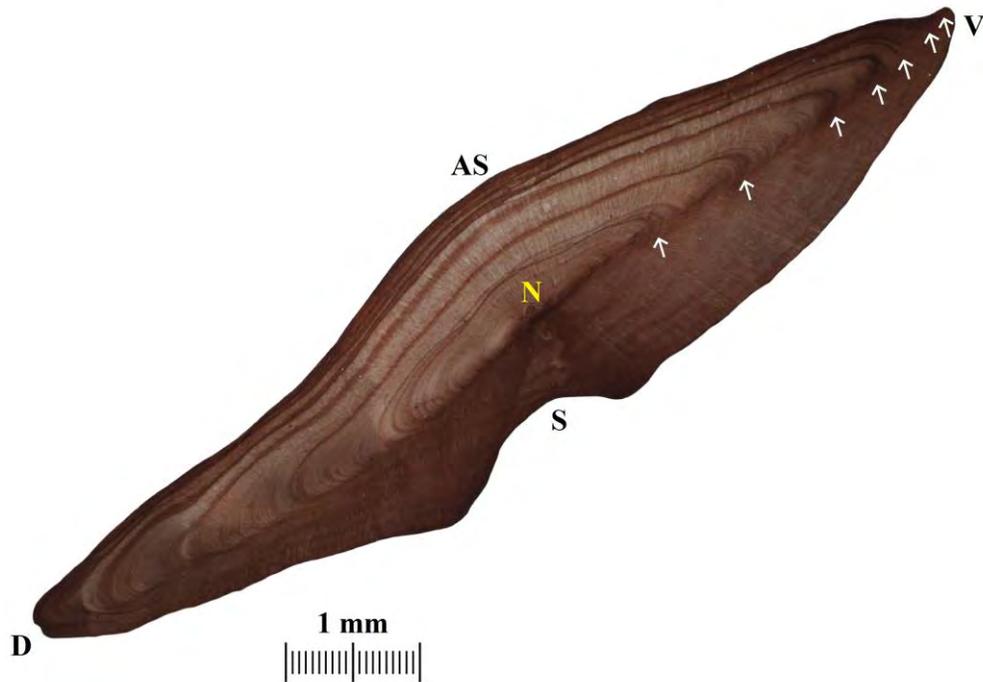


Figura 5. Corte transversal del otolito sagitta de merluza en el Golfo de California. N= Núcleo, D= Dorsal, V= Ventral, S= Sulcus, AS= Antisulcus. Hembra de 68 cm de LT

7.6 Evaluación del crecimiento.

Para la evaluación del crecimiento individual de *M. productus* se realizó un enfoque de inferencia multimodelo a partir de los datos de edad-talla observados, siguiendo la metodología de Burnham y Anderson (2002). Los modelos candidatos describen una curva que tiende a un valor asintótico (L_{∞} asintótica), este parámetro es el único con el mismo significado biológico en

todos los modelos (Tabla II). El Modelo de Crecimiento de von Bertalanffy (MCVB) presenta una forma exponencial inversa de curva, es de tipo asintótica y presenta tres parámetros en su ecuación; El Modelo de Gompertz es representado por una curva sigmoide, es de tipo asintótico y presenta tres parámetros en su ecuación; el modelo Logístico presenta una curva sigmoidea, de tipo asintótica con tres parámetros en su ecuación y el modelo de Schnute-Richards presenta una curva sigmoidea y tiene cinco parámetros en la ecuación. Los modelos de crecimiento se ajustaron maximizando la función de verosimilitud logarítmica normal con el algoritmo de Newton (Haddon 2001).

Tabla II. Modelos de crecimiento individual para la *Merluccius productus*.

Modelo de Crecimiento	Forma de curva	Número de Parámetros
von Bertalanffy (MCVB) $L(t) = L_{\infty}(1 - e^{-K(t-t_0)})$	Exponencial Inversa	3
Gompertz $L(t) = L_{\infty}e^{-e^{-K(t-t_0)}}$	Sigmoidea	3
Logístico $L(t) = L_{\infty}/1 + e^{-K(t-t_0)}$	Sigmoidea	3
Schnute-Richards $L(t) = L_{\infty} (1 + \delta e^{Kt\nu})^{1/\nu}$	Sigmoidea	5

$L(t)$ es longitud (en cm LT) a la edad t . L_{∞} es la longitud asintótica (cm LT), K es el coeficiente instantáneo de crecimiento (años^{-1}), t_0 en el MCVB y Schnute y Richards es la edad teorica a la que el organismo tiene una longitud iguala cero (años). t_0 en los modelos de Gompertz y Logistico significan el punto de inflexión de la curva de crecimiento, $L(t)$ es la edad a la talla $L(t)$.

7.6. 1 Selección del mejor modelo

Para la selección del mejor modelo se utilizó el criterio de información de Akaike (AIC), el cual señala que el modelo con menor valor AIC es el más adecuado para describir el crecimiento:

$$AIC = 2(k - LL) \tag{14}$$

Donde LL = valor de verosimilitud de cada uno de los modelos ajustados y k = número de parámetros en el modelo.

Para identificar el soporte estadístico de los modelos, se estimaron las diferencias de AIC ($\Delta_i = AIC - AIC_{\min}$) de acuerdo con Burnham y Anderson (2002), los modelos con $\Delta_i > 10$ no tienen soporte estadístico y deben ser omitidos del análisis, los modelos con $\Delta_i < 2$ tienen un aporte alto, y los modelos con $4 < \Delta_i < 7$ tienen soporte medio. La plausibilidad de cada modelo fue cuantificada con el peso de AIC (w_i), el cual es considerado el peso de la evidencia en favor del mejor modelo i del conjunto de modelos seleccionados, utilizando la ecuación propuesta por Burnham y Anderson (2002).

$$w_i = \frac{e(-0.5 \Delta_i)}{\sum_{i=1}^4 e(-0.5 \Delta_i)} \tag{15}$$

De acuerdo al criterio de inferencia multimodelo, cuando un modelo tiene un $w_i > 90\%$ se le puede considerar como el modelo ganador, si no, se puede calcular el valor promedio estimado para el único parámetro común entre los modelos, la longitud asintótica (L_∞), se obtuvo utilizando la L_∞ de cada modelo por el peso de AIC (w_i) Burnham y Anderson (2002):

$$L_\infty = \sum_{i=1}^4 w_i * L_{\infty i} \tag{16}$$

Donde L_∞ = Longitud asintótica promedio, $L_{\infty i}$ es longitud asintótica de cada modelo y w_i = peso del AIC de cada modelo.

7.6.2 Comparación del crecimiento individual.

Para conocer el patrón de crecimiento por sexo, también se aplicó el enfoque multimodelo y una vez obtenido el mejor modelo, se realizó la comparación entre hembras y machos, utilizando la prueba de verosimilitud de Kimura (1980).

$$x_k^2 - N * \ln\left(\frac{SRCa}{SRCb}\right) \quad (17)$$

Donde k = grados de libertad (número de parámetros), N = número total de observaciones de ambas curvas combinadas, SCR_a = suma total de residuos al cuadrado del modelo ajustado a cada conjunto de datos, SCR_b = suma total de residuos al cuadrado del modelo de los datos combinados.

7.6.3 Intervalos de Confianza.

La incertidumbre asociada con los parámetros estimados puede ser cuantificada a través de los intervalos de confianza alrededor del parámetro de interés (Haddon 2001). Los intervalos de confianza se estimaron con un $\alpha = 0.05$ a través del método de Bootstrap (Efron 1979) para el modelo que mejor se ajustó a los datos, esta metodología permite estimar los intervalos de confianza usando información de la población y realizando un remuestreo.

7.6.4 Mortalidad Natural

La tasa instantánea de mortalidad natural (M) se estimó a través de la ecuación empírica de Pauly (1980):

$$\ln M = -0.0152 - 0.279 * \ln(L\infty) + 0.6543 * \ln(K) + 0.463 * \ln(T) \quad (18)$$

Donde L_{∞} es la longitud asintótica, K es la tasa intrínseca de crecimiento y T es la temperatura en este ocasión se utilizó la temperatura a la que eclosionan los huevos de merluza.

7.7 Evaluación de la población de merluza.

Para evaluar el estado del stock de merluza del Golfo de California se utilizó la metodología de Captura Máximo Rendimiento Sostenible (CMRS) o (CMSY por sus siglas del inglés Catch-Maximum Sustainable Yield) propuesta por Froese *et al.* (2017) y representa una mejora a la metodología del Catch-MSY de Martell y Froese (2013).

El método de CMRS utiliza el modelo de biomasa de producción excedente de Schaefer (1954), para estimar la biomasa anual a partir de un par de parámetros de r (tasa intrínseca de crecimiento poblacional) y k (capacidad de carga).

La biomasa inicial:

$$B_0 = \lambda_{i1} K * \exp(\sigma(vt)) \quad (19)$$

Biomasa del año siguiente:

$$B_{t+1} = B_t + rB_t(1 - B_t/k) - C_t \quad (20)$$

Dónde: B_{t+1} es la biomasa en el año siguiente; B_t es la biomasa en el año; C_t es la captura en el año; r es la tasa intrínseca de crecimiento y k es la capacidad de carga de la población

Utilizando el enfoque Monte Carlo para detectar si un par de parámetros de r y k son viables, si la trayectoria de la biomasa calculada con el modelo de producción excedente (Schaefer 1954), es compatible con la captura, en el

sentido de que la biomasa calculada no se vuelva negativa y sea compatible con estimaciones a priori de rangos de biomasa relativa al inicio, el intermedio y final de la serie de tiempo de las capturas (Froese *et al.* 2017).

Se utilizó la serie de capturas de merluza en el Golfo de California de 2000 al 2021 obtenidas de la Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura (SIPESCA-CONAPESCA), así como información a priori de r para lo cual se siguió el criterio sugerido por FishBase (Media; Martell y Froese 2013; Froese y Pauly, 2022) y k para esto se utilizó la biomasa máxima determinada a través del método de área barrido en el presente trabajo. Como se incorporó un índice independiente de la pesquería, en este caso se utilizaron las estimaciones de biomasa, realizadas a través del método de área barrido en cruceros de investigación, durante 2005, 2014, 2019 y 2020 como abundancia del stock.

Tabla III. Rangos a priori para parámetros de r , basados en la clasificación de resiliencia (Froese y Pauly 2015).

Resiliencia	Rango a priori r
Alta	0.6 – 1.5
Media	0.2 – 0.8
Baja	0.05 – 0.5
Muy baja	0.015 – 0.1

Para el Agotamiento del recurso se utilizó los rango a priori de biomasa inicial medía, considerando que la pesquería estaba ligeramente explotada en el año donde inicia el análisis (2000), ver tabla IV.

Tabla IV. Rangos a priori de biomasa relativa sobre k (Froese *et al.* 2017).

Biomasa a priori	B/k
Baja	0.01 – 0.4
Media	0.2 – 0.6
Alta	0.5 – 0.9

Se realizaron 17,000 simulaciones Montecarlo, con valores de r y k considerados viables, para estimar la biomasa anual utilizando el modelo de producción excedente (Schaefer 1954). Una vez obtenidos las medias geométricas y los percentiles (2.5% y 97.5%) de la biomasa, el modelo CMSY estima Puntos de Referencia Biológicos con el Modelo de Producción Excedente de Schaefer-Bayesiano state-space (MSB) ó (BSM por sus siglas en inglés Bayesian state-space Schaefer surplus producción Model), ya que se utilizó un índice independiente de la pesquería (Biomasa). Siguiendo las ecuaciones propuestas por Schaefer (1954): Máximo Rendimiento Sostenible (MRS), Biomasa para el Máximo Rendimiento Sostenible (B_{MRS}), mortalidad por pesca para el Máximo Rendimiento Sostenible (F_{MRS}) y tasa de explotación para el Máximo Rendimiento Sostenible (E_{MRS}).

7.8 Análisis de Reducción de Stock (ARSS).

El análisis de reducción de stock (ARSS) fue propuesto por Kimura y Tagart (1982). Se obtiene a través de la ecuación de Baranov (Baranov 1965) relacionando el tamaño del stock, la mortalidad natural, mortalidad por pesca y captura de cada año. Adicionalmente los cambios en la biomasa inicial debido a la pesca anualmente son simulados resolviendo como una reducción la proporción de la $B_{final}/B_{inicial}$. La biomasa de cada año resulta de la biomasa del año anterior menos la mortalidad total (natural y por pesca) más la biomasa del reclutamiento (crecimiento y reclutamiento).

$$C_i = \frac{B_i F_i (1 - e^{-F_i - M})}{(F_i + M)} + R \quad (21)$$

$$B_i = B_i - 1e^{-F_i - M} + R \quad (22)$$

$$P = B_i/B1$$

(23)

Donde C_i , B_i y F_i son la estimación de captura, biomasa y mortalidad por pesca en el año i , M es mortalidad natural, R es reclutamiento y P es la proporción de reducción del stock virgen ($B1$) respecto a la biomasa en el año de pesca n .

Para este análisis se utilizó una serie de capturas desde el 2000 al 2021 obtenida a través de los avisos de Sistema de Información de Pesca y Acuicultura de la Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura (SIPESCA; CONAPESCA), como biomasa la determinada en 2020 de 47, 649 t (Arizmendi-Rodríguez *et al.* 2020), esta se utiliza como referencia, ya que el modelo de stock reclutamiento debe estimar una biomasa igual o muy cercana a la estimada para ese año. Para explorar la solución de captura y la reducción del stock, fue definida una biomasa virgen ($B1$) entre 70,000 a 90,000 t y una mortalidad natural determinada a través de la ecuación de Pauly (1980) de 0.36 y 0.47 la cual corresponde a hembras y machos respectivamente. Así como se evaluó la fuerza de la relación stock-reclutamiento de Cushing (r) con valores 0.00, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, cuando $r = 0$ el modelo reconoce un reclutamiento constante y una población altamente resiliente, cuando $r = 1$ el reclutamiento es proporcional a la biomasa y la población no tiene resiliencia (Kimura *et al.* 1984).

Se consideró a la población de merluza del Golfo de California en un estado virgen o sin explotación al inicio de la serie de las capturas. P y $B1$ son consistentes con el concepto de remplazo ya que se cruzan con la línea de reclutamiento esperado. Posteriormente M y estos valores de P y $B1$ son fijos y explorados para los valores de F_i y R , los cuales resuelven la ecuación de Baranov para cada año de la serie de captura. La solución aceptable es a

través de mínimos cuadrados (SSQ), es decir, el promedio de la suma del error de los mínimos cuadrados entre la captura observada y estimada debe de ser lo más cercano a 0.

7.9 Estatus del la población de merluza en el Golfo de California.

Se utilizo el diagrama de Kobe o de fases (Maunder y Aires da Silva 2011), utilizando el cociente entre la mortalidad por pesca (F) y la mortalidad por pesca para obtener el Rendimiento Máximo Sostenible (F_{RMS}) así cuando el cociente entre estos dos puntos de referencia es mayor que 1 se esta produciendo sobrepesca y cuando es menor que 1 se produce subpesca. En términos de biomasa (B) se utilizó el cociente entre la biomasa total (B) y la biomasa para alcanzar el Rendimiento Maximo Sostenible (B_{RMS}), cuando el cociente es mayor que 1 la población esta subexplotada y cuando es menor que 1 la población esta sobreexplotada. (Cochrane 2005)

Se realizó un análisis de riesgo a cinco años con el RMS obtenido a partir del modelo de C_{RMS} , se proyecto la posible trayectoria de la biomasa relativa (B/k) mostrando diferentes cuotas de captura.

8. RESULTADOS

8.1 Estructura de talla y peso.

De las 142 estaciones realizadas, 126 resultaron con una ocurrencia positiva de merluza del Pacífico (88.7%) y negativas 16 (11.3%). En total se capturaron 2,795 organismos, de los cuales 1,254 fueron machos (44.4%) y 1,396 hembras (49.9%), teniéndose 145 organismos indeterminados sexualmente (5.2%).

El intervalo de longitud total registrado fue desde una talla mínima de 12 cm en un macho, durante el crucero de octubre-noviembre del 2016, hasta una talla máxima de 105 cm en una hembra capturada en la prospección de febrero del 2019. En las hembras, la talla fluctuó entre 16 cm y 105 cm, con una longitud mínima en febrero del 2014, diciembre del 2015 y octubre–noviembre del 2016 respectivamente, la talla máxima se obtuvo en febrero del 2019 y la talla promedio fue de 44.6 cm, En los machos el intervalo fue de 12 cm a 79 cm, la mínima se encontró en diciembre del 2015 y la máxima en febrero del 2014, con una talla promedio de 34.8 cm de LT. Se encontró que en los cruceros de febrero 2014 y 2019, diciembre 2015 y octubre y noviembre del 2016, existió diferencia significativa ($KS= P<0.05$). El peso total varió de 9.8 g a 7,500 g, el dato menor correspondió a un macho capturado en diciembre del 2015 y el máximo a una hembra en febrero del 2014. El peso total en las hembras varió de 21 g hasta 7,500 g y en los machos de 9.8 g hasta 4,200 g, los organismos de mayor peso tanto para hembras como para machos se observaron durante el mes de febrero del 2014 y 2019 respectivamente. De manera general, se observó que los machos alcanzan longitudes y pesos menores a diferencia de las hembras (Fig. 6, Tabla V).

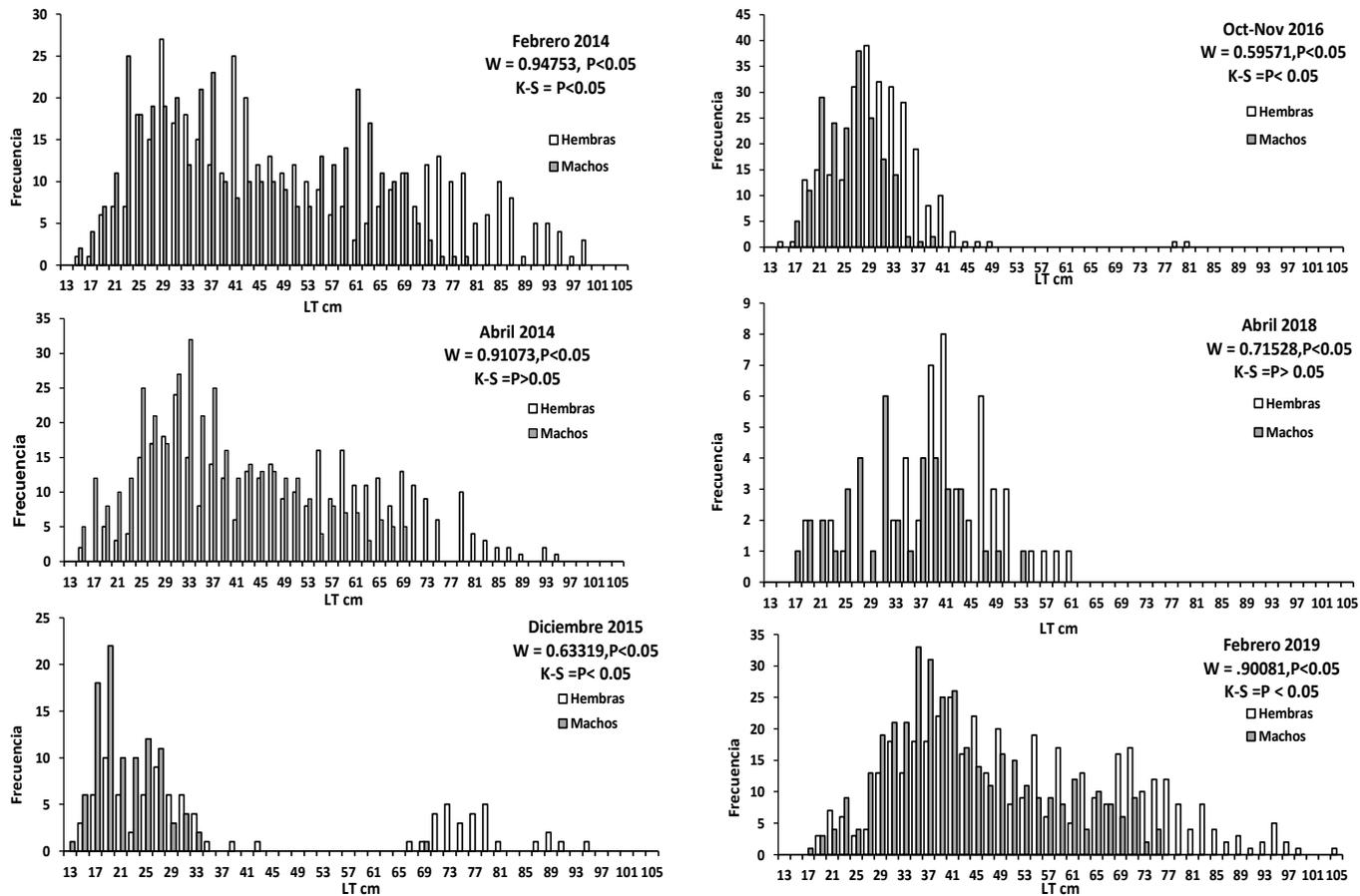


Figura 6. Distribución de las estructuras de tallas por sexos durante los cruceros de 2014 al 2019 de merluza en el Golfo de California

Tabla V. Mínimos, promedio y máximos de las tallas y pesos de la merluza del Pacífico durante los cruceros del 2014, 2015, 2016, 2018 y 2019.

	Febrero 2014				Abr-May 2014				Diciembre 2015			
	Machos		Hembras		Machos		Hembras		Machos		Hembras	
	LT cm	PT g	LT cm	PT	LT cm	PT g	LT cm	PT g	LT cm	PT g	LT cm	PT g
Min	16.1	24.0	16.0	23.0	16.4	25.0	16.5	25.0	12.5	9.8	16.0	21.1
Prom	45.0	841.9	50.9	1,379.3	39.8	501.8	49.9	789.4	22.2	81.2	42.0	996.8
Max	85.5	4,200.0	99.5	7,500.0	73.0	1,920.0	93.2	5,100.0	68.1	1,878.5	96.0	5,446.3
	Oct-Nov 2016				Abril 2018				Febrero 2019			
	Machos		Hembras		Machos		Hembras		Machos		Hembras	
	LT cm	PT g	LT cm	PT g	LT cm	PT g	LT cm	PT g	LT cm	PT g	LT cm	PT g
Min	17.1	25.8	16.0	21.2	23.0	75.0	23.1	75.0	17.8	29.3	18.3	32.0
Prom	26.1	106.3	30.4	173.8	32.6	253.3	41.7	516.6	43.1	614.3	52.5	1,219.0
Max	41.4	402.1	48.4	653.4	47.0	750.0	59.1	1,400.0	75.5	2,586.4	105.0	7,190.4

8.2 Proporción Sexual.

La proporción sexual de la merluza del Pacífico en cada una de las estaciones realizadas en el Golfo de California oscilaron entre 0.88 H:1M a 1.38 H:1M, siendo en la muestra total las hembras más abundantes que los machos (1.11 H/M; $\chi^2 = 7.61$; $P > 0.05$). Solo en el crucero realizado en octubre del 2016 se observó una proporción mayor de hembras respecto a los machos (1.37 H/M; $\chi^2 = 10.84$; $P < 0.05$; Tabla VI).

Por estrato de profundidad la proporción sexual osciló entre 0.93 H:1M a 3.00 H:1M, siendo las hembras más abundantes entre los 100 a 200 m, en los demás estratos la proporción de sexos no fue significativa y solo en el estrato de los 450 a 500 m de profundidad los machos fueron ligeramente superior a las hembras, pero no significativamente (Tabla VII). Con respecto a la proporción sexual por intervalos de tallas, se observó que en los intervalos de talla de los 12 cm hasta 28 cm LT, los machos fueron predominantes y en algunos intervalos esta diferencia fue significativa (17 cm, 23 cm y 27 cm de LT, $P < 0.05$), de los 29 cm a los 41 cm de no existió diferencia significativas entre hembras y machos ($P > 0.05$) y los organismos mayores a los 73 cm de LT las hembras fueron las que predominaron ($P < 0.05$; Tabla VIII).

Tabla VI. Proporción sexual durante los cruceros de merluza del Pacífico en el Golfo de California.

Crucero	Hembras	Machos	Total	Proporción (H/M)	χ^2	Probabilidad (P)
Febrero 2014	416	372	788	1.12	2.46	0.12
Abril-Mayo 2014	162	184	346	0.88	1.40	0.24
Diciembre 2015	90	100	190	0.90	0.53	0.47
Oct- Nov 2016	261	191	452	1.37	10.84	0.00*
Abril 2018	44	32	76	1.38	1.89	0.17
Febrero 2019	423	375	798	1.13	2.89	0.09
Total	1396	1254	2650	1.11	7.61	0.01*

*Diferencia significativa $P < 0.05$

Tabla VII. Proporción sexual por estrato durante los cruceros de merluza del Pacífico en el Golfo de California.

Profundidad	Hembras	Machos	Total	Proporción (H/M)	χ^2	Probabilidad (P)
50-100	3	1	4	3.00	1.00	0.32
101-150	59	38	97	1.55	4.55	0.03*
151-200	399	298	697	1.34	14.64	0.00*
201-250	477	511	988	0.93	1.17	0.28
251-300	314	269	583	1.17	3.47	0.06
301-350	86	78	164	1.10	0.39	0.53
351-400	40	36	76	1.11	0.21	0.65
401-450	0	0	0	0.00	0.00	1.00
451-500	18	23	41	0.78	0.61	0.43
Total	1396	1254	2650	1.11	7.61	0.01*

*Diferencia significativa $P < 0.05$

Tabla VIII. Proporción sexual por intervalo de talla durante los cruceros de merluza del Pacífico en el Golfo de California.

Clase	Hembras	Machos	Total	Proporción (H/M)	χ^2	Probabilidad (P)
13	0	1	1	0.00	1.00	0.32
15	0	3	3	0.00	3.00	0.08
17	10	24	34	0.42	5.76	0.02*
19	33	44	77	0.75	1.57	0.21
21	37	56	93	0.66	3.88	0.05
23	31	54	85	0.57	6.22	0.01*
25	45	65	110	0.69	3.64	0.06
27	63	104	167	0.61	10.07	0.00*
29	89	80	169	1.11	0.48	0.49
31	83	78	161	1.06	0.16	0.69
33	78	70	148	1.11	0.43	0.51
35	68	71	139	0.96	0.06	0.80
37	61	71	132	0.86	0.76	0.38
39	45	61	106	0.74	2.42	0.12
41	68	53	121	1.28	1.86	0.17
43	59	36	95	1.64	5.57	0.02*
45	43	31	74	1.39	1.95	0.16
47	40	29	69	1.38	1.75	0.19
49	43	33	76	1.30	1.32	0.25
51	30	27	57	1.11	0.16	0.69
53	27	25	52	1.08	0.08	0.78
55	34	25	59	1.36	1.37	0.24
57	20	23	43	0.87	0.21	0.65
59	32	23	55	1.39	1.47	0.22
61	18	34	52	0.53	4.92	0.03*
63	19	21	40	0.90	0.10	0.75
65	19	29	48	0.66	2.08	0.15
67	26	22	48	1.18	0.33	0.56
69	31	18	49	1.72	3.45	0.06
71	34	23	57	1.48	2.12	0.15
73	31	9	40	3.44	12.10	0.00*
75	31	7	38	4.43	15.16	0.00*
77	29	2	31	14.50	23.52	0.00*
79	26	0	26	0.00	26.00	0.00*
81	12	0	12	0.00	12.00	0.00*

*Diferencia significativa $P < 0.05$

Tabla VIII. Continuación

Clase	Hembras	Machos	Total	Proporción (H/M)	χ^2	Probabilidad (P)
83	15	1	16	15.00	12.25	0.00*
85	13	1	14	13.00	10.29	0.00*
87	12	0	12	0.00	12.00	0.00*
89	6	0	6	0.00	6.00	0.01*
91	8	0	8	0.00	8.00	0.00*
93	9	0	9	0.00	9.00	0.00*
95	8	0	8	0.00	8.00	0.00*
97	5	0	5	0.00	5.00	0.03*
99	4	0	4	0.00	4.00	0.05
101	0	0	0	0.00	0.00	1.00
103	0	0	0	0.00	0.00	1.00
105	1	0	1	0.00	1.00	0.35
Total	1396	1254	2650	1.11	7.61	0.01*

*Diferencia significativa $P < 0.05$

8.3 Distribución espacial de la merluza y la relación ambiental.

Las estaciones con mayores capturas se registraron cerca a la costa de la península de Baja California, al norte de Isla Ángel de la Guarda y al norte de Isla Tiburón, principalmente durante los cruceros realizados en febrero (2014 y 2019), estaciones donde se encontraron los organismos de menor (< 25 cm de LT) y mayor (>50 cm de LT) talla promedio. En cambio en las estaciones con menores capturas se localizaron cerca a la costa de Sonora, donde las tallas promedio de las merluzas del Pacífico que predominaron fluctuaron de 25 cm a 50 cm de LT (Fig. 7 a, f).

Durante los cruceros realizados en abril-mayo del 2014 (Fig. 7b) y octubre del 2016 (Fig. 7d) se puede apreciar que la distribución es más amplia y homogénea en el centro y norte del Golfo de California. La cobertura realizada durante los cruceros realizados en diciembre del 2015 y abril 2018 (Fig. 7c, e) no permitieron visualizar un patrón de distribución durante estas campañas.

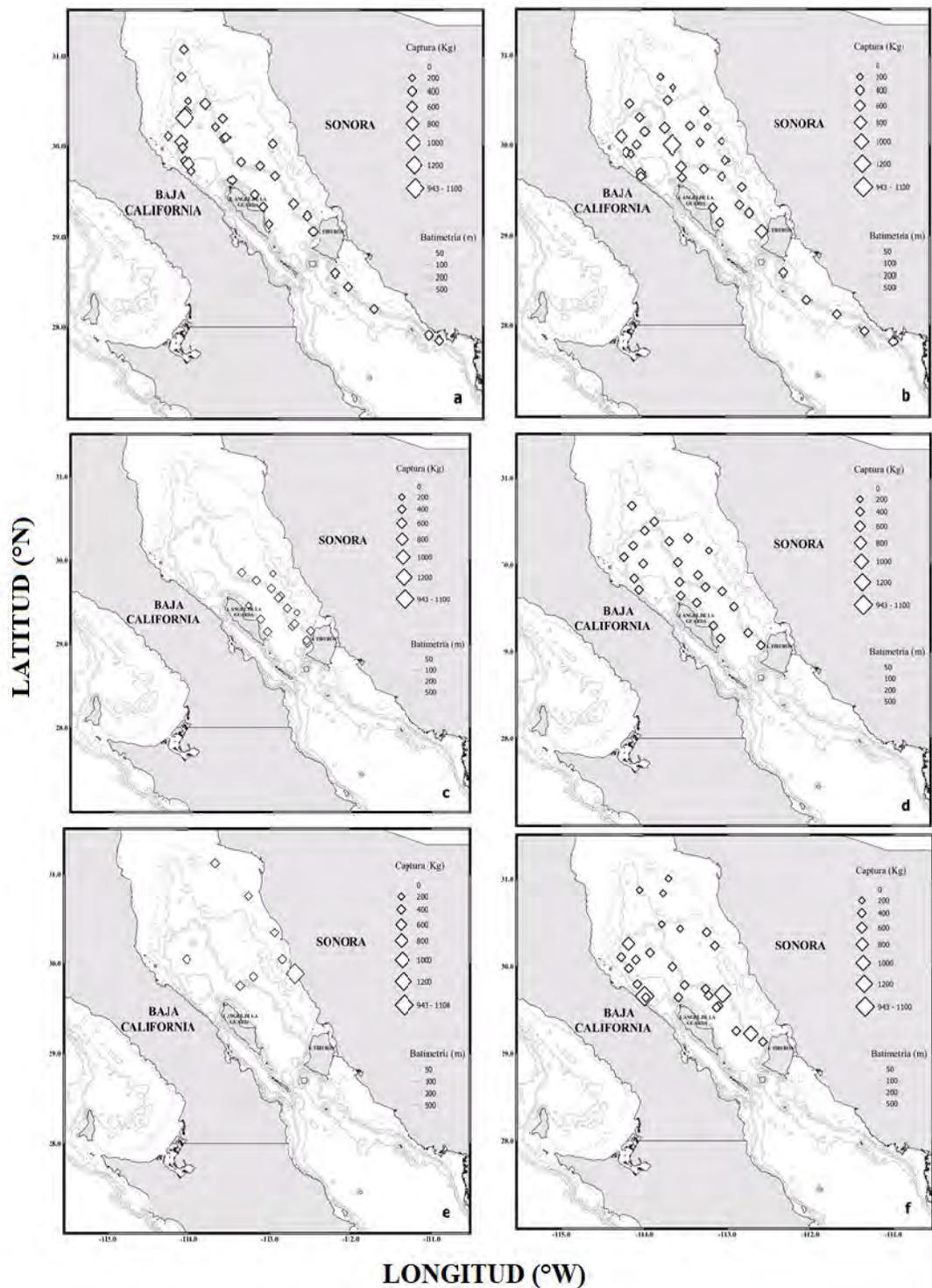


Figura 7. Distribución de las capturas (Kg) de los cruceros de investigación realizados en el Golfo de California durante, a) febrero del 2014, b) abril-mayo del 2014, c) diciembre del 2015, d) octubre del 2016, e) abril del 2018 y f) febrero del 2019.

8.3.1 Modelación Estadística.

Las covariables utilizadas en el modelo aditivo generalizado (MAG) presentarán una concurvidad baja (<0.3), es decir, poca colinealidad entre las variables utilizadas. El modelo aditivo generalizado describe el 39.3% de la variabilidad total, es decir devianza explicada la cual es proporción de la devianza nula explicada por el modelo y esta ultima es una medida de bondad de ajuste en los modelos lineales (Fig. 8, Tabla IX). La temperatura de fondo (rango óptimo de 13°-14°C) fue la variable ambiental más importante para la abundancia de la merluza del Pacífico, describiendo el 20.6% de la variabilidad total, seguida de la variable temporal (Mes=febrero) que describe el 18.8% y el 11.5% de la variabilidad se atribuye a la variable espacial (Longitud=13°-14°W).

El modelo de la distribución de tallas promedios de merluza mostró que ninguna variable por si sola describe significativamente dicha relación, pero si observó la interacción de la Temperatura-Mes, explican el 51.1% de la variación y la interacción Longitud-Profundidad explica el 21.5% de la variación (Fig. 9, Tabla IX).

Tabla IX. Modelos aditivos generalizados para la merluza del Pacífico en el Golfo de California. Temperatura = temperatura del fondo del mar, AIC = Criterio de Información de Akaike

Modelo de Abundancia sin interacción	Deviance explicada (%)	AIC	$P(X^2)$
+s(Temperatura)	20.6	402.2	<0.01
+s(Salinidad)	2.98	416.8	0.08
+s(Latitud)	9.57	413.2	0.06
+s(Longitud)	11.5	408.2	<0.01
+s(Profundidad)	7.39	414.6	0.1
+s(Mes)	18.8	404.2	<0.01
+s(Año)	0.21	419.69	0.64
Modelo de Abundancia con interacciones	Deviance explicada (%)	AIC	$P(X^2)$
+s(Temperatura)	20.6	402.2	<0.01
+s(Mes)	18.8	404.2	<0.01
+s(Longitud)	11.5	408.2	<0.01
+te(Longitud, Mes)	32.5	387.9	<0.01
Total	39.3		
Modelo de talla sin interacciones	Deviance explicada (%)	AIC	$P(X^2)$
+s(Temperatura)	0.113	869.21	0.73
+s(Salinidad)	4.63	864.26	0.02
+s(Latitud)	3.39	865.64	0.05
+s(Longitud)	1.66	867.54	0.18
+s(Profundidad)	3.53	865.49	0.05
+s(Mes)	34.9	823.46	<0.01
+s(Año)	0.35	868.47	0.80

Tabla IX. Continuación

Modelo de talla con interacciones	Deviance explicada (%)	AIC	$P(X^2)$
+ te (Longitud, Profundidad)	21.5	863.8	<0.01
+ te (Temperatura, Mes)	51.1	814.7	<0.01
Total	61.7		

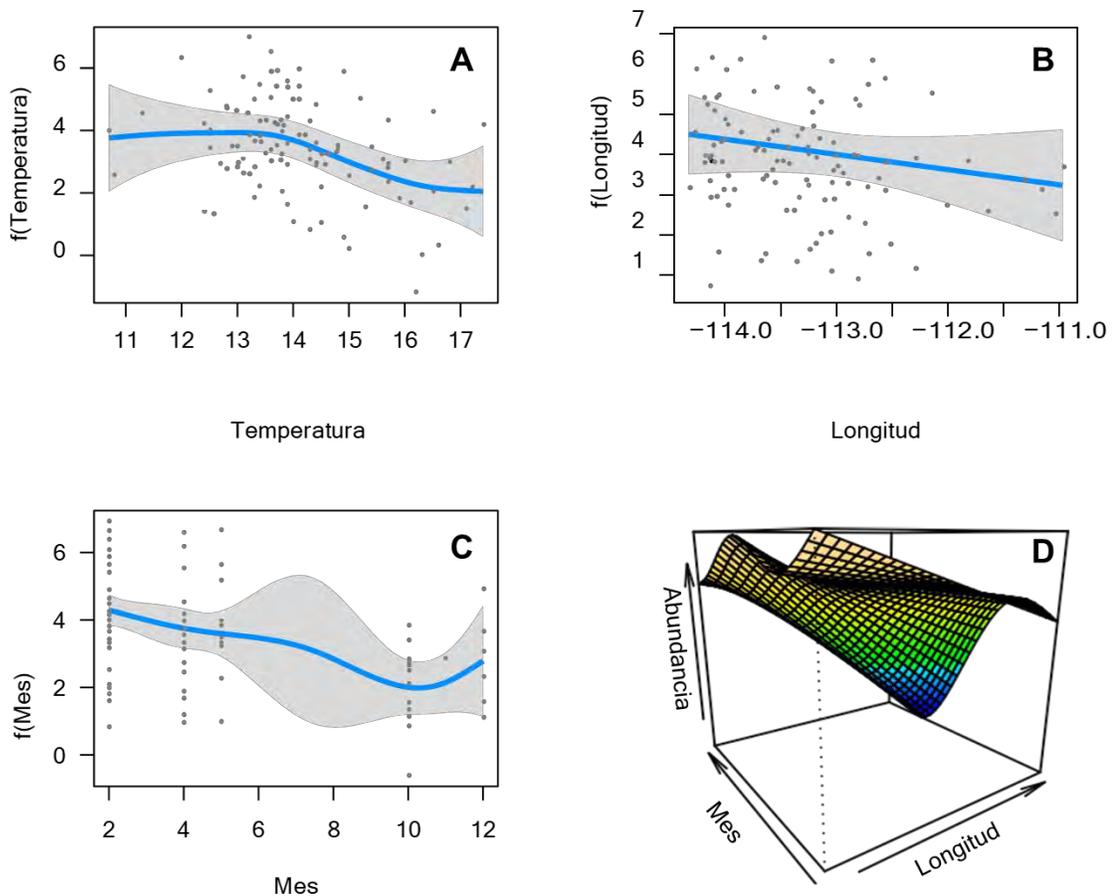


Figura 8. Graficas de respuesta del MAG, mostrando el efecto de las funciones significativas para describir la distribución espacial, ambiental y temporal de la merluza del Pacífico en el Golfo de California; Temperatura (A), Longitud (B), Mes (C) e interacción Mes/Longitud (D). El eje Y representa cual es el efecto de la covariante con respecto a la abundancia. El área gris representa los intervalos de confianza al 95%.

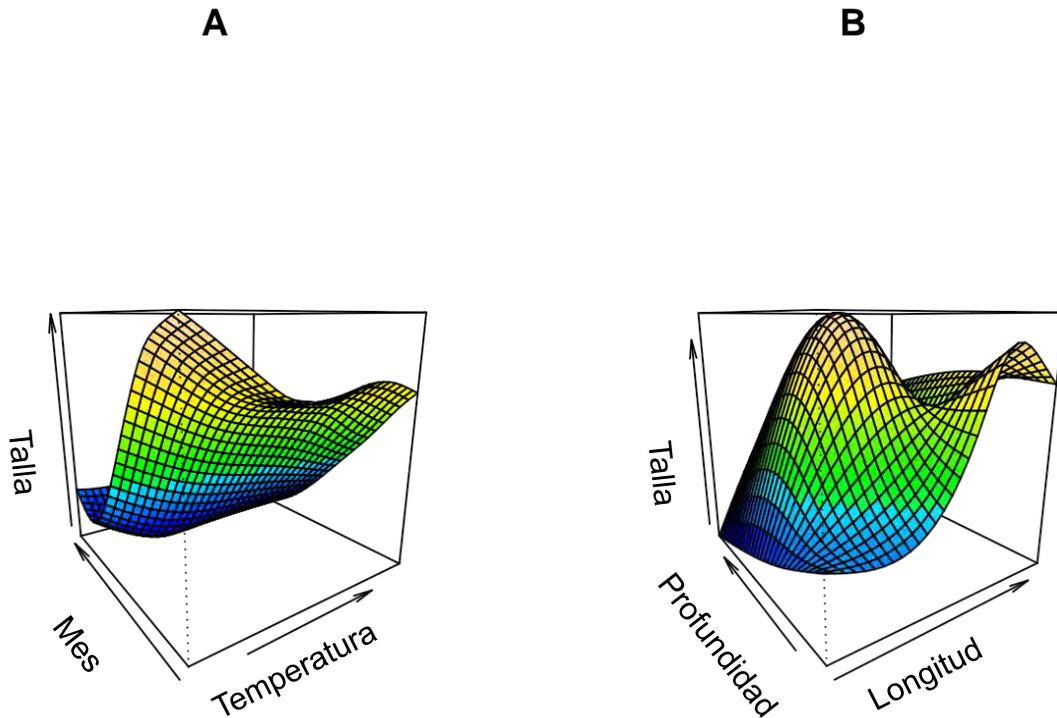


Figura 9. Figuras de efecto parcial del Mes/Temperatura (a) y Profundidad/Longitud (b) en el MAG que utilizó las tallas promedio de merluza del Pacífico en el Golfo de California.

8.4 Estimación de biomasa.

El coeficiente de variación (CV) para la biomasa obtenida con los métodos de área barrida y estratificado fue menor para el crucero realizado en abril 2014 (CV =2.5) y el mayor en febrero del 2014 (CV=7.2). La menor biomasa fue calculada para el crucero de abril-mayo ($40,019.65 \pm 139.05$ t) y la mayor fue estimada para febrero 2019 ($68,260.37 \pm 547.38$ t) (Tabla X).

Al realizar la estimación de biomasa por estrato de profundidad, las mayores biomasa se registraron entre los 200 y 300 m de profundidad, en estos estratos la presencia de organismos de tallas grandes es mayor a excepción del crucero octubre–noviembre del 2016 donde la mayor biomasa se encontró

a profundidades entre los 350 a 400 m (Tabla XI). Los cruceros de diciembre del 2015 y abril del 2018 no fueron considerados, ya que el área prospectada fue menor al 50%.

Tabla X. Estimaciones de biomasa por crucero de la merluza del Pacífico en el Golfo de California. DE = Desviación estándar y CV = Coeficiente de variación.

Año	Cruceros	Área barrida (t)	DE	Estratificado (t)	DE	CV
2014	Febrero	47,642.60	1,448.00	48,131.11	1,080.60	7.20
2014	Abril-Mayo	41,431.99	1,393.00	40,019.65	139.05	2.50
2016	Octubre	6,887.40	127.30	6,917.80	50.60	3.10
2019	Febrero	64,823.80	1,287.00	68,260.37	547.38	3.65

Tabla XI. Estimaciones de biomasa por estrato de profundidad de la merluza del Pacífico en el Golfo de California. DE = desviación estándar

Año	Crucero	Estrato profundidad	Biomasa (t)	DE
2014	Febrero	I (50-100 m)	33.28	4.08
		II (100-150 m)	50.29	21.44
		III(150-200 m)	18,336.85	560.17
		IV (200-250 m)	2,726.89	35.88
		V (250-300 m)	26,983.80	450.01
		VI (300-350)	0.00	0.00
		VII (>350 m)	0.00	0.00
		Total	48,131.11	1,080.60
2014	Abril-Mayo	I (50-100 m)	166.40	28.04
		II (100-150 m)	1444.68	108.48
		III(150-200 m)	6,120.78	1.08
		IV (200-250 m)	23,999.11	0.99
		V (250-300 m)	8,154.91	0.33
		VI (300-350)	133.77	0.18
		VII (>350 m)	0.00	0.00
		Total	40,019.65	139.05
2016	Octubre	I (50-100 m)	0.00	0.00
		II (100-150 m)	4.70	2.70
		III(150-200 m)	1,494.90	23.80
		IV (200-250 m)	1,591.20	13.60
		V (250-300 m)	1,312.50	5.90
		VI (300-350)	812.10	1.80
		VII (>350 m)	1,702.50	2.90
		Total	6,917.80	50.60
2019	Febrero	I (50-100 m)	0.00	0.00
		II (100-150 m)	215.1	51.13
		III(150-200 m)	1,729.7	1.58
		IV (200-250 m)	43,294.5	375.03
		V (250-300 m)	14,845.9	86.16
		VI (300-350)	6,453.8	24.16
		VII (>350 m)	1,721.4	3.78
		Total	68,260.37	541.84

8.5 Estructura de edad.

La submuestra de edad se integró seleccionando hasta 15 organismos por cada intervalo de longitud (2 cm) (KW = 28.07, P>0.05). La frecuencia absoluta en los intervalos de talla <16 cm y >78 cm LT fue menor a 15, todos los otolitos fueron incorporados a la submuestra de edad. Del total de organismos muestreados (2,795) se seleccionaron 463 para asignar edades (60% hembras y 40% machos).

Se observó una alta precisión entre lectores para el número de marcas de crecimiento en las secciones de otolitos (APE = 1.7 y CV = 2.4). Se identificaron hasta 13 grupos de edad para la merluza del Pacífico que habita en el Golfo de California. Las hembras viven más que los machos, 13 y 9 años, respectivamente. El grupo de edad de cinco años fue el más abundante en hembras y el grupo de cuatro años de edad en machos (Fig. 10).

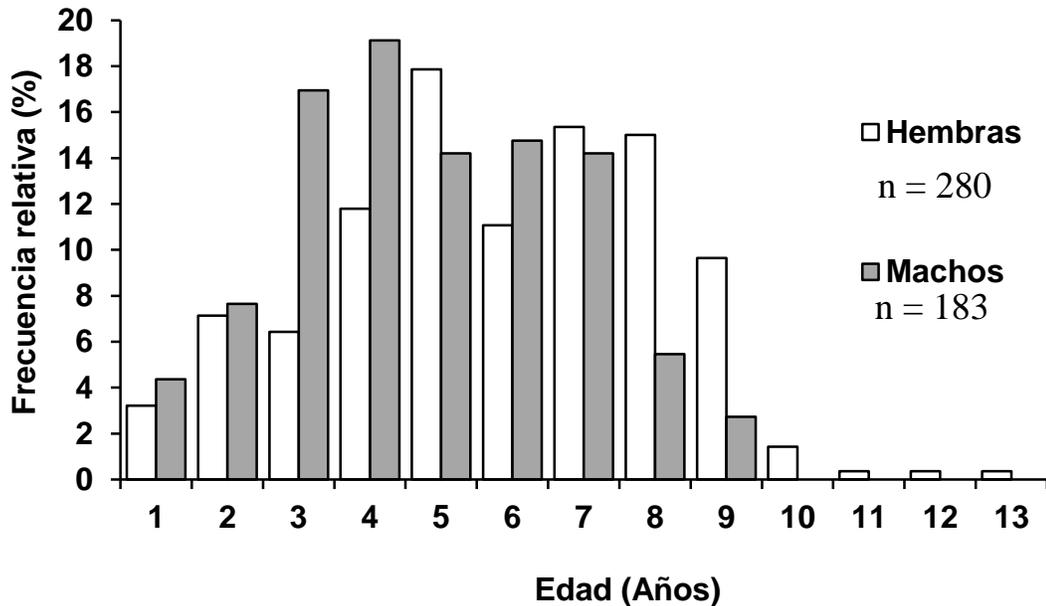


Figura 10. Estructura de edad de la merluza del Pacífico en el Golfo de California.

En la tabla XII se muestran la asignación de los diferentes grupos de talla a la edad asignados a través de las lecturas de las marcas de crecimiento de las fotografías de los cortes de los otolitos de merluza. Los grupos de edad 1, 11, 12 y 13 tuvieron menor presencia en la muestra.

Tabla XII. Tallas relativas a la edad de la merluza del Pacífico *Merluccius productus* en el Golfo de California.

LT cm	Edad (años)													Total	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
12-14	1														1
14-16	10														10
16-18	5	4													9
18-20	1	5	1												7
20-22		7	3												10
22-24		6	5												11
24-26		6	6	2											14
26-28		6	5	2											13
28-30			5	4	1										10
30-32			1	8	2										11
32-34			5	4	3										12
34-36			5	4	6										15
36-38			4	3	6										13
38-40			4	3	3										10
40-42			1	7	3	1									12
42-44			1	8	5	4									18
44-46			1	4	4	2									11
46-48			1	4	6										11
48-50			1	5	3	2									11
50-52				5	9	6	1								21
52-54				3	5	6	1								15
54-56				1	8	4	3								16
56-58					8	1	5								14
58-60					3	3	3	1							10
60-62						7	5	1							13
62-64						5	6	1							12
64-66						5	2	1							8
66-68						3	4	2	1						10
68-70						4	6	3							13

Tabla XII. Cotinuación.

LT cm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total
70-72						1	4	4	2					11
72-74							6	2	2					10
74-76						3	5	5						13
76-78						1	5	4	4					14
78-80							6	5	3					14
80-82							2	6	1					9
82-84								6	6					12
84-86							1	4	1					6
86-88							4	4	1					9
88-90								2	3					5
90-92									2	1				3
92-94								2	3					5
94-96									2	1				3
96-98								1	1		1			3
98-100									1	2			1	4
100-102														0
102-104														0
104-106												1		1
Total	17	34	49	67	75	58	69	54	33	4	1	1	1	463

8. 5. 1 Evaluación del crecimiento individual.

Todos los modelos candidatos (von Bertalanffy, Gompertz, Logístico y Schnute-Richards) presentaron curvas teóricas similares para describir la tendencia de los datos de talla a la edad en la merluza del Pacífico (Fig. 11). Los parámetros de los modelos tienen diferente significado excepto L_{∞} . Este parámetro varió de 112.85 a 214.15 cm de LT en hembras y de 80.59 a 118.63 cm de LT en machos (Tabla XIII).

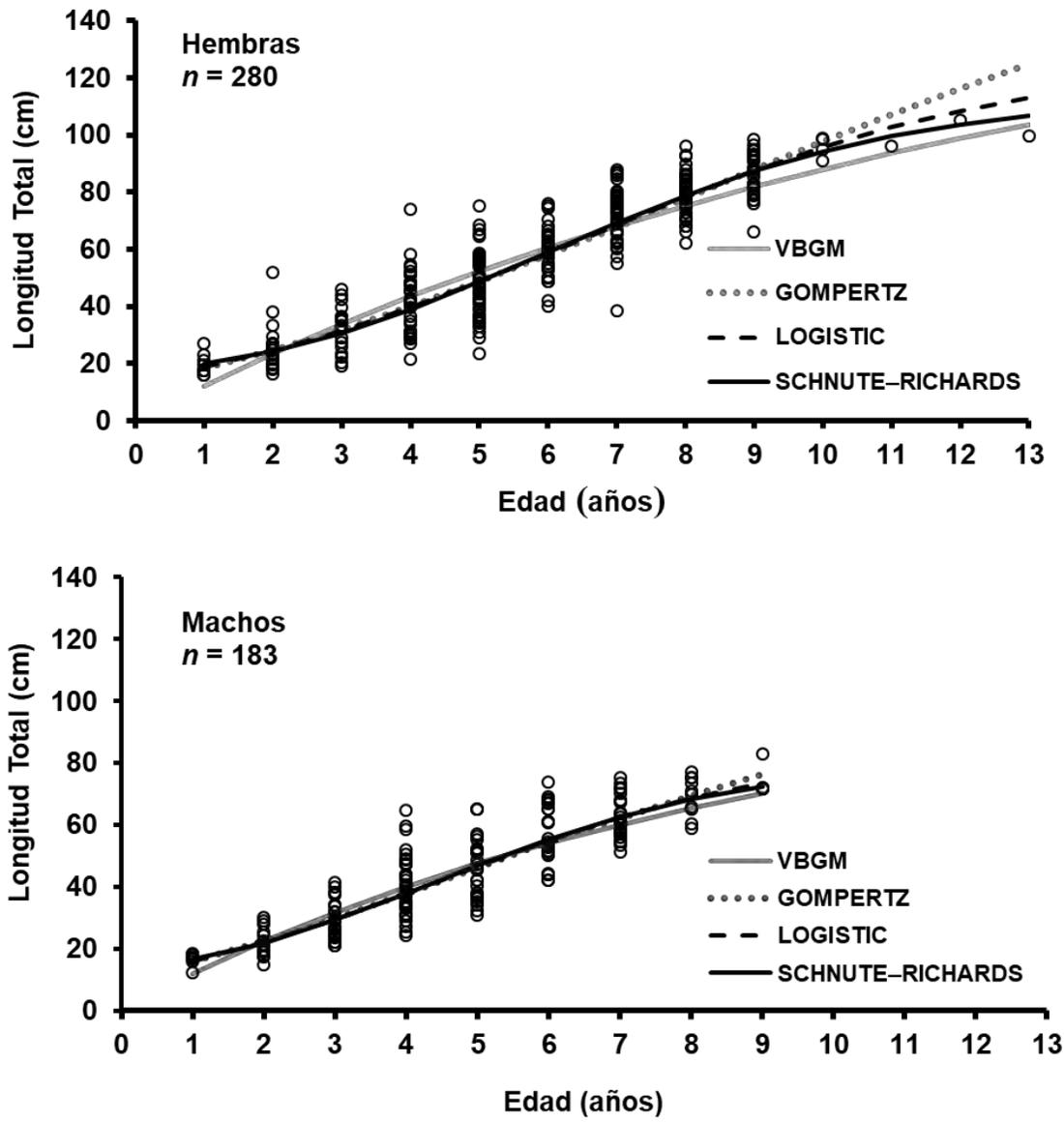


Figura 11 Curvas de crecimiento individual de la merluza del Pacífico en el Golfo de California.

Tabla XIII. Parámetros de los modelos de crecimiento de la merluza del Pacífico en el Golfo de California.

	K(año ⁻¹)	L _∞ (cm)	t ₀	AIC	Δ AIC	W _i (%)
Hembras						
MCVB*	0.08	163.72	0.00	-43.38	71.25	2E-16
Gompertz	0.13	214.15	8.10	-111.06	3.57	12.43
Logístico	0.32	127.57	6.53	-114.63	0.00	74.00
Schnute-Richard	0.06	112.85	0.00	-111.23	3.39	13.54
Modelo promedio		136.33				
Machos						
MCVB*	0.11	108.89	0.00	-51.54	33.48	0.00
Gompertz	0.19	118.63	4.69	-83.66	1.36	30.48
Logístico	0.41	85.40	4.55	-85.02	0.00	60.03
Schnute-Richard	0.11	80.59	0.00	-81.33	3.69	9.49
Modelo promedio		95.07				

*MCVB = Modelo de crecimiento de von-Bertalanffy

8.5.2 Selección del mejor modelo.

Las diferencias de AIC identificaron tres de los cuatro modelos candidatos con suficiente apoyo estadístico ($\Delta < 4$) para describir el crecimiento somático de la merluza del Pacífico en el Golfo de California (Tabla 4). Sin embargo, ninguno tiene un $W_i > 95\%$ para ser un modelo ganador (Burnham y Anderson 2002). El mejor modelo para hembras y machos fue Logístico con $W_i = 74.00\%$ y $W_i = 60.03\%$, respectivamente.

8.5.3 Comparación del crecimiento individual.

Las diferencias de crecimiento (Modelo logístico) entre sexos fueron significativas ($X^2 = 38.16$ $P < 0.05$). Las estimaciones de longitud asintótica para hembras y machos (127.57 cm LT, 85.40 cm de LT, Tabla 5) no fueron

significativamente diferentes ($\chi^2 = 1.44$ $P > 0.05$; $\chi^2 = 0.8$ $P > 0.05$, respectivamente) de la longitud máxima registrada en los muestreos (105 cm en hembras y 83 cm en machos). Según el enfoque multimodelo, la longitud asintótica media para las hembras fue de 136.33 cm de LT y de 95.07 cm de LT para los machos.

8.5.4 Intervalos de Confianza.

Los intervalos de confianza de los parámetros del modelo Logístico se muestran en la Tabla XIV. A partir del enfoque multimodelo se estimó el promedio de la longitud asintótica (L_∞) usando los valores de L_∞ y W_i de los modelos ($\Delta < 4$), en hembras fue de $L_\infty = 136.33$ hembras y 95.07 cm para machos.

Tabla XIV. Intervalos de confianza (IC) del modelo logístico de la merluza del Pacífico en el Golfo de California.

Parámetros del modelo logístico	IC _{25%}	Optimo	IC _{97.5%}
Hembras			
L_∞ (cm)	107.59	127.57	165.58
K (año ⁻¹)	0.027	0.32	0.36
t_0	5.42	6.53	8.31
Machos			
L_∞ (cm)	73.14	85.40	106.32
K (año ⁻¹)	0.33	0.41	0.49
t_0	3.76	4.55	5.78

8.6 Mortalidad Natural.

La estimación de mortalidad natural (M) mostró valores de $M = 0.35$ para hembras y $M = 0.45$ para machos.

8.7 Evaluación de la población de merluza.

8.7.1 Modelo de CRMS.

Las capturas de merluza hasta el 2012 se mantuvieron por debajo del intervalo inferior del RMS (4,340 t), para mostrar un incremento al RMS promedio (6,320 t) y para 2014 las capturas estuvieron por arriba del intervalo superior del RMS (9,200 t), después de este año, la tendencia ha sido a disminuir y en 2019 la captura estuvo incluso por debajo del RMS (Fig. 13).

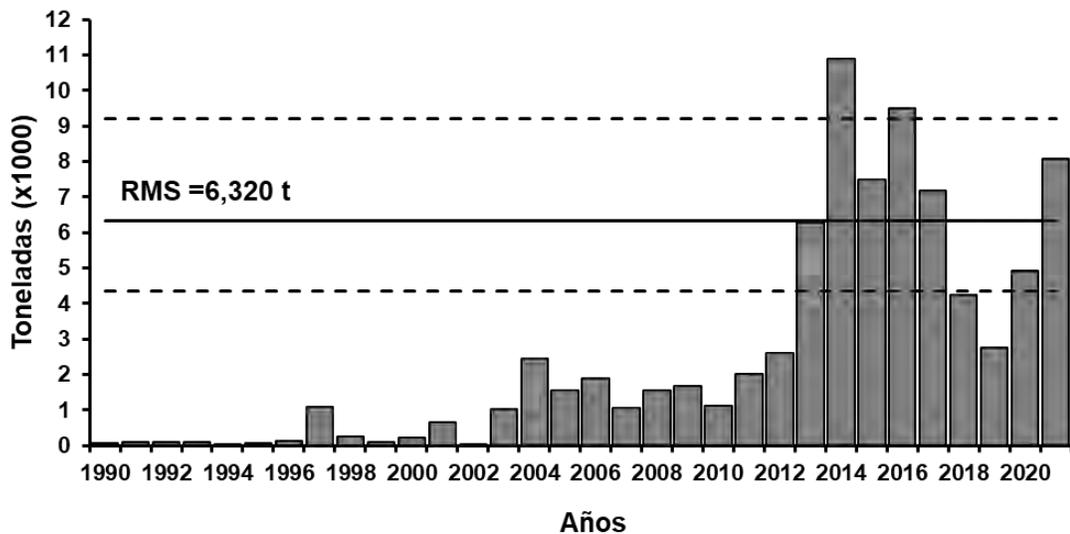


Figura 12. Capturas de merluza en el Golfo de California de 1990-2021. La línea continua es el Rendimiento Máximo Sostenible(RMS) para 2021 y la línea discontinua corresponde a los intervalo de confianza.

Las biomásas obtenidas con el modelo Captura-Rendimiento Máximo Sostenible (CRMS), fluctúan desde 41,200 t en 1990 hasta 55,400 t en 1997. A lo largo del tiempo (1990-2021), las biomásas variarán desde 100 t hasta 14,200 t respecto a la biomasa máxima (55,400), sin embargo, se aprecia una ligera tendencia a disminuir a partir del año 2014, con un pequeño repunte en el año 2019. Al comparar las biomásas determinadas con el método de área barrido, se puede ver que las estimaciones realizadas durante el 2005, 2014 y

2020 se encontraron dentro del intervalo de biomosas determinada por C_{RMS} , no fue así para el año 2019 donde la estimación de biomasa por área barrida fue superior a la determinada por C_{RMS} (Fig. 13).

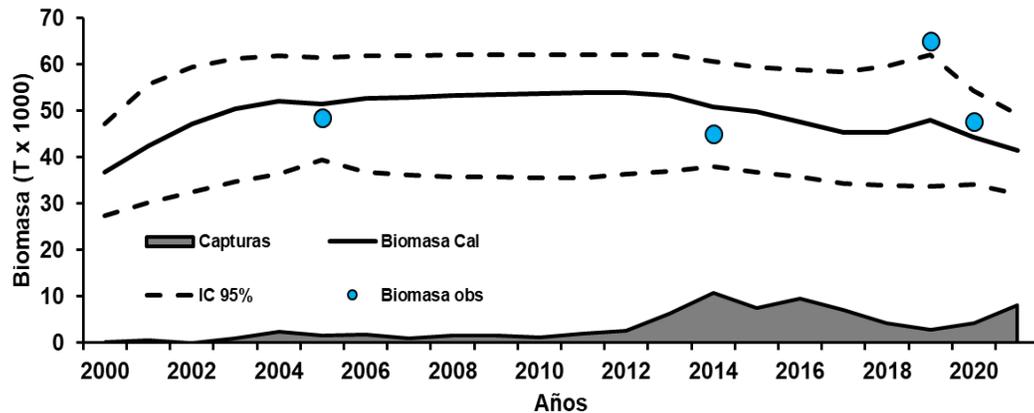


Figura 13. Estimaciones de biomasa calculadas por el método de Froese *et al.* 2017. Los puntos azules indican la biomasa observada con el método de área barrida.

En cuanto al esfuerzo de pesca, si el cociente de F/F_{RMS} es mayor que 1, se considera que el esfuerzo de pesca utilizado es mayor al necesario para alcanzar el RMS, en el último año, fue menor al F_{RMS} , sin embargo, durante el 2014 fue superior al requerido para alcanzar el RMS, después del 2012 la relación entre F/F_{RMS} se encuentra muy cercano al valor de 1, es decir, al esfuerzo de pesca necesario para alcanzar el RMS (Fig. 15).

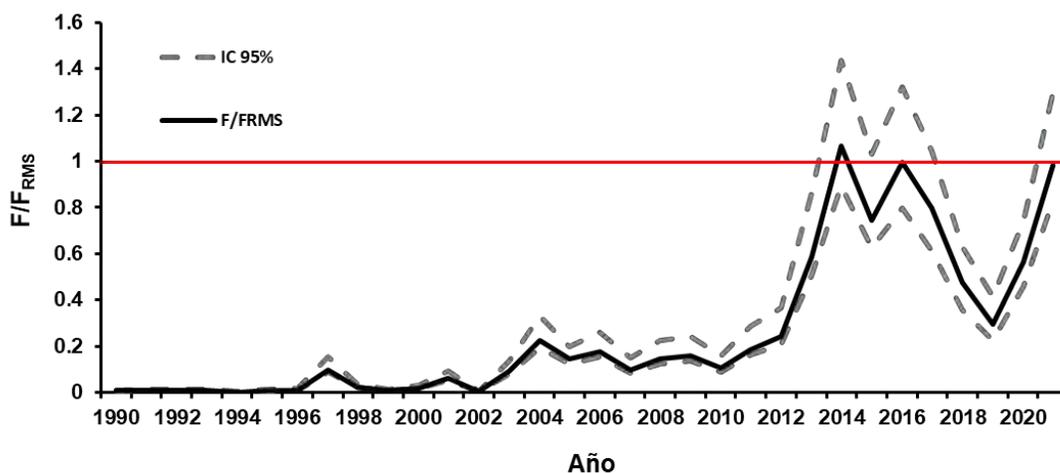


Figura 14. Relación entre F/F_{RMS} de la pesquería de merluza del Pacífico en el Golfo de California para el periodo de 1990-2021. La línea roja indica el esfuerzo de pesca adecuado para alcanzar el RMS.

Los parámetros de resiliencia (r) 0.39 (IC = 0.27-0.58) y de capacidad de carga (k) 51,500 t (IC = 63,300-77,900 t). Los puntos de referencia biológicos obtenidos por el Modelo de Producción Excedente de Schaefer-Bayesiano state-space (MSB) mostrarán una captura de 6,320 toneladas como el Rendimiento Máximo Sostenible, con una mortalidad por pesca para ese RMS de 0.2 y una biomasa de la población de 41,200 toneladas (Tabla XV).

Tabla XV. Parámetros y puntos de referencia biológicos del Modelo de producción excedente de Schaefer-Bayesiano state-space (MSB) para el año 2021 de la merluza en el Golfo de California. Los parámetros r , k , $RMS(t)$, F_{RMS} , y B_{RMS} para el periodo de 1990-2021.

Punto de referencia	IC _{25%}	Promedio	IC _{97.5%}
r	0.27	0.39	0.58
k(t)	51,500	63,300	77,900
RMS (t)	4,340	6,320	9,200
F_{RMS}	0.13	0.2	0.29
B_{RMS(t)}	25,700	31,700	39,000
B_{2021(t)}	31,200	41,200	48,800
B/B_{RMS2021}	0.98	1.30	1.54
F₂₀₂₁	0.16	0.19	0.25
F/F_{RMS2021}	0.82	0.98	1.30

8.7.2 Analisis de Reducción de Stock (ARS).

En la tabla XVI se observan las soluciones del Análisis de Reducción de Stock (ARS), la solución que replica la biomasa promedio estimada en 2020 (47,649 t) es con una biomasa inicial (B_1) de 85,000 t, una P de 0.56 y una SSQ de 0.00 con una mortalidad natural (M) 0.35 y con B_1 de 80,000 t, P de 0.59 y SSQ de 0.00 y una M de 0.46.

Tabla XVI. Soluciones aceptables de ARS para la merluza del Pacífico del Golfo de California con dos diferentes mortalidades (M). M = Mortalidad, r = fuerza reclutamiento, P = Proporción B_{2020}/B_1 , B1 = Biomasa virgen (t), R = Reclutamiento (t), SSQ = suma residuales.

M	r	P	B1(t)	B ₂₀₂₀ (t)	R(t)	SSQ
	0	0.56	70,000	39,365	7,136	0
0.35	0.25	0.58	80,000	46,389	8,156	0
	0.5	0.56	85,000	47,887	8,665	0
	0.85	0.53	90,000	47,599	9,175	0
	0	0.67	70,000	46,599	10,664	0
0.46	0.6	0.59	80,000	47,499	12,187	0
	0.85	0.59	85,000	47,850	12,949	0
	1	0.56	90,000	50,551	13,711	0

La relación entre la biomasa inicia o biomasa virgen (B1) con la biomasa del 2020, muestra una caída en la abundancia de la población de merluza del Pacífico coincidiendo con los años donde las capturas registradas han sido las más altas, así como un incremento de la población en los últimos años (Fig. 16a). Las estimaciones de biomasa total para la merluza del Pacífico del Golfo de California, a través de diferentes métodos (C_{RMS}, ARS, Área barrida) presentan una tendencia similar, con una disminución relacionada con un incremento en las capturas (Fig. 16b).

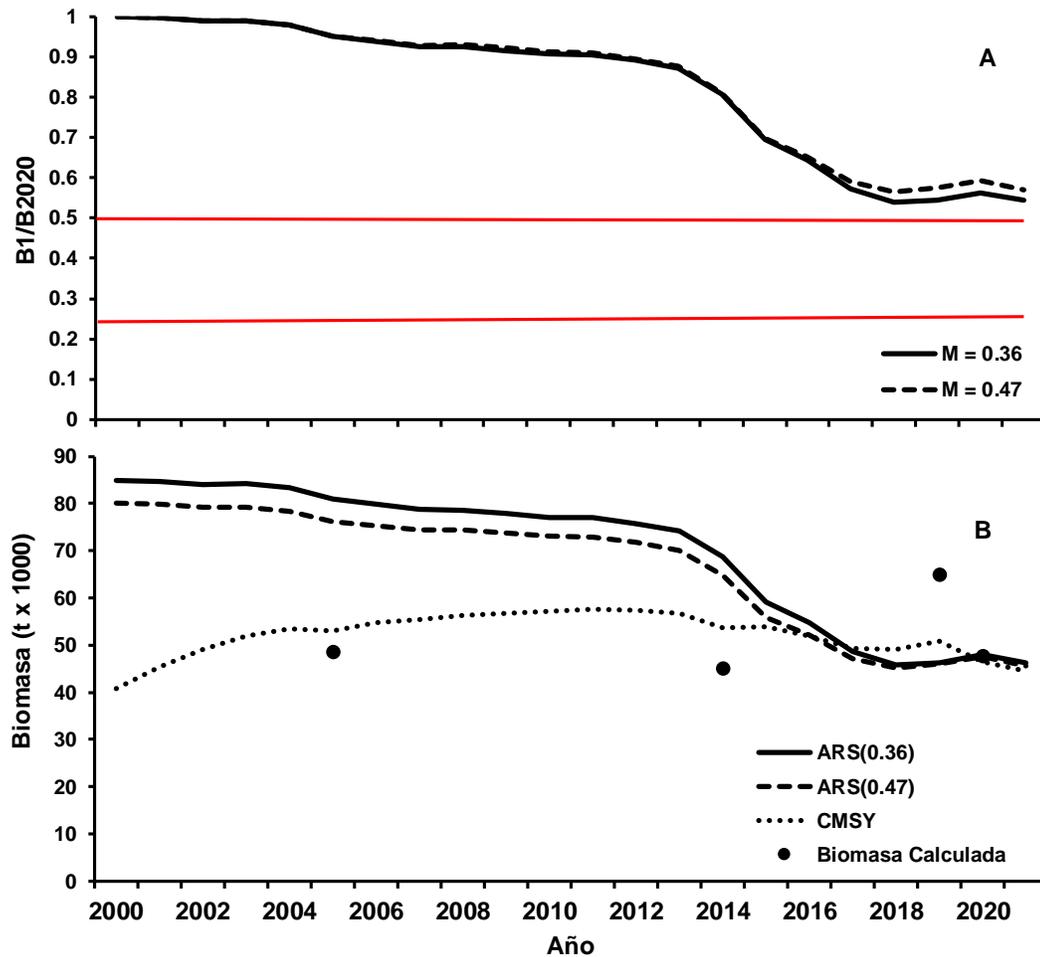


Figura 15. Biomasa relativa ($B1/B_{2020}$) del modelo Análisis de Reducción de Stock (A) y, Biomasa total del modelo de análisis de reducción de stocks (ARS) Mortalidad, Captura-Rendimiento Máximo Sostenible y Área barrida (B) de la merluza del Pacífico en el Golfo de California para el periodo de 2000-2021.

8.7.3 Estatus de la población de merluza en el Golfo de California.

El diagrama de Kobe nos ayuda a conocer el estado pasado y actual del stock de merluza del Golfo de California, de 1990 al 2021 la biomasa de la población se ha encontrado por arriba del punto de referencia B_{RMS} , en cuanto a la mortalidad por pesca (F) en el 2014 esta ha sobrepasado el punto de referencia de la F_{RMS} , con base en los puntos de referencia pesquera

estimados para el 2021 $B/B_{RMS} = 0.98-1.54$ y $F/F_{RMS} = 0.82-1.30$ la población de merluza del Golfo de California se encuentra a niveles biológicamente sostenibles (Fig. 16)

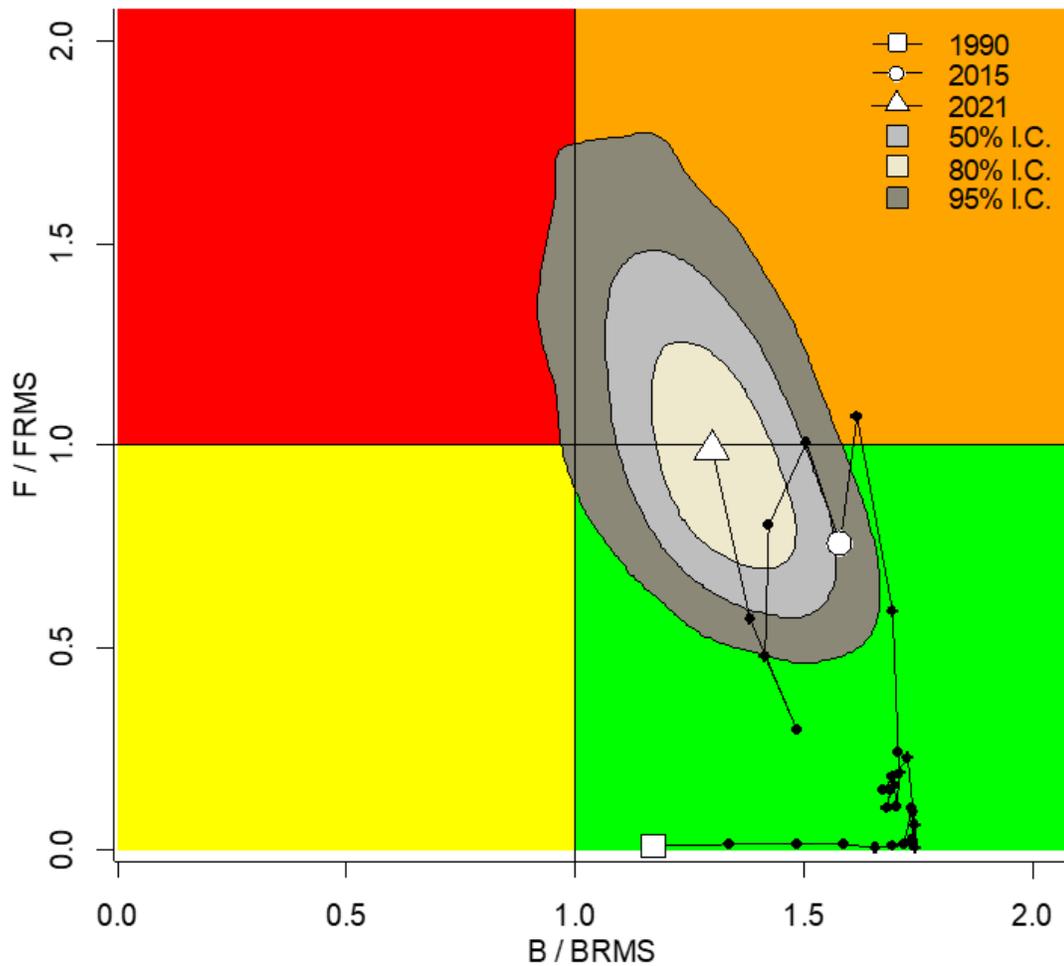


Figura 16. Diagrama de fases de Kobe relacionando la tasa de explotación (F/F_{RMS}) y la Biomasa para el Rendimiento Maximo Sostenible (B/B_{RMS}) de la merluza del Pacífico en el Golfo de California para 1990-2021.

La figura 17 se muestra el análisis de riesgo (2021-2025) para el cual se utilizó como la biomasa total estimada por el modelo de C_{RMS} para el 2021. En la medida que la cuota de captura incrementa, la probabilidad de que la biomasa de la población se mantenga por arriba del B_{RMS} disminuye y la probabilidad de decrecer del B_{RMS} aumenta, así como la probabilidad de causar un efecto dependiente en la población ($B < 0.2K$) si la captura continúa aumentando.

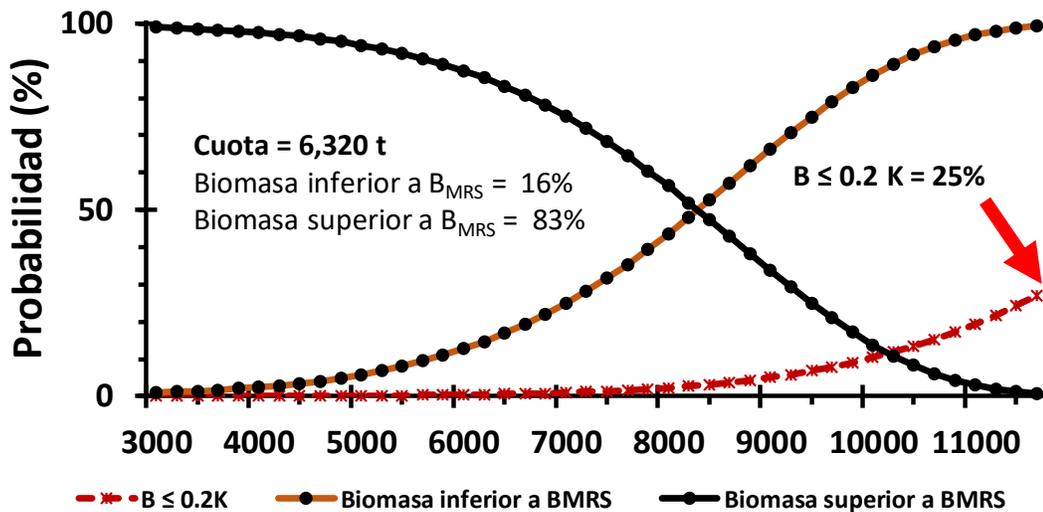


Figura 17. Análisis de riesgo simulado al año 2025 obtenido con simulación de la Biomasa del último año (2021) obtenida con el C_{RMS} .

La proyección de biomasa relativa (B/k) para la población de merluza del Golfo de California, muestra posibles trayectorias que pudiera seguir el stock ante diferentes cuotas de captura, observamos que con volúmenes por arriba de las 12,500 t la población experimenta una disminución por debajo de B/k 0.5 (Fig. 18).

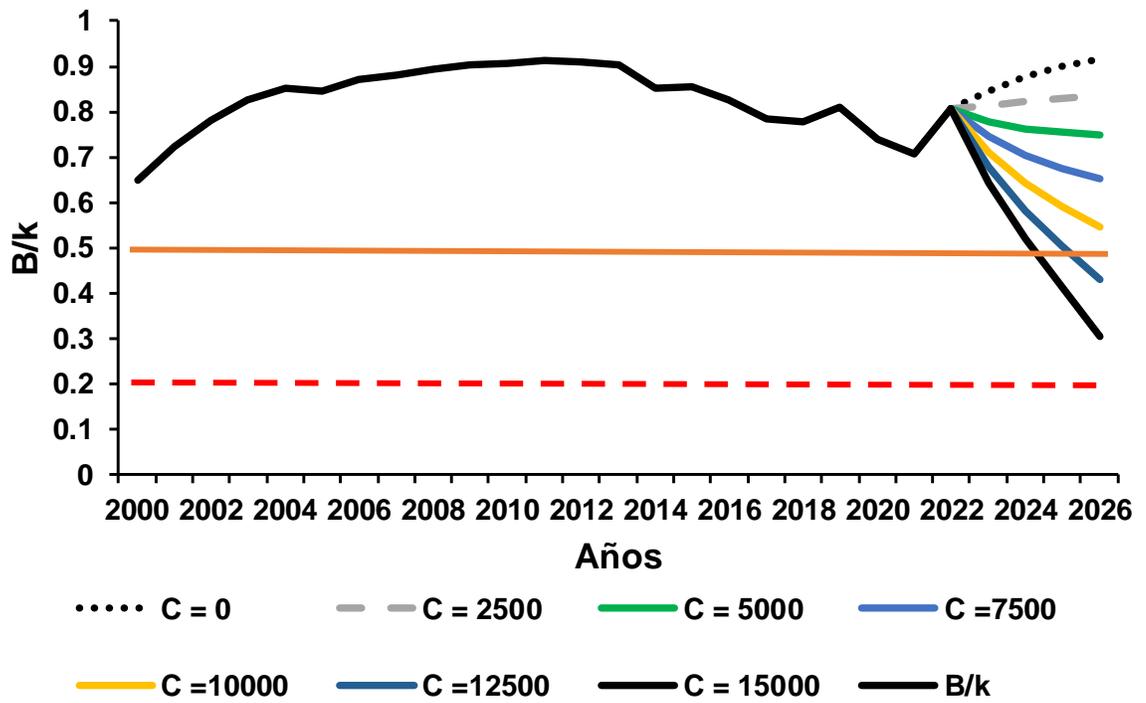


Figura 18. Proyección de la biomasa relativa de la merluza del Pacífico para el Golfo de California al 2026 considerando como medida de manejo las cuotas de captura.

9. DISCUSIÓN

En el noroeste del Pacífico mexicano se localiza el Golfo de California, área que se caracteriza por ser altamente productiva, soportando dos de las pesquerías más importantes en México, Camarón y Pelágicos menores (Lluch-Cota et al. 2007). También, en esta zona se realiza la pesca de otras especies como *Merluccius productus*, la cual en los últimos años ha cobrado importancia por sus volúmenes de captura.

9.1 Estructura de talla y peso.

De acuerdo a datos de las pesquerías y cruceros de investigación, la estructura de tallas para la merluza del Pacífico en el extremo norte de su área de distribución (Canadá) varía de 6 cm a 81 cm LF, para la Costa de Estados Unidos va de 10 a 80 cm de LT y de 9 cm a 28 cm de LP para la Costa occidental de Baja California Sur (Best 1962; Dark 1974; Saunders y McFarlane 1997; Balart-Páez 2005; Salinas-Mayoral 2018). En comparación, la estructura de tallas para el Golfo de California varía de 10 cm a 112 cm de LT (Nevárez-Martínez *et al.* 2007). Esto sugiere que, en la parte norte de la distribución de la especie, la explotación ha reducido la longitud de los grupos más grandes. Este no es el caso del stock de la costa occidental de Baja California Sur, ya que no ha sido explotado comercialmente. La merluza del Pacífico a lo largo de su distribución tiene diferentes periodos de explotación, los stocks del norte han sido explotados desde mediados de siglo XX (Best 1962), mientras que el stock del Golfo de California ha sido explotado desde la década de 1990 y el de la costa occidental de Baja California Sur no ha sido explotado comercialmente (Balart-Páez 1996).

Los cambios en la estructura de tallas de las especies objetivo de las pesquerías, son un indicador importante de la dinámica de la comunidad y la vulnerabilidad de la población (Tagliafico *et al.* 2012). El efecto de la pesca

reducirá la abundancia de los grupos de tallas más grandes de la población y con mayor potencial reproductivo, afectando directamente el reclutamiento y la dinámica del ecosistema a través de la depredación dependiente del tamaño. Es decir, al reducirse la estructura de tallas del stock reproductor, también se disminuye el número de ovocitos producidos, debido a la relación directa entre la longitud de las hembras y la fecundidad (McFarlane y Saunders 1997). Además, Denton-Castillo (2018) comenta que las hembras con tallas más grandes aumentan el potencial reproductivo de la población al producir ovocitos de mayor calidad y tener más eventos reproductivos.

Debido a lo anterior, al analizar la estructura de tallas por sexos de cada crucero encontramos que las hembras predominan en tallas >73 cm de LT, mientras los machos alcanzan tallas menores. Esto sugiere que la merluza del Pacífico que habita en el Golfo de California, presenta un dimorfismo sexual, confirmando lo reportado (Best 1962 y Zamora-García *et al.* 2020). Esto también se ha observado en otras especies del mismo género como, *Merluccius hubbsi* con tallas asintóticas para hembras de 90 cm y para machos de 60 cm (Lorenzo y Defeo 2015). Con base en los muestreos realizados en los cruceros, se observó de manera visual que las hembras son más robustas (redondas) en comparación con los machos y aquellas que alcanzan tallas >73 cm de LT que presentan pesos superiores con respecto a los machos.

9.2 Proporción sexual.

La variación de la proporción sexual en la merluza del Pacífico ha sido reportada por diferentes autores. Methot y Dorn (1995) encontraron una proporción de sexos en *M. productus* de 1H:1M en las costas de Estados Unidos (en verano) y en Canadá, donde las hembras dominan a tallas grandes, Salinas-Mayoral (2018) de manera general encontró en el costa occidental de Baja California Sur una proporción de 1.2H:1M, mientras de manera mensual encontró que en agosto y octubre la proporción fue de 0.9H:1M, por su parte

Denton-Castillo (2018) no encontró diferencias significativas en la proporción de hembras y machos (1.05H:1M) de la merluza del Pacífico en el Golfo de California, con excepción de la temporada del 2015 donde las hembras fueron predominantes (3.8H:1M). Por su parte, Zamora-García *et al.* (2020) reportaron que durante las temporadas de pesca del 2015 al 2019, los machos fueron más abundantes, teniendo una proporción de 1H:1.12M. En el presente trabajo se encontró una proporción significativa de hembras mayor que los machos (1.11H:1M; $\chi^2 = 7.61$; $P < 0.05$). Todo lo anterior, sugiere que la proporción sexual en la población de merluza del Pacífico varía ligeramente entorno a 1H:1M, siendo importante para asegurar el reclutamiento que la proporción de hembras no disminuya significativamente, otra explicación podría deberse que durante la temporada de pesca, los machos permanecen mayor tiempo en la zona de reproducción, como se ha documentado para *Merluccius hubbsi*, haciéndolos más accesibles a la pesca (Sadovy 2006).

Por estrato de profundidad, en los primeros 200 m las hembras fueron más abundantes que los machos ($P < 0.05$) y por intervalo de tallas se encontró que en los organismos de los 12 cm a 28 cm de LT, los machos predominaron y en algunos intervalos esta diferencia fue significativa (17 cm, 23 cm y 27 cm de LT, $P < 0.05$), desde 29 cm hasta 41 cm de LT no existió diferencia significativa entre hembras y machos ($P > 0.05$) y los organismos > 73 cm de LT las hembras fueron las que predominaron ($P < 0.05$; Tabla VIII), este comportamiento ha sido documentado para otras especies de merluzas como *M. merluccius*, en donde la proporción de sexos en organismos < 45 cm de LT no existió diferencia significativa y en organismos > 60 cm de LT las hembras dominaron (Piñeiro y Sainza 2003). En *M. polli* y *M. senegalensis* en aguas de Mauritania la proporción de sexos estuvo a favor de las hembras, a excepción de cierta área geográfica donde los machos fueron más abundantes respecto a las hembras entre los 16°N y 17°N para *M. polli* y entre los 18°N y 19°N en *M. senegalensis* (Fernández-Peralta *et al.* 2011). En la merluza peruana *M.*

gavy peruanus en el otoño del 2014 en la plataforma del mar peruano los machos fueron más abundantes respecto a las hembras (Palacios *et al.* 2018). Estos cambios en la proporción de sexos de la merluza del Pacífico, podrían atribuirse a factores desde el arte de pesca, el área geográfica, la temporalidad y el ambiente, esta documentado que las merluzas hembras son de mayor tamaño y edad, los que les permite realizar migraciones más amplias y a mayores profundidades debido a su capacidad de nado que en comparación a las merluzas jóvenes y de menor tamaño, durante los años fríos en la corriente de California (Dorn 1995; Ressler 2007).

9.3 Distribución espacial de la merluza del Pacífico.

La región centro y norte del Golfo de California presenta diferentes características topográficas y batimétricas, apropiadas para la distribución de la merluza del Pacífico, en la región centro se ubica la Cuenca Tiburón entre la Isla Ángel de la Guarda y la Isla Tiburón, la Cuenca Delfín ubicada al norte de la Isla Ángel de la Guarda, las cuales presentan un fondo casi plano y profundidades de 500 m y 900 m respectivamente (Arrellano-Peralta y Medrano-González 2013). Además, la región centro y norte del Golfo de California se caracteriza por ser de las más productivas, el enriquecimiento en la columna de agua, se origina por un proceso de mezcla intensa de masas de agua por fuertes corrientes de marea (Lluch-Cota y Arias-Aréchiga 2000).

La distribución de la merluza del Pacífico en el Golfo de California es amplia, encontrándola en todos los estratos prospectados desde los 50 m a 500 m de profundidad, sin embargo, la concentración de los organismos fue en áreas con profundidades entre los 200 a 300 m y temperaturas de fondo entre los 13°C y 14°C, estos intervalos de profundidad y temperatura son los óptimos para localizar las abundancias de esta especie, en la región centro y norte del Golfo de California, lo cual concuerda con la profundidad (110-330 m) a la que la flota pesquera (merlucera) realiza su actividad (EDF 2017). Ressler *et al.*

(2007) mencionaron que la temperatura determina la dinámica poblacional de la merluza del Pacífico en la corriente de California, con dos posibles efectos, la advección de corriente y el nado activo en respuesta a señales ambientales. Agostini *et al.* (2006) reportaron que la distribución de la abundancia de merluzas del Pacífico adultas en la corriente de California tiene mayor relación con el flujo de la corriente subsuperficial que con un intervalo de temperatura. Existen trabajos que han relacionado el ambiente con aspectos biológicos del recurso. Por ejemplo, Kainge *et al.* (2017) relacionaron el ambiente (temperatura, oxígeno, profundidad y posición geográfica) con la estructura de tallas de *Merluccius capensis* y *Merluccius paradoxus* en Namibia, África, y encontraron que los organismos de tallas pequeñas habitaron zonas someras, a diferencia de los individuos grandes. En este sentido, el presente estudio mostró que los especímenes grandes de merluza del Pacífico en el Golfo de California se localizan principalmente entre los 200 a 300 m, donde se presentan temperaturas bajas (13.2–14.0 °C).

9.4 Modelación Estadística.

En los últimos 30 años se ha desarrollado un importante avance estadístico en las regresiones lineales con los modelos lineales generalizados (MLG) y los modelos aditivos generalizados (MAG), estos últimos evalúan las relaciones no lineales y tienen la capacidad de relacionar los datos mediante funciones de suavizado (Guisan *et al.* 2002; Wood 2006).

Por lo que han sido aplicados en muchos campos de la investigación científica, y en recursos con relevancia pesquera como la merluza del Pacífico, en este sentido, Swartzman (1997) utilizó estos modelos (MAG) evaluó el efecto del ambiente sobre la biomasa de los cardúmenes de merluza del Pacífico en la región centro-norte de la costa del Pacífico de Estados Unidos de América; en su estudio, encontraron cardúmenes más grandes y con mayor biomasa en el

norte que en el sur, y el máximo de biomasa lo encontraron a temperaturas de 7 °C. Nuestro modelo (GAM) indicó que la temperatura de fondo (intervalo óptimo 13–14 °C), la temporalidad (febrero) y la longitud (113–114°W) fueron, en ese orden, las variables más importantes para explicar los centros de abundancia de merluza del Pacífico en el Golfo de California.

Su *et al.* (2011) utilizaron GAM para evaluar la relación entre la abundancia de marlín azul y las condiciones oceanográficas, encontrando que sus modelos lograron explicar entre un 41.7% y un 33.5% la variación en la densidad y la presencia/ausencia de marlín en el Océano Pacífico. Zamora-García *et al.* (2020) utilizaron GAM'S para evaluar el efecto de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE), la talla y la proporción sexual de la merluza del Pacífico en el Golfo de California, con respecto a variables que describen la actividad pesquera (velocidad de arrastre, luz de malla, profundidad) y temporales (Mes-Año), encontrando que sus modelos explicaron la variación (devianza explicada) de la CPUE en un 10.60%, el 15.00% en la talla y el 12.90% en la proporción sexual. En el presente estudio los modelos GAM utilizados para caracterizar las áreas de abundancia y la distribución de tallas en relación con el ambiente, explicaron el 39.3 % y el 61.7% de la variación (devianza explicada) respectivamente.

9.5 Abundancia de la merluza.

La biomasa de la merluza del Pacífico del Golfo de California ha sido estimada a partir de una serie de cruceros de prospección pesquera desde los años setenta y ochenta. Mathews *et al.* (1974) y Grande-Vidal (1983) reportaron volúmenes entre 4,000 t y 28,000 t, y entre 22,000 t y 35,600 t respectivamente, estas estimaciones fueron menores a las obtenidas en este trabajo, las cuales fluctuaron entre 6,887.1 t y 64,823.8 t, pero fueron similares a las reportadas por Nevárez-Martínez *et al.* (2007) a excepción de la estimación de abril del 2006 con 145,000 t, este máximo de biomasa se debe a que se intensificó el muestreo con 20 lances más de pesca. Por lo anterior,

es notable que la población de merluza del Pacífico en el Golfo de California ha sido explotada de manera sostenible (Arizmendi-Rodríguez *et al.* 2020, DOF, 2018).

En lo que respecta a los centros de abundancia de la merluza del Pacífico en este estudio, compartieron dos características, la primera la temperatura de fondo (13.2°C-14.1°C) y la profundidad (176 m-216 m) como la segunda, este mismo patrón fue reportado por Mathews *et al.* (1974) y Nevárez-Martínez *et al.* (2007) encontrando los mayores volúmenes a profundidades similares (184-366 m y 138-275 m respectivamente). En el crucero de octubre del 2016 los centros de abundancia se registraron a temperatura de fondo de 12.8°C y a mayor profundidad (350-462 m), similar a lo reportado por Nevárez-Martínez *et al.* (2007) para noviembre del 2006, encontraron la mayor biomasa a profundidades de 413 m, en este mismo sentido Acevedo-Cervantes *et al.* (2009) reportan la presencia de *M. productus* a profundidades de 360-450 m en septiembre del 2004. Esto sugiere que la merluza del Golfo de California después de terminar el proceso de reproducción se dispersa, sin embargo, las mayores concentraciones podrían encontrarse a mayores profundidades, de acuerdo con Acevedo-Cervantes *et al.* (2009) existen dos comunidades de peces en el Golfo de California, la primera formada por especies costeras y la segunda con especímenes típicas de aguas profundas, esta última se caracteriza por ser poco diverso pero muy abundante, comunidad en el que se ubica la merluza del Pacífico.

9.6 Determinación de la edad.

Una forma de determinar los patrones de crecimiento en los peces es a partir de estructuras duras como los otolitos, escamas o vertebras. En diferentes especies del género *Merluccius* como *M. merluccius* y *M. productus* se han utilizado los otolitos sagitta (Dark 1974; Piñeiro y Sainza 2003; Salinas-Mayoral 2018; Zamora-García 2021)

En el presente estudio la determinación de la edad se realizó utilizando el número de marcas de crecimiento en las secciones de otolitos. Beamish (1979) para la merluza del Pacífico y Piñeiro y Saínza (2003) para la merluza europea *Merluccius merluccius* señalaron que las secciones de otolitos deben usarse para organismos de más de 5 años porque las marcas de crecimiento en los peces más viejos se superponen en los bordes. Aunque en este estudio no se comparó el número de marcas de crecimiento entre las secciones de otolitos y los otolitos completos, se observó que las marcas de crecimiento en los otolitos completos más grandes no eran tan evidentes como en los de tamaño pequeño o mediano.

En cuanto a la periodicidad de las marcas de crecimiento, si bien los resultados de Dark (1975) sugieren una periodicidad anual, consideramos que esta es una tarea incumplida, sobre todo por la dificultad de contar con muestras de un ciclo anual completo (Campana 1995). En este trabajo no se pudo evaluar la periodicidad de las marcas de crecimiento en los otolitos, debido al origen de los datos (cruceros de investigación).

9.7 Estructura de edad.

A nivel poblacional parece existir una variación en el rango máximo de las edades entre los stocks y por sexos, en su extremo más norteño, de su distribución en el Estrecho de Georgia se han reportados edades de 13 y 20 años de edad (Beamish 1979; McFarlane y Beamish 1985) para el stock de la costa de EUA 13 años de edad (Dark 1974), mientras que para el stock que se encuentra en la costa occidental de Baja California Sur, Salinas-Mayoral (2018) reportó 12 años de edad, Zamora-García (2021) reportó para el Golfo de California organismos hasta de 13 años de edad.

En el presente estudio encontramos para las hembras un máximo de 13 años de edad y una longevidad de 9 años para machos, este mismo patrón se ha reportado en otras especies de merluza como *Merluccius merluccius* (Piñeiro y Sainza 2003; Ligas *et al.* 2011).

9.8 Evaluación del crecimiento.

Utilizando el enfoque multimodelo se identificó el mejor modelo para describir el cambio de talla en función de la edad en la merluza del Pacífico en el Golfo de California, siendo el modelo Logístico, el cual se caracteriza por presentar tres estanzas, la primera durante la etapa juvenil, la segunda un rápido crecimiento en longitud e incluye un punto de inflexión de la curva, que se vincula con la edad de madurez sexual ($L_{50\%}$) y posteriormente una reducción en la tasa de crecimiento al aproximarse a la asíntota longitud. Para el stock del Golfo de California, el punto de inflexión de la curva de crecimiento (relacionado con el proceso de madurez sexual, $L_{50\%}$) se estimó en 52.7 cm de LT en hembras y 38.4 cm de LT en machos (Denton-Castillo 2018).

Con referencia a la talla por edad estimada para cada uno de los stocks de merluza del Pacífico, se evidencia una disminución en el porcentaje anual llegando a L_{∞} , mostrando una tendencia directa con respecto a la latitud, siendo esta mayor en los stocks del norte en promedio 75% de L_{∞} al tercer año de edad en Canadá y hasta un 60% para la costa de Estados Unidos (Dark 1974; McFarlane y Beamish 1985) y menor en los stocks que se distribuyen en el sur; costa oeste de Baja California Sur el 28% del L_{∞} al tercer año de edad (Salinas-Mayoral 2018), y en el presente trabajo para el tercer año de edad la merluza del Pacífico alcanza el 30% del L_{∞} (Golfo de California , Anexo 2). Esto podría estar relacionado, principalmente, con el nivel de explotación al que han sido sometidos los stocks (Genner *et al.* 2010) e indirectamente con

la temperatura superficial del mar, que afecta la productividad y disponibilidad de presas.

Se han reportado diferencias en el patrón de crecimiento por sexo para la merluza del Pacífico (Dark 1974; McFarlane y Beamish 1985; Salinas-Mayoral 2018). El presente estudio no ha sido la excepción, las hembras son más longevas y alcanzan mayor longitud que los machos y muestran diferencias en el patrón de crecimiento. Aparentemente, esta característica es común en el género *Merluccius* debido a las diferencias morfológicas y biológicas entre los sexos. Los machos alcanzan la madurez a una longitud y edad más temprana que las hembras, esta diferencia maximiza el potencial reproductivo de la especie (Denton-Castillo 2018). MacFarlane y Beamish (1985) muestran estas diferencias por sexo para el stock que habita la parte norte de la distribución de la especie, Dark (1974) para el stock que habita las costas de Estados Unidos, Salinas-Mayoral (2018) para el costa occidental de Baja California Sur y Zamora-García (2021) para el Golfo de California.

9.9 Evaluación de la población de merluza.

El estado que guardan las pesquerías a nivel mundial, muestran que las poblaciones que se encuentran en niveles biológicamente sostenibles han disminuido de un 90% en 1974 a 65.8% en 2017, en cambio las poblaciones que se encuentran biológicamente insostenible han aumentado pasando de un 10% 1974 a un 34.2% en 2017. En 2017, del total de poblaciones evaluadas el 59.6% se encontraba en la categoría explotadas a un nivel de sostenibilidad máxima, el 6.2% dentro de las poblaciones subexplotadas y el 34.2 % de las poblaciones están sobreexplotadas (FAO 2022b).

Las capturas de merluza del Pacífico durante la década de los noventas se mantuvieron en promedio en 202 t, del 2000 al 2010 incrementó a 1,200 t y alcanzaron un máximo de 5,788 t en el periodo de 2011 al 2020, desde 1990

hasta 2018 las capturas se realizaron bajo el amparo de permisos de escama marina (DOF 2004). Como consecuencia del incremento en las capturas, las cuales pudieron deberse a un aumento en la disponibilidad del recurso o a un efecto de mercado, ya que desde los años setenta y ochenta se reportaron volúmenes entre 4,000 t y 28,000 t, y entre 22,000 t y 35,600 t respectivamente (Mathews *et al.* 1974; Grande-Vidal 1983). En el 2018 se publicó la ficha de la Carta Nacional Pesquera en el Diario Oficial de la Federación, donde se establece formalmente como una pesquería (DOF, 2018) por lo que la pesquería de merluza del Pacífico en el Golfo de California es de reciente creación.

Debido a que la serie de datos de talla y edad es corta, es decir, menor a un ciclo de vida de la especie, se utilizó un método basado en las capturas (C_{MRS}), incluyendo un índice de abundancia para estimar los puntos de referencia biológicos (PRB). En esta metodología se señala que podrían sobrestimar la capacidad de carga y los puntos de referencia en un 10% lo que podría ocasionar una sobreestimación de la biomasa, por lo que se recomienda utilizar el intervalo inferior de las estimaciones (Ruíz-Domínguez *et al.* 2021).

En este sentido las estimaciones de los parámetros de resiliencia (r) estimados por el modelo $r = 0.39$ ($IC_{25\%} = 0.27$, $IC_{97.5\%} = 0.58$) son similares a los valores a priori que sugiere Fish-Base para la especie de $r = 0.33 - 0.79$ (0.49) con base en la evaluación realizada en tres stock (Froese y Pauly, 2022). En cuanto a la capacidad de carga (k) 63,300 t ($IC_{25\%} = 51,500$, $IC_{97.5\%} = 77,900$ t), este valor se encuentra cercano a la biomasa con el método de área barrida determinada en el presente estudio para el 2019 de 64,823 t. Las biomásas generadas por el modelo de C_{MRS} fluctuaron entre los 41,200 t a 51,500 t, estas biomásas se encuentran dentro de los valores estimados con el método de área barrida durante invierno-primavera para 2005, 2014 y 2020 que van de los 47,649 t a 48,472 t (Nevárez-Martínez *et al.* 2007; Arizmendi-Rodríguez *et*

al. 2021a) con excepción del 2019 cuando la estimación de biomasa fue de 68,131 t por lo que podríamos sugerir que el 10% de sobreestimación en las biomazas señalado por Ruíz-Dominguez *et al.* (2021) no se cumple, por lo tanto se podría tomar el valor medio de los puntos de referencia biológicos y no el intervalo inferior para los puntos de referencia.

Los puntos de referencia biológicos estimados, muestran un Rendimiento Máximo Sostenible (RMS) el cual puede ser tomado como la captura deseada por la flota, entre 4,340 t a 9,200 t, con un promedio de 6,320 t, este valor se encuentra dentro del rendimiento de 4,060 t a 6,580 t propuesto por Mathews *et al.* (1974) y Nevárez-Martínez *et al.* (2007). Indicando que en las dos últimas décadas la especie ha sido capturada de manera sostenible, no obstante, al existir medidas de manejo, la administración pesquera del recurso contribuirá a mantener a la población dentro de los límites permisibles, garantizando la sostenibilidad y la permanencia de la actividad, de esta manera se mantendrán los 1100 empleos directos y más de 700 indirectos que genera la pesca de merluza del Pacífico, dando bienestar a decenas de familias mexicanas (Arizmendi-Rodríguez *et al.* 2021b). Además, en la última actualización de la ficha, de este recurso se considera como estrategia de manejo la tasa de aprovechamiento y una cuota de captura (DOF 2022).

De acuerdo a los puntos de referencia biológicos en el 2021, F/F_{RMS} tuvo un valor promedio de 0.98 encontrándose muy cercano al valor de 1, es decir, al esfuerzo de pesca necesario para alcanzar el RMS y B/B_{RMS} con 1.30 en promedio, sugiriendo que la biomasa de la población se ha encontrado por arriba del punto de referencia, los resultados indican que, el stock de merluza que había el golfo de California se encuentra biológicamente sostenible, esto mismo comportamiento fue publicado en la Carta Nacional Pesquera, donde guarda el estatus de Rendimiento Máximo Sustentable (RMS) para el Golfo de California, con los siguientes puntos de referencia pesquero con valores de

1990 a 2020 de B/B_{RMS} de los 1.06 hasta 1.98 y F/F_{RMS} de 0.001 hasta 1.05 (DOF 2022). En el presente trabajo los puntos de referencia biológicos fueron de B/B_{RMS} 1.30 a 1.75 y F/F_{RMS} 0.001 a 1.06 respectivamente de 1990 a 2021, mostrando que la población de merluza del Golfo de California se encuentra a un nivel biológicamente sostenible. Zamora-García (2021) menciona que la pesquería de merluza no muestra señales de deterioro, esto con base a que no observó cambios en la CPUE a través de los años, ni cambios en las longitudes máximas reportadas, además de que es un recurso que no esta disponible todo el año.

La pesquería de merluza del Pacífico en el Golfo de California se realiza principalmente en diciembre y termina en mayo, obteniendo los mayores volúmenes entre enero y marzo (Arizmendi-Rodríguez *et al.* 2019, Zamora-García *et al.* 2020) mismo periodo donde se lleva acabo el proceso reproductivo para la especie (Denton-Castillo 2018), por lo cual se considera que la actividad pesquera es soportada por una agregación reproductiva. En este tipo de agregaciones es bien conocido que durante la evaluación de la población puede presentarse el efecto de hiperestabilidad, el cual se observa cuando las tasas de captura se mantienen altas y el tamaño de la población en declive (Urías-Sotomayor *et al.* 2022), en este sentido, los resultados de la evaluación pesquera del recurso merluza del Pacífico indican que la población tiene un estatus de sostenibilidad.

Para medir la posible hiperestabilidad, que pudiera presentar en el stock de la merluza del Pacífico del Golfo de California se realizó el análisis de reducción de stock (ARS) el cual es un procedimiento que tiene múltiples soluciones por lo que la información a priori resulta relevante para encontrar la solución con mayor probabilidad (Urías-Sotomayor *et al.* 2022).

De acuerdo a la serie de capturas utilizadas fue a partir del año 2000, fueron más regulares que en la década anterior, debido a que el promedio de los volúmenes anuales durante esta década de los noventa fueron en promedio de 200 t, la población de merluza se mantenía virgen (B1), la solución del ARS muestra que una Biomasa inicial (B1) entre los 80, 000 a 90,000 t sería el tamaño del stock virgen de la merluza del Golfo de California, este valor se encuentra dentro del intervalo de biomasa estimado por Nevarez-Martínez *et al.* (2007) que va de los 12,000 hasta los 145, 000 t, con base a los resultados obtenidos, este análisis mostro una reducción del stock (P) entre el 44-49% ($P = 0.56-0.59$) respecto a la biomasa virgen (B1) al 2020 y un reclutamiento (R) de 8, 665 t a 12, 187 t.

En este modelo se puede medir la fuerza que presenta el stock-reclutamiento cuando $r = 0$, el reclutamiento es una constante en el modelo y la población presenta una resiliencia alta, cuando $r = 1$ el reclutamiento es proporcional a la biomasa y la población no es resiliente (Kimura *et al.* 1984). En este trabajo el valor de r (0.5 y 0.6) se podría considerar valor intermedio, esto concuerda con el valor de resiliencia para la especie la cual es considerada media (Froese y Pauly, 2022). Esto indica que la merluza del Pacífico presentará un reclutamiento promedio bajo con clases anuales grandes ocasionalmente, este mismo comportamiento fue reportado por Taylor *et al.* (2015) observaron que en 1980, 1984, 1999 las capturas anuales durante la década de los ochentas y mediados de los dos mil para el stock costero de la corriente de California.

De manera general, el stock de merluza del Pacífico en el Golfo de California presenta una diferencia por sexos (dimorfismo sexual), siendo las hembras de mayor tamaño y peso (105 cm de LT y 7,500 g) respecto a los machos (79 cm de LT y peso de 4,200 g). Además estas diferencias se muestran en la edad, siendo las hembras cuatro años más longevas que los machos (13 años para

hembras y 9 años para machos), con curvas de crecimiento diferentes ($X^2 = 38.16$ $P < 0.05$), presenta una distribución amplia en el norte y centro del Golfo de California, sin embargo, sus principales centros de abundancia son caracterizados por una temperatura de fondo óptima de 13.2°C-14.1°C, un área entre los 113°-114°O y una temporalidad de febrero-mayo, coincidiendo con la temporada reproductiva de la especie, por lo que se ha documentado que la pesquería se lleva a cabo en una agregación reproductiva (Denton-Castillo 2018, Zamora-García *et al.* 2020). Aunque no se han observado fluctuaciones importantes en las biomásas con ningún método de los aquí presentados (C_{RMS} y Área barrida), el stock si presentó una reducción entre el 44% y 49% respecto a la biomasa virgen, sin embargo, históricamente los puntos de referencia biológicos (F/F_{RMS} B/B_{RMS}) mostraron que el stock se encuentra biológicamente sostenible.

10. CONCLUSIONES

- La merluza del Pacífico del Golfo de California, presenta dimorfismo sexual, las hembras alcanzan tallas (105 cm de LT) y pesos (7,500 g) mayores respecto a los machos (79 cm de LT) y pesos (4,200 g).
- La proporción sexual de la merluza del Pacífico en el Golfo de California depende de la temporalidad (meses), la estructura de tallas y la distribución espacial.
- Las mayores abundancias (Biomásas) de la merluza del Pacífico en el Golfo de California, se encuentran en los meses de invierno (47,642.0 a 64,823.8 t).
- Los principales centros de abundancia se localizan cerca de la costa occidental del norte del Golfo de California y entre las grandes Islas (Isla Ángel de la Guarda e Isla Tiburón).
- Los intervalos de temperatura de fondo y profundidad óptima donde se localizarón los centros de abundancia de la merluza del Pacífico en el Golfo de California fueron a los 13° a 14°C a 200 hasta los 300 m.
- Las merluzas del Pacífico del Golfo de California alcanzan hasta 13 años de edad, siendo las hembras cuatro años mayor que los machos.
- El patrón de crecimiento, es descrito por el modelo logístico, con L_{∞} muy cercanas a las reportadas para la especie en el área de estudio.
- Las hembras alcanzan el 50% de su longitud máxima a los cinco años edad, coincidiendo con la talla de madurez sexual, a diferencia de los

machos quienes presentan un crecimiento más acelerado alcanzando el 50% de la longitud total a los tres o cuatro años edad.

- La mortalidad natural de las hembras de merluza es de 0.35 y para machos 0.45.
- El stock de merluza del Pacífico en el Golfo de California se encuentra explotado a un nivel biológicamente sostenible, y en buen estado de salud, esto en términos de biomasa $B_{2021}/B_{RMS} = 1.30$ es decir que se encuentra 30% por encima de su nivel de máximo rendimiento sostenible.
- El stock de merluza del Pacífico en el Golfo de California, se ha reducido hasta el 2020 en un 44-49% respecto a su biomasa virgen.
- Aunque no se aprecia un cambio significativo en las estructuras de tallas y las biomásas respecto al tiempo en el stock de merluza del Golfo de California, así como el diagrama de Kobe muestra un stock sin sobrepesca ni sobrexplotación, la reducción del stock de más del 40% respecto a la biomasa virgen, muestran la necesidad de ejecutar de manera inmediata las medidas de manejo establecidas.

11. RECOMENDACIONES

- Monitoreo constante en la merluza del Pacífico que habita el Golfo de California, ya que su pesquería se desarrolla en una agregación reproductiva, por lo cual, la pesquería podría afectar más a un sexo que a otro, por ejemplo, las hembras son de mayor tamaño que los machos, lo que les confiere mayor vulnerabilidad a ser capturadas, o un mayor número de descartes de machos en las capturas. Presenta dimorfismo sexual que se ve reflejado en diferentes parámetros biológicos y poblacionales (edad, proporción sexual, mortalidad natural, tasas de crecimiento diferente, edad de madurez).
- Evaluar el patrón de distribución del stock de merluza para todo el Golfo de California incluyendo la región sur del Golfo de California y la ostra Occidental de la Península de Baja California, con la finalidad de determinar un patrón de migración del stock o un posible traslape de stocks, así como poder determinar zonas donde se encuentran los juveniles (menores a 25 cm de LT).
- Evaluar la estructura de edad de la población que es sujeta a la pesquería para medir el reclutamiento del stock y analizar cuáles grupos de edad son los de mayor presencia en las capturas y evaluar la periodicidad de las marcas de crecimiento.
- En el presente trabajo se obtuvieron algunos puntos de referencia biológico, que pueden utilizar como base para el asesor técnico en materia de pesca en nuestro país, para continuar con el monitoreo y evaluación del recurso.

12. REFERENCIAS

- Acevedo-Cervantes A., J. López-Martínez, E. Herrera-Valdivia y J. Rodríguez-Romero. 2009. Análisis de la abundancia, dominancia y diversidad de la comunidad de peces demersales de profundidad de 90 a 540 metros en el Golfo de California, México. *Interciencia*. Venezuela. 34: 660-665 p.
- Agostini V.N., A.N. Hendrix, A.B. Hollowed, C. Wilso, S.D. Pierce y R.C. Francis. 2008. Climate-Ocean variability and Pacific hake: A geostatistical modeling approach. *Journal. Marine systems*. 71: 237-248 p. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2007.01.010>.
- Agostini V.N., R.C. Francis, A.B. Hollowed, S.D. Pierce, C. Wilso, y A.N. Hendrix. 2006. The relationship between Pacific hake (*Merluccius productus*) distribution and polewars subsurface in the California Current System. *Can.J.Fish.Aquat.Sci.* 63:2648-2659 p. <https://doi.10.1139/F06-139>.
- Álvarez-Borrego S. 1983. Gulf of California. En B.K. Ketchum (Ed.) *Ecosystems of the world* 26. Estuaries and enclosed áreas. Elsevier. Amsterdam. 427-450 p.
- Arias-Aréchiga, J.P. 1998. Regionalización del Golfo de California: una propuesta a partir de concentración de pigmentos fotosintéticos. Tesis de Licenciatura. Departamento de Biología Marina. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 57 p.
- Arizmendi-Rodríguez D.I., C. Enciso-Enciso, E. Alvarez-Trasviña, A. Valdez-Pelayo, M.O. Nevárez-Martínez, M.A. Martínez-Zavala. 2021(a). Informe técnico sobre la merluza (*Merluccius productus*), en aguas marinas del Golfo de California. Informe técnico (documento interno). Centro Regional

de Investigación Acuícola y Pesquera-Guaymas. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. México. 20 p.

Arizmendi-Rodríguez D.I., E. Alvarez-Trasviña, C. Enciso-Enciso, V.H. Cruz-Escalona y R. Rosas-Luis. 2021(c). Espectro trófico de la merluza del Pacífico *Merluccius productus* (Ayes, 1855) en el Golfo de California. II Simposio Internacional de Investigación Acuícolas y Pesqueras. San Blas, Nayarit (México).

Arizmendi-Rodríguez D.I., M.O. Nevárez-Martínez, C. Enciso-Enciso, A.Valdez-Pelayo, M.A.Martínez Zavala, J.P. Santos Molina Y H. Haro Avalos. 2019. La Merluza del Pacífico (*Merluccius productus*), en aguas marinas del Golfo de California. Informe Técnico (Documento interno) Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera-Guaymas. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. México. 13 p.

Arizmendi-Rodríguez D.I., M.O. Nevárez-Martínez, C. Enciso-Enciso, E. Alvarez-Trasviña, A.Valdez-Pelayo, M.A.Martínez Zavala, Y H. Haro Avalos. 2020. La Merluza del Pacífico (*Merluccius productus*), en aguas marinas del Golfo de California. Informe Técnico (Documento interno) Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera-Guaymas. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. México. 23 p.

Arizmendi-Rodríguez D.I., M.O. Nevárez-Matínez, J. Denton-Castillo, E. Alvarez-Trasviña, C. Enciso-Enciso, A. Valdez-Pelayo y M.A. Martínez-Zavala. 2021(b). Plan de manejo pesquero de la merlua del Pacífico (*Merluccius productus* Ayres, 1855) en el golfo de California. Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera-Guaymas. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. Plan de Manejo Pesquero. 47 p.

- Arrellano-Peralta V.A. y L. Medrano-González. 2013. Mamíferos marinos en el Golfo de California. Macroecología, impacto humano. México. Universidad Autónoma de México. 256 p.
- Bailey K.M., R.C. Francis y P.R. Stevens. 1982. The life history and the fishery of Pacific Whiting, *Merluccius productus*. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports. 23: 81-98 p.
- Balart-Páez E. F. 2005. Biología y Econología de la merluza Bajacaliforniana, *Merluccius angustimanus* Garman, 1899, en la costa occidental de Baja California Sur, México. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León. 158 p.
- Balart-Páez E.F. 1996. Recurso merluza. 265-271. En Casas-Valdez M. y Ponce-Díaz G (eds). Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, B.C.S. 350 p.
- Beamish J.R. y D.A.Fournier. 1981. A method for comparing the precision of set of age determinations. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 38: 982-983 p.
- Beamish R.J. 1979. Differences in the Age of Pacific Hake (*Merluccius productus*) Using Whole Otoliths and Sections of Otoliths. Journal of Fisheries Board of Canada, 36: 141-151 p.
- Benson A.J. y A.W. Trites. 2002. Ecological effects of régimen shifts in the Bearing sea and Eastern North Pacific Ocean. Fish Fish. 3:15-113 p. <https://doi.org/10.1046/j.1467-2979.2002.00078.x>.

- Best E.A. 1962. Contribution to the biology of the Pacific hake, *Merluccius productus* (Ayres). California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation. 9:51-56 p.
- Buckley T.W. y P.A. Livingston. 1997. Geographic variation in the diet of Pacific hake , whith note on cannibalism. CalCoFI Rep. 38. 53-62 p.
- Burnham K.P. y D.R. Anderson. 2002. Model selection and multimodel inference: A practical information-theoretic approach. Springer. 2nd Ed. New York, N.Y. 488 p.
- Campana S.E., M.C. Annand y J.I. McMillan. 1995. Graphical and statistical methods for determining the consistency of age determinations. Transactions of the American Fisheries Society. 124: 131-138 p.
- Chang W.B. 1982. A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 39: 1208-1210 p.
- Cochrane K.L. 2005. Guía del administrador pesquero. Medida de ordenación y su aplicación. Documento técnico de pesca. FAO. Roma, Italia.
- Dark T. 1974. Age and Growth of Pacific Hake, *Merluccius productus*. Fishery Bulletin. (73) 2: 336-355 p.
- Denton-Castillo J. 2018. Agregaciones y Aspectos reproductivos de la merluza *Merluccius productus* (Ayres, 1855) en el centro y norte del Golfo de California. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Sinaloa. 126 p.

- DOF. 2004. Acuerdo mediante el cual se aprueba la actualización de la Carta Nacional Pesquera y su anexo. DOF: 19/12/2003.
- DOF. 2018. Acuerdo por el que se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Pesquera. DOF:11/06/2018.
- DOF. 2022. Acuerdo por el que se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Pesquera. DOF:26/07/2022.
- Dorn M.W. 1995. The effects of age composition and oceanographic conditions on the annual migration of Pacific whiting, *Merluccius productus*. CalCOFI Rep. 36:97-105 p.
- Easey M.W., y R.S. Millner. 2008. Improved methods for the preparation and staining of thin sections of fish otoliths for age determination. Ciencia Series. Technical Report 143. 14 p. ISSN 03085589.
- Efron B. 1979. Bootstrap methods: Another look at the Jackknife. Annals of statistics. 7(1): 1-26 p. <https://doi.org/10.1214/aos/1176344552>.
- Environmental Defense Fund. 2017. Resultados del programa de técnicos a bordo de la pesquería de merluza en el alto golfo de California: primeros tres años de estudio (2015-2017). Octubre 2017. 63 p.
- Espinoza de los Reyes-Ayala M.G.2007. Variabilidad espacial de la dieta del lobo marino de California (*Zalophus californianus californianus*, Lesson 1828). Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 175 p.

FAO 2022a. Estadística de Pesca y Acuicultura. Recuperado de: <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-production/es>.

FAO 2022b. El estado mundial de la pesca y acuicultura 2022. Hacia la transformación azul. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461es>.

Fernández-Peralta L., F. Salmerón, J.R. Ma Puerto, R. García Canela. 2011. Biología reproductiva de las merluzas negras (*Merluccius polly* y *M. senegalensis*) en aguas de Mairitania. *Ciencias Marinas*. 37(4B): 527-547 p.

Fischer W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K. Carpenter y V.H. Niem, 1995. Guía FAO. Para La Identificación De Especies Para Los Fines De La Pesca. FAO, Pacífico centro-oriental, Roma, ISBN:0121797317:1813 p.

Froese R. y D. Pauly. Editors 2022. FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, 06/2022.

Froese R., N. Demirel, G. Coro, K.M. Kleisner y H. Winker. 2017. Estimating fisheries reference points from catch and resilience. *Fish and Fisheries*. 21 p.

García De León F.J., C. Galván Tirado, L. Sánchez Velasco, C.A. Silva-Segundo, R. Hernández Guzmán, I.A. Barriga-Sosa, J. Píndaro Díaz, M. Canino y P. Cruz Hernández. 2018. Role of oceanography in shaping the genetic structure in the North Pacific hake *Merluccius productus*. *Plos One*. 13(3): 26 p.

Genner M.J., D.W. Simd, A.J. Southward, G.C. Budd, P. Masterson, M. Mchugh, P. Rendle, E. J. Southall, V. J. Wearmouth y S. J. Hawkins. 2010. Body size-

dependent responses of a marine fish assemblage to climate change and fishing over a century-long scale. *Global change biology*. 16, 517-527 p. , doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.02027.x.

Grande-Vidal J.M. 1983. Evaluación biotecnológica de los recursos demersales vulnerables a redes de arrastre de fondo en el Golfo de California 1978-1980. *Ciencia Pesquera* 4: 97-125 p.

Guisan A., T.C. Edwards y T. Hastie. 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling*. 157: 89-100 p.

Haddon M. 2001. *Modelling and Quantitative Methods in Fisheries*. Chapman y Hall CRC, USA, 406 p.

Hamel O.S., P.H. Ressler, R.E. Thomas, D.A. Waldeck, A.W. Hicks, J.A. Holmes y W.G. Fleischer. 2015. Biology, fisheries, assessment and management of Pacific hake (*Merluccius productus*). 235-266. En: Arancibia H. Hakes. *Biology and Exploitation*. John Wiley and sons Ltd. United Kingdom. 345 p.

Hernández Herrera A., E. Morales-Bojórquez, M.A. Cisneros-Mata, M.O. Nevárez-Martínez y G.I. Rivera-Parra. 1998. Management strategy for the giant squid (*Dosidicus gigas*) fishery 404 in the Gulf of California Mexico. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations 405 Reports*. 39: 212-218 p.

Hicks A.C., N. Taylor, C. Grandin, I.G. Taylor y S. Cox. 2013. Status of the Pacific hake (Whiting) stock in the U.S. and Canadian waters in 2013. *International Joint Technical Committee for Pacific hake*. 175 p.

ITIS – Integrated Taxonomic Information System. 2022. <http://www.itis.gov/> (consultado septiembre 2022).

Iwamoto E., M.J. Ford y R.G. Gustafson. 2004. Genetic Population structure of Pacific hake, *Merluccius productus*, in the Pacific Northwest. Environ. Biol. Fishes. 69: 187–199 p. <https://doi.org/10.1023/B:EBFI.0000022895.10683.c5>

Kainge P., A.K. Van der Plas, C.H. Bartholomae y K. Wieland. 2017. Effects of environmental variables on survey catch rates and distribution by size of shallow and deep water Cape hakes, *Merluccius capensis* and *Merluccius paradoxus* off Namibia. Fisheries Oceanography 26: 680-692 p.

Kimura D.K., J.W. Balsiger y D.H. Ito. 1984. Generalized Stock Reduction Analysis. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 4: 1325-1333 p.

Lavín M.F., E. Beier y A. Badán. (1997). Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escalas estacionales e interanuales. Contribuciones de la Oceanografía Física en México. Monogr. No. 3. Unión Geofísica Mexicana. 139-169 p.

Ligas A., C. Pierattini, C. Viva, D. Bertolini y P. Belcari. 2011. Age estimation and growth of European hake, *Merluccius merluccius* (Linnaeus, 1758), in the Northern Tyrrhenian sea. Sci. nat. Mem. 118: 9-14 p. DOI: 10.2424/astn.m.2011.16.

Livington P. 1983. Food habits of Pacific whiting, *Merluccius productus*, off the west coast of north America , 1967 and 1980. Fishery Bulletin. 81(3): 629-636 p.

- Lloris D., J. Matallanas y P. Oliver. 2005. Merluzas del mundo (Familia Merluccidae). Catálogo comentado e ilustrado de las merluzas conocidas. FAO Catálogo de especies par los fines de la pesca No. 2. Roma. 57 p.
- Lluch-Cota S.E. y J.P. Arias-Aréchiga. 2000. Sobre la importancia de considerar la existencia de centros de actividad biológica para la regionalización del océano: El caso del Golfo de California. In: Lluch-Cota D, J. Elorduy-Garay, S.E. Lluch-Cota, G. Ponce-Díaz (eds.), Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. CIBNOR.
- Lluch-Cota S.E., E.A. Aragón-Noriega, F. Arreguín-Sánchez, D. Aurióles-Gamboa, J.J. Bautista-Romero, R.C. Brusca, R. Cervantes-Duarte, R. Cortés-Altamirano, P. Del Monte-Luna P, A. Esquivel-Herrera. 2007. The Gulf of California: Review of ecosystem status and sustainability challenges. Prog. Oceanogr. 73: 1-26 p.
- Lorenzo M.I., M. Scavino, y E. Chiesa. 2013. Evaluación de la corvine (*Micropogonias furnieri*) en la Zona Común de pesca Argentina-Uruguay. En Nicolas L. Gutiérrez y Omar Defeo (Eds). Evaluación de recursos pesqueros de Uruguay mediante modelos dinámicos. Proyecto Gestión Pesquera en Uruguay. Montevideo, MGAP-DINARA-FAO. 31-34 p.
- Markaida U., y O., Sosa-Nishizaki. 2003. Food and feeding habits of jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) from the Gulf of California, Mexico. Journal of the Marine Biological Association of the U.K. 83: 507-522 p. doi:10.1017/S0025315403007434h.
- Martell S. y Froese R. 2013. A simple method for estimating MSY from catch and resilience. Fish and Fisheries, 14 (4): 504-514. DOI: 10.1111/j.1467-2979.2012.00485.x.

- Mathews C.P., J.L. Granados y J. Arvizu. 1974. Results of the exploratory cruises of the Alejandro de Humboldt in the Gulf of California. México PNUD/FAO. INP. In Mar. Res. Comm. Calif. Coop. Ocean. Fish Invest. Rept. 17:101-111 p.
- Mathews C.P. 1985. Meristic studies of the Gulf of California species of *Merluccius*, with a description of a new species, Journal of Natural History, 19:4, 697-718 p.
- McFarlane G. A. y R.J. Beamish. 1985. Biology and Fishery of Pacific Whiting, *Merluccius productus*, in the Strait of Georgia. Marine Fisheries Review, 47(2): 23-34 p.
- McFarlane G. A., W. Shaw y R.J. Beamish. 1983. Observation on the biology and distribution of Pacific hake, Walleye pollock and Spiny dogfish in the Strait of Georgia, February 20- May 2, and July 3, 1981. Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences. 109 p.
- McFarlane G.A. y M.W. Saunders. 1997. Fecundity of Pacific hake (*Merluccius productus*) for three stocks off the west coast of North America. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report, 38: 114-119 p.
- Methot R.D. y M.W. Dorn. 1995. Biology and fisheries of North Pacific hake (*M. productus*), p. 389-414. En Alheit J. y T.J. Pitcher (eds.). Hake biology, fisheries and markets. Chapman and Hall. London. 477 p.
- Molina Cruz A. 1986. Evolución oceanográfica de la boca del Golfo de California Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 13 (2): 95-120 p.

- Morales-Nin B. 1992. Determinación del crecimiento de peces óseos en base a la microestructura del otolito. FAO. Documento técnico de pesca. 322. 58 p.
- Nevárez-Martínez, M.O., A. Balmori-Ramírez., J. P. Santos-Molina, C. Cervantes-Valle, J. López-Martínez, F.J. Méndez-Tenorio, M. L. Anguiano-Carrasco, A. Acevedo-Cervantes., E. Miranda-Mier., R. Morales-Azpeitia y E. Valdivia-Herrera. 2007. Prospección de merluza y bacalao: distribución, tamaño poblacional e ictiofauna asociada en el Golfo de California. Informe de Investigación clave: SAGARPA-2003-C01-047.
- Nevárez-Martínez, M.O., A. Hernández-Herrera, E. Morales-Bojórquez, A. Balmori-Ramírez, M. A. Cisneros-Mata y R. Morales-Azpeitia. 2000. Biomass and distribution of the jumbo squid (*Dosidicus gigas*; d'Orbigny, 1835) in the Gulf of California, México. Fisheries Research., 1072: 1-12 p.
- Padilla-García M. A. 1977. Biomasa de sardina *Sardinops sagax* y merluza *Merluccius productus*. Ciencia Pesquera. Instituto Nacional de Pesca. Depto. Pesca. 1(1): 35-43 p.
- Palacios León J., E. Argumedo Guillen y R. Guevara-Carrasco. 2018. Evaluación de la merluza Peruana (*Merluccius gavy peruanus*) por el método de área barrida en el otoño 2014. Informe de Investigación. Instituto del Mar de Perú. 23-29 p. ISSN 0378-7702.
- Parra-Alaniz J.C. y Ramírez-Rodríguez M. 2022. Fleet efficiency in the Pacific hake (*Merluccius productus*) fishery in the Gulf of California, Mexico. Latin American Journal Aquatic Research. 50(1): 99-109 p. doi:10.3856/vol50-issue1-fulltext-2729.

- Pauly D. 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *J. Cons. Int. Explor. Mer.* 39(2): 175-192 p.
- Pierce G.J. y A. Guerra. 1994. Stock assessment methods used for cephalopod fisheries. *Fisheries. Research.* 21: 255-285 p. [https://doi.org/10.1016/0165-7836\(94\)90108-2](https://doi.org/10.1016/0165-7836(94)90108-2)
- Piñeiro C.G. y M. Saínza. 2003. Age estimation, growth and maturity of the European hake (*Merluccius merluccius* (Linnaeus, 1758)) from Iberian Atlantic waters. *ICES. Journal of Marine Science*, 60: 1086-1102 p.
- R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R 451 Foundation for Statistical computing, Vienna, Austria. URL. <https://www.R-project.org/>.
- Ramírez-Rodríguez M. 2017. A Profitability Analysis of the Catch Quotas for the Pacific Hake Fishery in the Gulf of California, *North American Journal of Fisheries Management*, 37:1, 23-29 p.
- Ressler H.P., J.A. Holmes, G.W. Fleischer, R.E. Thomas y K.C. Cooke. 2007. Pacific hake, *Merluccius productus*, Autoecology: A timely review. *Marine Fisheries Review.* 69(1–4):1–24 p.
- Ripa P. 1997. Toward a physical explanation of the seasonal dynamics and thermodynamics of the Gulf of California. *J. Phys.Oceanogr.* 27(5): 597-614 p. <https://doi.org/10.1175/1520-0485>.

- Rivera-Parra, G. I. 2001. La pesquería del calamar gigante *Dosidicus gigas* (d'Orbigny, 1835) en el Golfo de California, México. Tesis de Doctorado, Universidad de Colima. 90 p.
- Rosas-Luis R. 2007. Descripción de la alimentación del calamar gigante *Dosidicus gigas* D'Orbigny, 1835 en la costa occidental de la Península de Baja California. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur. 84 p.
- Ruíz-Domínguez M. y C. Quiñonez-Velázquez. 2018. Edad, crecimiento y mortalidad de *Ophistonema libertate* en las costas del noroeste de México. *Ciencias Marinas*. 44(4): 235–250 p.
<https://doi.org/10.7773/cm.v44xi4.2908>.
- Ruíz-Domínguez M., C. Quiñonez-Velázquez, D.I. Arizmendi-Rodríguez, V.M. Gómez-Muñoz y M.O. Nevárez-Martínez. 2021. Assessment of the exploitable biomass of thread herring (*Opisthonema* sp.) in northwestern Mexico. *Acta Oceanologica Sinica*. 40(10) 54-66 p.
<https://doi.org/10.1007/s13131-021-1785-3>
- Sadovy de Mitcheson Y. 2006. Mainstreaming fish spawning aggregations into fishery management calls for a precautionary approach. *Bioscience*. 66(4). 295-306 p.
- Salcido-Guevara L.A., R. Sánchez-Cardenas y J.L.Gutiérrez-González. 2014. Esfuerzo de muestreo mínimo para la estimación de la densidad y la biomasa del abulón azul *Haliotis fulgens* de Bahía Magdalena, Baja California Sur. *Ciencia Pesquera*. 22(2): 79-84 p.

- Salinas-Mayoral C.A. 2018. Dinámica poblacional de la Merluza del Pacífico *Merluccius productus* (Ayres, 1855), en la Costa Occidental de BCS, México. Tesis Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 84 p.
- Saunders M.W. y G. McFarlane. 1997. Observations on the spawning distribution and biology of offshore Pacific hake (*Merluccius productus*). CalCOFI Rep., 38:147-157 p.
- Schaeffer R.L., W. Mendenhall y L. Ott. 1987. Elementos de muestreo. Grupo Editorial Iberoamérica. México D.F. 321 p.
- Silva Segundo C.A. 2011. Estatus taxonómico y estructura genética poblacional del género *Merluccius* en el Pacífico nororiental y central, mediante la aplicación de marcadores mitocondriales y nucleares. Tesis Doctorado. Centro de Investigaciones Biológicas del noroeste, S.C. 122 p.
- Smith B.D., G.A. McFarlane, W. Saunder. 1990. Variation in Pacific hake (*Merluccius productus*) summer length-at-age near southern Vancouver Island and its relationship to fishing and oceanography. Can.J.Fish Aquatic. Sci. 47(11): 2195-2211 p. <https://doi.org/10.1139/f90-44>.
- Sturges H. A. 1926. The choice of a class interval. JSTOR. 21(153):65-66 p. <https://www.jstor.org/stable/2965501>.
- Su N.Y., C.L. Sun, A.E. Punt, S.Z. Yeh y G. DiNardo. 2011. Modelling the impacts of environmental variation on the distribution of blue marlín, *Makaira nigricans*, in the Pacific Ocean. Journal of Marine Science. 68(6): 1072-1080 p. doi: 10.1093/icesjms/fsr028.

- Sumida B.Y. y H.G. Moser. 1980. Food and feeding of Pacific hake larvae, *Merluccius productus*, off southern California and northern Baja California. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep. 21:161-166 p.
- Swartzman G. 1997. Analysis of the summer distribution of fish schools in the Pacific Eastern Boundary Current. ICES. J. Mar.Sci. 54: 117-124 p. <https://doi.org/10.1006/jmsc.1996.0160>.
- Tagliafico A, N. Rago, A. Lárez y S. Rangel. 2012. Estructura de talla de 20 especies de peces capturados por la flota artesanal de la Isla de Margarita, Venezuela. Ciencia, 30(4): 217-232 p.
- Taylor I.G., C. Grandin, A.C. Hicks, N. Taylor y S.Cox. 2015. Status of the Pacific Hake (Whiting) stock un U.S. and Canadian water in 2015. Prepared by the Joint Technical Committee of the U.S. and Canada Pacific Hake/Whiting Agreement; National Marine Fishery Service; Canada Departament of Fisheries and Oceans. 159 p.
- Torres-Orozco E. 1993. Análisis volumétrico de las masas de agua en el Golfo de California. Tesis de maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México, 80 p.
- Trujillo-Olvera A. 2012. Hábitos alimentarios de la merluza del Pacífico *Merluccius productus* (Stimson, 1860) de la costa occidental, Baja California Sur. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Sinaloa. 64 p.
- Urías-Sotomayor R., G. Rodríguez-Domínguez, J.A. Félix-Ortiz, G.G. Ortega-Lizárraga, H.A. Muñoz-Rubí y A. Aragón-Noriega. 2022. Stock Reducction Analysis of Bigeye Croaker *Micropogonias megalops* in the Upper Gulf of California, Mexico. Fishes 2022 (7)1. DOI: 10.3390/fishes7010015.

Vrooman A.M. y P.A. Paloma. 1977. Dwarf hake off coast of Baja California, Mexico. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report. 19: 67-72 p.

Wood S.N. 2006. Generalized Additive Models: An Introduction with R. 1st ed. 473 Florida:Chapman and Hall/CRC. 410 p.

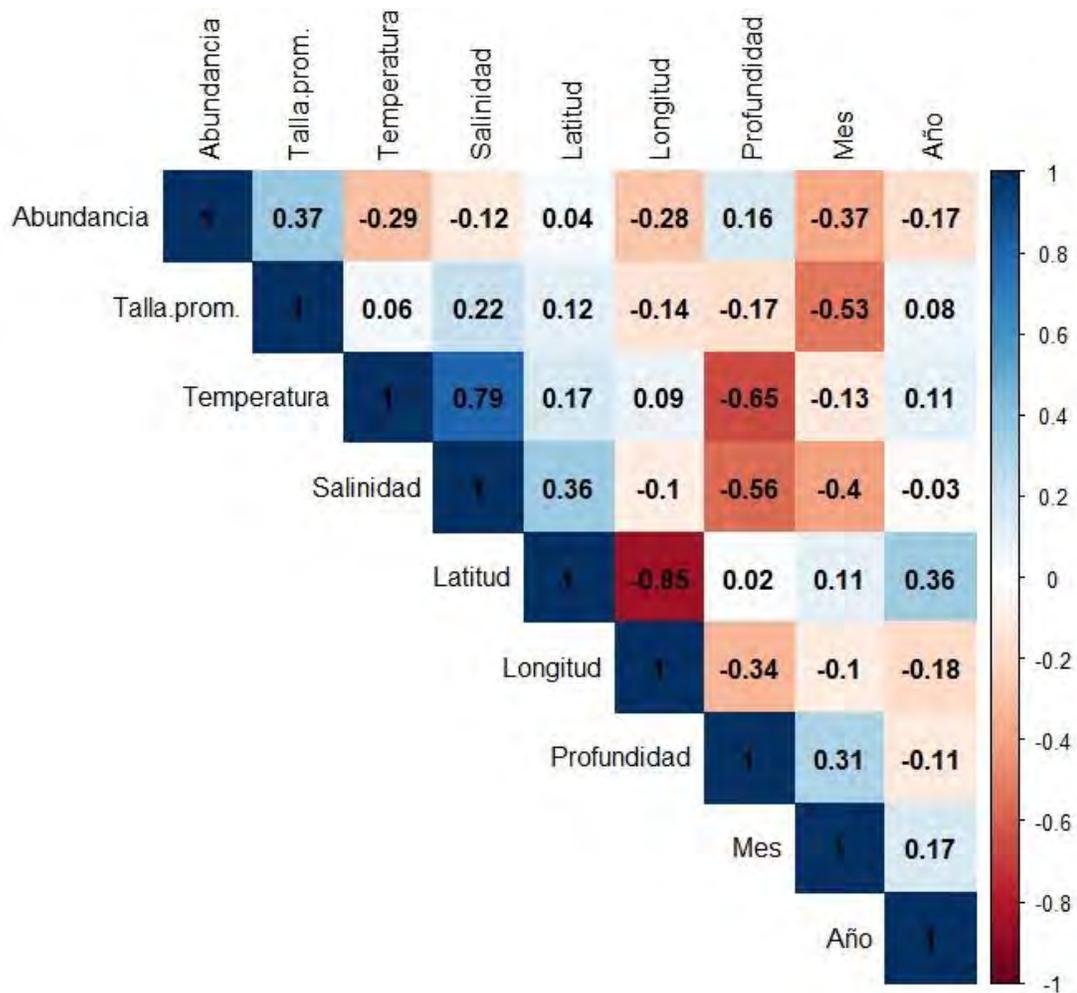
Zamora-García O.G. 2021. Ecología pesquera y dinámica poblacional de la merluza norteña *Merluccius productus* (Ayres. 1855) del norte del golfo de California. Tesis Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad México. 188 p.

Zamora-García O.G., J.F.Márquez-Farías, A. Stavrinsky-Suárez, C. Díaz-Avalos, N.I. Zamora-García y R.E.Lara-Mendoza. 2020. Catch rate, length and sex ratio of Pacific hake (*Merluccius productus*) in the northern Gulf of California. Fishery bulletin. 118 (4) 365-379 p.

Zuur A.F., E.N. Ieno, N.J. Walker, A.A. Saveliev, y G.M. Smith. 2009. Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R. New York: Springer. 563 p. <http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-87458-6>

13. ANEXOS

Anexo 1. Matriz de correlación de las variables utilizadas en los modelos aditivos generalizados (GAM).



Anexo 2: Estimaciones de parámetros de crecimiento de merluza del Pacífico *Merluccius productus* por varios autores. LF = longitud furcal, LE = longitud estándar.

Autor	Modelo crecimiento		Edad (años)	L_{∞} (cm)	$K_{(años)}$	t_0	Área
Dark (1974)	Von Bertalanffy	Hembras	13	61.23 LF	0.30	0.01	California, Oregon y Washington
		Machos	12	56.29 LF	0.34	0.20	
Mcfarlane y Beamish (1985)	Von Bertalanffy	Ambos	20	44.5 LF	0.45	-0.173	Strait of Georgia, Cánada
		Ambos	18	56.9 LF	0.23	-3.94	Stock costero
Balart-Páez (2005)*	Von Bertalanffy	Ambos		31.3 LE	0.48	-1.29	Costa occidental de la Península de Baja California
		Hembras	5	31.5 LE	0.49	-1.25	
		Machos	4	31.5 LE	0.47	-1.35	
Salinas-Mayoral (2018)	Von Bertalanffy	Ambos		31.02 LE	0.11	0.01	Costa occidental de la Península de Baja California
		Hembras	12	40.03 LE	0.04	0.01	
		Machos	5	34.1 LE	0.06	0.01	
Zamora García (2021)	Gompertz	Hembras	13	87.16 LE	0.28	2.24	Golfo California, México
		Machos	9	78.27 LE	0.30	1.99	
Presente estudio	Logístico	Hembras	13	113.23 LE	0.32	6.53	Golfo de California, México
		Machos	9	82.33 LE	0.41	4.55	

**Merluza hernandenzi*