



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

PROPUESTA DE MANEJO DE LA PESQUERÍA EMERGENTE DE
MERLUZA DEL PACÍFICO NORTE *Merluccius productus* EN EL
GOLFO DE ULLOA, BAJA CALIFORNIA SUR.

T E S I S

Que para obtener el grado de

Doctor en Ciencias

Bioeconomía Pesquera y Acuícola
(Orientación en Ecología Pesquera)

P r e s e n t a

Pablo Mora Zamacona

La Paz, Baja California Sur, diciembre de 2023.

ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 13 horas del día 15 del Mes de Noviembre del 2023, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

Propuesta de manejo de la pesquería emergente de merluza del Pacífico norte *Merluccius productus* en el Golfo de Ulloa, Baja California Sur

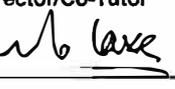
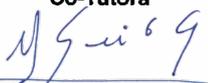
Presentada por el alumno:

Pablo Mora Zamacona

Aspirante al Grado de DOCTOR EN CIENCIAS EN BIOECONOMÍA PESQUERA Y ACUÍCOLA

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

LA COMISIÓN REVISORA

 _____ Dr. César Augusto Salinas Zavala Director/Co-Director de Tesis	 _____ Dr. Raúl Roberto Villanueva Poot Co-Director/Co-Tutor
 _____ Dr. Enrique Morales Bojórquez Co-Tutor	 _____ Dr. Fernando Ignacio González Laxe Co-Tutor
 _____ Ph. D. Kristin Marshall Co-Tutora	
 _____ Dra. Alejandra Nieto Garibay, Directora de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos	



La Paz, Baja California Sur, a 22 de noviembre de 2023.

Los miembros del comité de tesis del estudiante Pablo Mora Zamacona del Programa de Doctorado en Ciencias en Bioeconomía Pesquera y Acuícola, revisamos el contenido de la tesis y otorgamos el Vo.Bo. dado que la tesis no representa un plagio de otro documento como lo muestra el reporte de similitud realizado:

- Herramienta antiplagio:
iThenticate
- Filtros utilizados:
Excluir citas
Excluir bibliografía
- Porcentajes de similitud:
10%
Se muestra captura de pantalla

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	cibnor.repositorioinstitucional.mx Internet	477 palabras — 3%
2	Pablo Mora-Zamacona, César A. Salinas-Zavala, Raúl R. Villanueva-Poot, Enrique Morales-Bojórquez et al. "Sustainable management of a new fishing stock: Bioeconomic approach under biological and market uncertainty", Fisheries Research, 2023 Crossref	154 palabras — 1%
3	reunionescientificas2021.inifap.gob.mx Internet	139 palabras — 1%
4	docplayer.es Internet	89 palabras — < 1%
5	repositoriodigital.ipn.mx Internet	88 palabras — < 1%
6	consultaspublicas.semarnat.gob.mx Internet	69 palabras — < 1%
7	www.repositoriodigital.ipn.mx Internet	62 palabras — < 1%
8	hdl.handle.net Internet	43 palabras — < 1%

Firmas del Comité

Dr. César A. Salinas Zavala

Dr. Raúl R. Villanueva Poot

Dr. Enrique Morales Bojórquez

Dr. Fernando I. González Laxe

Ph. D. Kristin Marshall

Conformación de Comités

Comité Tutorial

Dr. César Augusto Salinas Zavala
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Co-Director de Tesis

Dr. Raúl Roberto Villanueva Poot
Universidad Marista de Mérida
Co-Director de Tesis

Dr. Enrique Morales Bojórquez
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Co-Tutor de Tesis

Dr. Fernando Ignacio González Laxe
Universidade da Coruña
Co-Tutor de Tesis

Ph. D. Kristin Marshall
Northwest Fisheries Science Center, NOAA
Co-Tutora de Tesis

Comité Revisor de Tesis

Dr. César Augusto Salinas Zavala
Dr. Raúl Roberto Villanueva Poot
Dr. Enrique Morales Bojórquez
Dr. Fernando Ignacio González Laxe
Ph. D. Kristin Marshall

Jurado de Examen

Dr. César Augusto Salinas Zavala
Dr. Raúl Roberto Villanueva Poot
Dr. Enrique Morales Bojórquez
Dr. Fernando Ignacio González Laxe
Ph. D. Kristin Marshall

Suplentes

Dra. María Verónica Morales Zárate
Dr. Fernando Aranceta Garza

Resumen

La merluza del Pacífico *Merluccius productus* se distribuye desde Alaska hasta el sur de México, con una población particular descrita al sur de la península de Baja California conocida como merluza enana, de la que poco se sabe. Dicha población actualmente no es pescada comercialmente, por lo que representa un recurso con potencial de explotación. Las pesquerías potenciales y emergentes crean desafíos y oportunidades para los administradores pesqueros que necesitan tomar decisiones sobre cómo gestionar de forma sostenible una pesquería previa a su inicio. Este trabajo propone y analiza posibles medidas alternativas de gestión pesquera para esta potencial pesquería, bajo incertidumbre biológica y de mercado. Debido al desconocimiento de diversos aspectos de la biología del recurso primeramente se analizó el crecimiento individual del stock y posteriormente se realizó un análisis bioeconómico de la potencial pesquería.

Para el análisis del crecimiento individual se utilizó un total de 240 otolitos y datos de longitud patrón de 932 especímenes muestreados de mayo a diciembre de 2015. La formación anual de incrementos en los otolitos se verificó mediante la relación de incremento marginal y el análisis de borde. La edad se estimó a partir de recuentos de anillos en secciones sagitales de otolitos y el crecimiento se analizó mediante un enfoque de inferencia multimodelo. Se consideraron los modelos de crecimiento de von Bertalanffy (VBGM), VBGM generalizado, Gompertz, Logístico y Johnson, los cuales se ajustaron a conjuntos de datos de talla a la edad observados y retrocalculados agrupados por sexo. Según el criterio de información de Akaike, el VBGM generalizado fue el más apropiado para las hembras ($L_{\infty}= 31.36$ cm, $k= 0.15$ cm año⁻¹), mientras que el VBGM proporcionó el mejor ajuste para los machos ($L_{\infty}= 25.35$ cm, $k= 0.28$ cm año⁻¹).

El análisis bioeconómico de alternativas de manejo para una potencial pesquería de merluza enana indicó que una nueva pesquería de dicho stock podría ser biológicamente sostenible y económicamente rentable, bajo un conjunto de estrategias de gestión y reglas de control. Se recomienda un acceso limitado con bajo esfuerzo pesquero ya que resulta más redituable por barco y biológicamente precautorio, considerando la alta incertidumbre asociada con la explotación de una población virgen. A pesar de la combinación de altos costos operativos y bajos precios de venta, la pesquería aún podría ser rentable a largo plazo, aunque existe riesgo de sobreexplotación si se permite un alto esfuerzo pesquero. Sin embargo, nuestros resultados sugieren un riesgo bajo de acabar con la población si la pesquería se gestiona con niveles de esfuerzo bajos, lo que brinda la oportunidad de obtener datos y realizar una gestión adaptativa. Este trabajo aborda la rara oportunidad de evaluar una pesquería antes de su funcionamiento, con todas las limitaciones e incertidumbres asociadas a los datos.

Palabras clave: Merluza enana, stock no explotado, crecimiento individual, análisis bioeconómico, pesquería potencial.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3254-1381>



Dr. César A. Salinas Zavala

Vo.Bo. Co-Directores de Tesis



Dr. Raúl R. Villanueva Poot

Summary

The Pacific hake *Merluccius productus* is distributed from Alaska to southern Mexico, with a particular population described south of the Baja California peninsula known as dwarf hake, about which little is known. This population is not currently commercially fished; hence it represents a resource with potential for exploitation. Potential and emerging fisheries create challenges and opportunities for fishery managers who need to make decisions about how to sustainably manage a fishery prior to its initiation. This work proposes and analyzes possible alternative fishery management measures for this potential fishery, under biological and market uncertainty. Due to the lack of knowledge of various aspects of the biology of the resource, the individual growth of the stock was first analyzed and subsequently a bioeconomic analysis of the potential fishery was carried out.

A total of 240 otoliths and standard-length data from 932 specimens sampled from May to December 2015 were used for the analysis of individual growth. The annual formation of otolith increments was verified using the marginal increment analysis and the edge analysis. Age was estimated from *annuli* counts in sagittal sections of otoliths and growth was analyzed using a multi-model inference approach. The von Bertalanffy growth models (VBGM), generalized VBGM, Gompertz, Logistic and Johnson growth models were considered, which were fitted to observed and back calculated length-at-age data sets grouped by sex. According to Akaike's information criterion, the generalized VBGM was the most appropriate for females (L_{∞} = 31.36 cm, k = 0.15 cm year⁻¹), while the VBGM provided the best fit for males (L_{∞} = 25.35 cm, k = 0.28 cm year⁻¹).

The bioeconomic analysis of management alternatives for a potential dwarf hake fishery indicated that a new fishery for said stock could be biologically sustainable and economically profitable, under a set of management strategies and control rules. Limited access with low fishing effort is recommended as it is more profitable by boat and biologically precautionary, considering the high uncertainty associated with the exploitation of an unfished stock. Despite the combination of high fishing costs and low prices, the fishery could still be profitable in the long term, although there is risk of overexploitation if high fishing effort is allowed. However, our results suggest a low risk of population depletion if the fishery is managed at low levels of effort, providing the opportunity for data collection and adaptive management. This work addresses the rare opportunity to assess a fishery prior to its operation, with all the limitations and uncertainties associated with the data.

Keywords: Dwarf hake, unexploited stock, individual growth, bioeconomic analysis, potential fishery.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3254-1381>



Dr. César A. Salinas Zavala

Vo.Bo. Co-Directores de Tesis



Dr. Raúl R. Villanueva Poot

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a mi familia.

Por un lado, está mi familia chiquita, conformada por Gina y dos peludas desmadrosas, Winnie y Pixie. Gracias por ser mi lugar feliz.

Por otro lado, está mi familia a distancia, mi suegris, mi madre, mi hermana y mi padre. Gracias por confiar en mí y apoyarme siempre.

Agradecimientos

Agradecimientos al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. y a la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos, por aceptarme en el Programa Interinstitucional de Posgrado de Doctorado en Ciencias en Bioeconomía Pesquera y Acuícola.

A CONAHCyT por la beca otorgada (No. de beca 704227), sin la cual no hubiera sido posible la realización de la presente investigación.

Al Dr. César Augusto Salinas Zavala por su guía, su invaluable apoyo y su siempre buena disposición, así como por haberme facilitado los datos requeridos para la presente investigación, los cuales proceden de los proyectos “Transferencia de paquete tecnológico para la pesquería de merluza (*Merluccius productus*) en la costa occidental de la Península de Baja California, México” (Clave 100C) financiado por CONACyT y “Aseguramiento alimentario en México: contribución de la proteína de origen marino al mejoramiento de la dieta del mexicano”.

Al Dr. Raúl Roberto Villanueva Poot por sus siempre acertados comentarios, buenas ideas y por su valioso apoyo en todo momento.

Al Dr. Enrique Morales Bojórquez por sus comentarios atinados en la formación del presente trabajo y por su apoyo.

Al Dr. Fernando Ignacio González Laxe por sus palabras de ánimo y buena disposición.

A la Ph. D. Kristin Marshall por sus excelentes ideas y sugerencias en la formación del presente trabajo y los artículos relacionados, así como su buena disposición en todo momento.

A la Dra. María Verónica Morales Zárate, por su valioso apoyo y buen ánimo, así como al proyecto A1-S-43455: “Modelación basada en agentes como herramienta para la evaluación de

resiliencia en un sistema socioambiental de uso pesquero”, con financiamiento del Fondo Sectorial de Investigación para la Educación, del cual recibí apoyo invaluable.

A toda la tripulación del BIP XII y al personal que formó parte del proyecto, quienes fueron los responsables de la generación de datos y obtención de muestras de merluza.

A Horacio Sandoval Gómez por todo su apoyo en la logística.

A todo el personal de la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos por su atención y amabilidad en las diversas solicitudes y dudas que presenté durante mi estancia como alumno de CIBNOR.

A mi familia por su apoyo incondicional, siempre me han impulsado a seguir adelante con mis sueños.

A mi Flais por darme esa palmadita en la espalda que me empuja a ser mejor y aspirar a más.

A todos los amigos que me han apoyado directa o indirectamente en el transcurso de mi formación como doctor en ciencias.

Contenido	
Resumen	i
Summary	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Contenido	vi
Lista de figuras	viii
Lista de tablas	ix
Abreviaturas	x
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
2.1 La merluza “enana”	5
2.2 Importancia del estudio del crecimiento individual.....	6
2.3 Ordenación pesquera	7
2.3.1 Regulación de artes de pesca.....	8
2.3.2 Restricciones temporales y espaciales.....	9
2.3.3 Controles de insumos y productos.....	10
3. JUSTIFICACIÓN	12
4. HIPÓTESIS	13
5. OBJETIVOS	14
5.1 Objetivo general	14
5.2 Objetivos particulares.....	14
6. MATERIAL Y MÉTODOS	15
6.1 Análisis del crecimiento individual de la merluza enana	15
6.1.1 Recolección de muestras.....	15
6.1.2 Preparación y lectura de otolitos	16
6.1.3 Precisión y sesgo	17
6.1.4 Periodicidad de formación de anillos de crecimiento.....	18
6.1.5 Estructura de edad	19
6.1.6 Crecimiento individual	19
6.1.7 Selección del modelo	21
6.2 Análisis bioeconómico de una pesquería emergente de merluza enana	22
6.2.1 Área de Estudio	22
6.2.2 Fuentes de datos	22
6.2.3 Modelo bioeconómico estructurado por edades	23
6.2.4 Evaluación de estrategias de manejo.....	32
7. RESULTADOS	35
7.1 Análisis del crecimiento individual de la merluza enana	35
7.1.1 Recolección de muestras.....	35
7.1.2 Precisión y sesgo	36
7.1.3 Periodicidad de formación de anillos de crecimiento.....	36
7.1.4 Estimación del crecimiento y selección del modelo	40
7.2 Análisis bioeconómico de una pesquería emergente de merluza enana	44
7.2.1 Validación del modelo.....	44
7.2.2 Análisis de sensibilidad.....	44

7.2.3	Dinámica pesquera.....	47
7.2.4	Análisis Monte Carlo	48
8.	DISCUSIÓN	52
8.1	Análisis del crecimiento individual de la merluza enana	52
8.2	Análisis bioeconómico de una pesquería emergente de merluza enana	55
9.	CONCLUSIONES	63
9.1	Recomendaciones.....	64
10.	LITERATURA CITADA	66
11.	ANEXOS	74
	Anexo A. Artículo publicado. Sustainable management of a new fishing stock: Bioeconomic approach under biological and market uncertainty.	74
	Anexo B. Artículo sometido. Age estimation and individual growth of dwarf hake (<i>Merluccius productus</i>) along the southernmost limit of the Baja California Peninsula.....	85

Lista de figuras

Figura 1. Área de estudio. Golfo de Ulloa, B.C.S. México. PE, Punta Eugenia; PA, Punta Abreojos; CS, Cabo san Lázaro; y BM, Bahía Magdalena.	16
Figura 2. Sección sagital de un otolito. Sección de otolito sagitta de un ejemplar de merluza enana <i>Merluccius productus</i> de tres años de edad. Fotografía tomada con luz transmitida, muestra el área alrededor del núcleo (N) con tres anillos falsos visibles (-3, -2 y -1) anteriores al primer anillo. (Va= ápice ventral, Da= ápice dorsal, S= sulcus, AS= antisulcus)	17
Figura 3. Tasas de mortalidad natural a la edad. Tasas estimadas mediante el método de Chen y Watanabe (1989).....	25
Figura 4. Estructura de tallas. Estructura de tallas de hembras y machos de merluza enana <i>M. productus</i> recolectados en Bahía Magdalena de mayo a diciembre de 2015.....	35
Figura 5. Resultados de análisis de periodicidad de formación de marcas de crecimiento. Frecuencias mensuales del índice de tipo de borde y del índice incremento marginal (MIR). Bandas translúcidas (□) y opacas (■) determinadas a partir de secciones de otolitos; MIR media mensual (▪); las barras muestran el error estándar para valores mensuales. El tamaño de la muestra se indica en la parte superior del gráfico.....	37
Figura 6. Frecuencia de edades de merluza enana <i>M. productus</i>	38
Figura 7. Trayectorias de crecimiento. Modelos de crecimiento candidatos ajustados a hembras (a) y machos (b) de merluza enana <i>M. productus</i> muestreados frente a la costa oeste de BCS. .	42
Figura 8. Resultados del análisis de sensibilidad. Análisis de sensibilidad de las variables de respuesta: biomasa remanente (izquierda), utilidades por embarcación (derecha), bajo la estrategia f_{80}	45
Figura 9. Resultados del análisis de sensibilidad. Análisis de sensibilidad de las variables de respuesta: biomasa remanente (izquierda), utilidades por embarcación (derecha), bajo acceso abierto.	46
Figura 10. Gráficos dinámicos. Dinámica de la biomasa del stock, captura pesquera, utilidades por embarcación y niveles de esfuerzo durante 50 años de operación bajo cinco estrategias de manejo diferentes. Trayectorias obtenidas bajo los valores medianos de los parámetros del modelo descritos en la Tabla 2.	47
Figura 11. Resultados de análisis Monte Carlo. Riesgo de caer por debajo de los puntos de referencia de la pesquería y diagramas de caja y bigotes de la proporción de la biomasa no explotada restante, utilidades anuales por barco y número de barcos en la pesquería. La línea horizontal en el medio de cada cuadro indica el valor de la mediana (percentil 50), los bordes de los cuadros marcan los percentiles 75 y 25, y los bigotes marcan los valores mínimo y máximo. La simulación se realizó bajo incertidumbre de parámetros biológicos y económicos por un período de 50 años.....	49

Lista de tablas

Tabla 1. Costos totales por embarcación para la pesquería de merluza enana propuesta en la costa occidental de Baja California Sur.	29
Tabla 2. Parámetros empleados por el modelo bioeconómico estructurado por edades para la pesquería de merluza enana propuesta en la costa occidental de BCS.	31
Tabla 3. Rango de valores considerados para el análisis Monte Carlo.....	34
Tabla 4. Muestreo mensual de especímenes de merluza enana <i>M. productus</i> en el presente estudio.....	36
Tabla 5. Estructura talla-edad de hembras de merluza enana <i>M. productus</i> obtenida a partir de la lectura de marcas de crecimiento en secciones de otolitos sagitta y retrocalculadas.	39
Tabla 6. Estructura talla-edad de machos de merluza enana <i>M. productus</i> obtenida a partir de la lectura de marcas de crecimiento en secciones de otolitos sagitta y retrocalculadas.	40
Tabla 7. Valores de parámetros de los modelos de crecimiento ajustados a datos de merluza enana <i>M. productus</i> . Los IC estimados a partir de perfiles de probabilidad logarítmica se muestran entre paréntesis.....	41
Tabla 8. Clasificación de los cinco modelos de crecimiento basada en el criterio de información de Akaike (AIC) con su respectivo número de parámetros θ_i , diferencias de Akaike Δ_i , peso de Akaike w_i y porcentaje de pesos de Akaike w_i (%).	43
Tabla 9. Resultados de la prueba de Theil, valores obtenidos en la validación del modelo bioeconómico estructurado por edades, comparando la CPUE del modelo con la CPUE observada en los cruceros prospectivos. El valor límite de la prueba es $U= 0.2$	44
Tabla 10. Riesgo de caer por debajo de los puntos de referencia de la pesquería y valores simulados de biomasa, utilidades y niveles de esfuerzo obtenidos del Análisis de Monte Carlo.	51

Abreviaturas

AIC	Criterio de información de Akaike
AMP	Área Marina Protegida
BAC	Centro de Actividad Biológica
BC	Baja California
BCS	Baja California Sur
CC	Corriente de California
CTP	Captura Total Permisible
CV	Coeficiente de Variación
E.E.U.U.	Estados Unidos de América
GC	Golfo de California
GDU	Golfo de Ulloa
IC	Intervalo de Confianza
LP	Longitud Patrón
LT	Longitud Total
MIR	Análisis de Incremento Marginal
PEP	Porcentaje de Error Promedio

1. INTRODUCCIÓN

Las pesquerías contribuyen al bienestar humano al proveer alimento, empleo, oportunidades recreativas y fuentes de ingresos en todo el mundo (Cochrane y Garcia, 2009). Una pesquería tiene básicamente dos componentes, el stock o stocks de peces presentes en su ecosistema y las partes interesadas en explotarlos. Así, el stock representa el capital del sistema y la flota pesquera el capital pesquero humano, por medio del cual se extrae parte del stock para proveer producto al mercado y producir utilidades a la flota (Anderson y Seijo, 2010).

Si bien, el capital natural (stocks) no es un recurso infinito (Pope, 2009), el estado del mismo dependerá en gran medida del manejo que exista en la pesquería. Asimismo, la dirección que toma el manejo pesquero se encuentra regido por los objetivos que gobiernan la pesquería (Cochrane y Garcia, 2009), por ejemplo, producir alimento, priorizar la generación de empleos, conservar un recurso o incrementar los beneficios económicos.

A pesar de que la actividad pesquera genera beneficios de diferentes naturalezas a la sociedad, una explotación excesiva del capital natural puede producir la pérdida de utilidades o el deterioro de las poblaciones explotadas (Pope, 2009). Relacionado con esto se encuentra el interés por incrementar la producción de alimento debido al crecimiento demográfico mundial. Históricamente los productos marinos han aportado una proporción importante en la alimentación humana, encontrando que el incremento en su consumo ha duplicado al crecimiento poblacional, incluso superando el aporte de otros grupos de carnes animales terrestres (FAO, 2018).

El incremento en el consumo de productos marinos ha ido de la mano con un aumento en su explotación, la cual en varios casos ha alcanzado niveles insostenibles. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2022), para el 2019, el porcentaje de poblaciones de recursos marinos explotadas más allá de la sostenibilidad biológica fue de 35.4% y el porcentaje de poblaciones explotadas sosteniblemente de 64.6%, de

las cuales 7.2% se encontraban subexplotadas y 57.3% explotadas a un nivel máximo sostenible (FAO, 2022).

A nivel mundial, México es el 16° país productor de pesca de captura marina (FAO, 2022), habiendo producido en 2020 más de 1.7 mill. de t y más de 1.8 mill. de t en 2021 (CONAPESCA, 2021a). Por otro lado, la cantidad de empleos directos producidos por esta actividad es de alrededor de 300 mil (CONAPESCA, 2021a), destacando la importancia de la pesca en México, motivo por el cual se ha priorizado el uso de prácticas sustentables tanto por parte del gobierno, como por iniciativa privada. Como muestra de ello, en 2018 una cuarta parte del volumen de capturas pesqueras del país logró certificarse como sustentable por el Marine Stewardship Council (SADER, 2018).

De acuerdo con lo anterior, existen en México pesquerías que se encuentran comprometidas con el desarrollo de prácticas sustentables, sin embargo, aún existen poblaciones que son explotadas en niveles insostenibles (DOF, 2022a). Debido a esto, ha surgido la preocupación por impulsar pesquerías alternativas que diversifiquen los recursos pesqueros disponibles para su aprovechamiento y que, a su vez, permitan disminuir el esfuerzo aplicado sobre otras pesquerías.

Al respecto, la merluza del Pacífico norte, *Merluccius productus*, representa un recurso con potencial pesquero en la costa occidental de la península de Baja California (DOF, 2018) donde no es explotado actualmente. *M. productus* es un pez Gadiforme perteneciente a la familia Merlucciidae, tiene hábitos demersales y se distribuye en el Pacífico oriental desde Alaska hasta el Golfo de Tehuantepec, México (Lloris *et al.*, 2005). La especie presenta diferencias morfológicas intraespecíficas a lo largo de su distribución (Silva-Segundo *et al.*, 2011), destacando el morfotipo de “merluza enana” en la costa occidental de la península de Baja California (BC) (Vrooman y Paloma, 1977).

La abundancia de la merluza enana ha sido estimada en el estado de Baja California Sur (BCS) en diferentes ocasiones (Balart, 1996). Se han realizado estimaciones que van desde las 7,000 t

hasta las 250 mil t por el método de área de barrido (Salinas *et al.*, 2012) y en 2012, como parte del proyecto “Gestión de recursos pesqueros potenciales en México: Nuevas áreas y tecnologías de captura para el desarrollo del sector” del CIBNOR, se estimó una biomasa de 146 mil t mediante hidroacústica para el Golfo de Ulloa (GDU), B.C.S. (Godínez-Pérez, 2013) y de alrededor de 150 mil t por el método de área de barrido, en la misma zona.

Actualmente en México existe una pesquería emergente de merluza en el Alto Golfo de California, la cual se ha desarrollado desde el año 2000 por pescadores de Sonora y B.C. (EDF, 2015; DOF, 2018). En la década de 1990 la merluza empezó a ser reconocida como una especie de valor, solía ser capturada incidentalmente en las pesquerías de tiburón y escama y regularmente descartada, sin embargo, los volúmenes de captura incentivaron a los pescadores a desembarcarla fileteada para su venta, convirtiéndose en una alternativa económica para los pescadores industriales de la región (Zamora-García y Stavrinaky-Suárez, 2018). La extracción de merluza en esta región se originó como pesca complementaria a la de camarón y se pesca en conjunto con otras especies de escama como el lenguado. Recientemente sus capturas han fluctuado alrededor de las 8 mil t y su temporada de pesca ocurre entre diciembre y mayo, siendo febrero el mes que presenta el registro más alto de capturas. Desde el año 2018 se encuentra reglamentada y regulada por permisos de pesca comercial limitados específicos para merluza (DOF, 2018).

En Estados Unidos y Canadá *M. productus* es especie objetivo de diversas pesquerías a lo largo de su distribución, siendo la principal de ellas la pesquería conjunta entre EE.UU. y Canadá, la cual comienza alrededor de abril en aguas de California y continúa siguiendo la migración de la merluza por alimento hacia el norte hasta las costas de Vancouver, Canadá, donde termina a mediados de octubre (Leet *et al.*, 2001). Esta pesquería comenzó en los años 60’s (Lloris *et al.*, 2005) y ha reportado abundantes capturas, las cuales han llegado a superar las 400 mil t (Edwards *et al.*, 2022).

Con respecto a su captura, los artes de pesca empleados para su extracción son arrastres de media agua y de fondo en la pesquería conjunta EE.UU.-Canadá (Leet *et al.*, 2001) y arrastres de

fondo con red escamera, tanto de doble aparejo como de arrastre por popa, en la pesquería del Alto Golfo de California (Almendarez Hernández, 2013; DOF, 2022a).

Bajo el panorama anterior, es evidente que la merluza enana de la costa occidental de B.C.S. representa un recurso con potencial de explotación. No obstante, la limitada información disponible acerca de su biología y su dinámica poblacional tornan incierta la capacidad del stock de soportar una pesquería sustentable. Aunado a esto, la incertidumbre del mercado al cual accedería la producción de una nueva pesquería arroja dudas sobre la rentabilidad de explotar dicho recurso.

2. ANTECEDENTES

2.1 La merluza “enana”

Debido a la gran importancia ecológica y económica de la merluza del Pacífico (Hamel *et al.*, 2015), ésta ha sido ampliamente estudiada en Estados Unidos y Canadá (Best, 1963; Bailey *et al.*, 1982; Malick *et al.*, 2020), sin embargo, en México la información disponible es limitada.

La especie fue originalmente descrita en 1855 por William Ayers, quien describió diversas especies de California, incluyendo *Merluccius productus* (Ayers, 1855). En México, debido a diferencias morfológicas encontradas en especímenes de la Península de Baja California y dentro del Golfo de California (GC), fue descrita originalmente como merluza de Cortés (*M. hernandezii*) en el norte del Golfo de California (Mathews, 1985), mientras que en el sur del GC se describió como merluza de Panamá (*M. angustimanus*) (Mathews, 1975) debido a diferencias en la forma de sus aletas y su tamaño máximo reducido (39 cm de longitud total, LT).

Los primeros en distinguir entre la merluza del norte de la Corriente de California (CC) y la merluza distribuida al sur de la CC y que denominarían como “merluza enana” fueron Vrooman y Paloma (1977) mediante el análisis de características morfológicas y de los patrones de edad y crecimiento. Posteriormente, Inada (1989) realizó un análisis del estatus taxonómico de la familia Merluccidae y sugirió la separación de la merluza enana como una especie diferente de *M. productus*. En 2005, Balart-Páez en su trabajo “Biología y ecología de la merluza bajacaliforniana” considera como *M. angustimanus* a la merluza enana distribuida al sur de la CC.

Actualmente, con base en estudios moleculares y merísticos, se considera que todas las poblaciones de merluza norteamericana pertenecen a la especie *M. productus* (Silva-Segundo *et al.*, 2011; García-De León *et al.*, 2018), incluyendo a la merluza enana. Por lo tanto, nuestro trabajo asumió que la población de merluza enana es una población de *M. productus* independiente, siguiendo a (Funes-Rodríguez *et al.*, 2009) que sugiere la existencia de barreras físicas en la zona media de la Península de Baja California (región de Punta Eugenia) las cuales posiblemente restringen el flujo de genes entre las poblaciones del norte y merluza enana.

Además, (Salinas-Mayoral, 2018) concluyó que los rasgos del ciclo de vida de la merluza enana son sustancialmente diferentes de los de las latitudes septentrionales, sugiriendo que se trata de poblaciones diferentes.

2.2 Importancia del estudio del crecimiento individual

Los estudios de la edad y el crecimiento individual proporcionan información esencial para comprender el ciclo de vida de los organismos, así como su dinámica poblacional. A partir de estos estudios es posible describir aspectos como la longevidad, la edad de primera madurez, la tasa de mortalidad, entre otros (Beatriz, 1992; Campana, 2001).

Particularmente en poblaciones explotadas el estudio del crecimiento individual resulta de gran interés por la influencia que tiene éste en el crecimiento de las poblaciones. El crecimiento de una población, es decir, la generación de biomasa, puede resumirse como el resultado del crecimiento de los organismos que la componen, sumado al reclutamiento de nuevos organismos, menos la mortalidad natural (Ricker, 1975), de ahí la importancia en estimar adecuadamente los parámetros que definen el crecimiento.

El crecimiento de los organismos de una población comúnmente se asume como un patrón constante, sin embargo, se ha demostrado que es un proceso con gran plasticidad, la cual es influenciada por condiciones ambientales como son la temperatura y la disponibilidad de alimento. De hecho, esta plasticidad puede conducir a una variabilidad en la talla a la edad y en el peso a la edad que pueden tener implicaciones importantes en la evaluación y manejo de las poblaciones. No tener en cuenta estos efectos puede dar lugar a desviaciones sustanciales (de diez a más del 30%) en la reconstrucción de la dinámica del stock, en las proyecciones y en los puntos de referencia (Lorenzen, 2016).

En el caso de las poblaciones de merluza del Pacífico de EE. UU. y Canadá, la edad y el crecimiento han sido bien estudiados, basándose principalmente en el recuento del incremento del crecimiento de los otolitos. Se han aplicado diferentes técnicas, como lecturas de otolitos

completos (Dark, 1975), lecturas de secciones sagitales de otolitos (Beamish, 1979) y secciones de otolitos quemados (Maclellan *et al.*, 2021), obteniendo diferentes resultados.

Por otro lado, respecto a la merluza enana, Vrooman y Paloma (1977) estimaron la talla de primera madurez (11.9 cm machos y 12.5 cm hembras) y la edad de primera madurez sexual (un año) mediante análisis de otolitos y concluyeron que la merluza enana tiene una tasa de crecimiento menor que la observada para la merluza estadounidense. Sin embargo, además de este trabajo, no existe información sobre la edad y el crecimiento individual de la población, además, no existe una estimación publicada de sus parámetros de crecimiento.

2.3 Ordenación pesquera

Para asegurar que una pesquería opera de manera rentable, pero además evita afectar irreversiblemente el stock pesquero o su ecosistema, de manera que continúe proveyendo beneficios a futuro, se ha desarrollado una herramienta o serie de procesos conocida como ordenación pesquera (Cochrane y Garcia, 2009). Ésta es esencial para que una pesquería alcance sus objetivos y con mayor razón una pesquería en desarrollo.

Según la (FAO, 1997), la ordenación pesquera es “el proceso integrado de recopilación de información, análisis, planificación, consulta, toma de decisiones, asignación de recursos y formulación e implementación, con la aplicación según sea necesario, de regulaciones o normas que rijan las actividades pesqueras para garantizar la productividad continua de los recursos y el cumplimiento de otros objetivos pesqueros”.

El primer paso de la ordenación pesquera es identificar las metas generales, las cuales orientan el uso de los recursos pesqueros. Estas metas son amplias y pueden ser, por ejemplo, mantener la especie objetivo a cierto nivel de abundancia (biológica), maximizar las utilidades (económica), incrementar las oportunidades laborales (social). Es necesario dividir las metas en objetivos específicos u objetivos operacionales, los cuales son más precisos, como por ejemplo,

no disminuir la biomasa de la especie objetivo por debajo del 50% de su biomasa virgen (FAO, 2005).

Los objetivos operacionales pueden expresarse de manera cuantificable para estimar puntos de referencia y ser utilizados para evaluar o simular la pesquería. Una vez acordados los objetivos operacionales, se puede desarrollar la estrategia de manejo, la cual se encuentra compuesta de diversas medidas de ordenación, encaminadas a lograr los objetivos (Cochrane y Garcia, 2009). Se puede considerar que las medidas de manejo son la unidad más pequeña en la administración pesquera, las cuales consisten en un tipo de control instrumentado que contribuye a lograr los objetivos operacionales. Estas medidas de ordenamiento pueden ser técnicas (regulación de artes de pesca o uso de espacio y tiempo), controles de insumo y producto (esfuerzo y captura) y derechos de acceso (FAO, 2005).

2.3.1 Regulación de artes de pesca

Es importante considerar regulaciones técnicas en el arte de pesca empleado en una pesquería, ya que la capacidad de pesca de una flota se encuentra dada por el esfuerzo pesquero, así como las eficiencias del arte de pesca, de las embarcaciones (capacidad de bodega, potencia del motor, etc.) y de la tripulación (Bjordal, 2009).

Los artes de pesca se pueden clasificar como pasivos y activos, dependiendo del comportamiento de la especie objetivo hacia el arte de pesca. Los artes pasivos basan su captura en el desplazamiento de la especie hacia el arte (p. ej. trampas), mientras que los artes activos pretenden capturar la especie dirigida persiguiéndola activamente (p. ej. redes de arrastre; (Bjordal, 2009).

Las medidas de ordenación de este tipo pueden incluir por ejemplo restricciones en el uso de luces de malla, requisitos en usos de excluidores, entre otros. Es importante al tomar una decisión con respecto al arte de pesca considerar varios factores relacionados con el mismo, como son la selectividad del arte de pesca (habilidad de seleccionar cierta talla o especie), la

captura incidental (captura fuera de la especie o tallas objetivo), descartes (regresar parte de la captura), mortalidad incidental (mortalidad debido a encuentros con el arte), pesca fantasma (captura por artes abandonados o perdidos), efectos sobre el hábitat y calidad de la captura (Bjordal, 2005, 2009).

2.3.2 Restricciones temporales y espaciales

Este tipo de medidas de ordenación busca restringir el acceso de los pescadores a un área geográfica particular, ya sea de manera permanente o temporal. Es importante mencionar que cuando se establece una restricción de este tipo como medida de conservación de una población (buscando reducir el esfuerzo) se puede considerar como un control a los insumos (Hall, 2009).

Existen diferentes tipos de restricciones espaciales y temporales, de las cuales la más conocida es el Área Marina Protegida (AMP; Hall, 2005) definida por la UICN como “cualquier área de terreno intermareal o submareal, junto con el agua que la cubre y la flora, la fauna, las características históricas y culturales asociadas, que haya sido reservada por ley o por otros medios efectivos para proteger todo o parte del ambiente incluido” (Kelleher y Kenchington, 1992).

Algunos posibles objetivos de las restricciones espacio-temporales incluyen: limitar la extracción de ciertas fases del ciclo vida, por ejemplo, limitando el acceso a áreas de desove o de crianza; la protección de reservas genéticas, la protección de hábitats críticos, entre otros (Hall, 2009).

Es importante considerar que este tipo de medidas de ordenación no son efectivas para todas las pesquerías, como es el caso de un recurso móvil con una distribución amplia y dispersa, en donde incluso proteger una amplia zona no tendría efecto y además sería complicado y costoso de aplicar (Hall, 2009).

2.3.3 Controles de insumos y productos

Las medidas de control de insumos buscan limitar el esfuerzo mientras que el control de productos se refiere a restricciones en la captura. En conjunto, a estas medidas se les conoce como medidas directas de conservación y buscan limitar la proporción de la población que es explotada cada año (Pope, 2009).

En particular, los controles de insumos pueden restringir la intensidad de uso de artes de pesca limitando la cantidad de artes de pesca permitidos. Otra forma de control de insumo es mediante restricciones en la flota, al tamaño de embarcaciones, potencia del motor y número de embarcaciones. Asimismo, es posible restringir el tiempo permitido de pesca, ya sea el número de viajes por embarcación o el número de días efectivos de pesca (Pope, 2009).

Cabe destacar que es indispensable para el éxito de los controles de insumos que exista una forma de restricción de acceso a la pesquería, a manera de permisos o licencias, que limiten la cantidad de embarcaciones. Asimismo, es importante especificar características como el tamaño de la embarcación o la potencia del motor, los cuales afectan la capacidad de pesca y de otra forma podrían promover un incremento en el esfuerzo debido a mejoras tecnológicas (Pope, 2009).

Una desventaja de los controles de insumos es la dificultad de establecer una medida de esfuerzo, por ejemplo, capacidad de bodega, potencia de motor, etc. Por otro lado, es requisito de estas medidas de ordenación que el insumo que es regulado corresponda a una capacidad constante de explotación, lo cual no suele ser el caso para especies que forman agregaciones o cardúmenes, donde conforme el stock disminuye se vuelve progresivamente más fácil extraer una mayor proporción del mismo (Pope, 2009).

Por otro lado, los controles de productos limitan directamente la cantidad de recurso que es extraída por una pesquería en un periodo de tiempo determinado, por ejemplo, la captura total permisible (CTP) o límites en la captura incidental. Desafortunadamente, es complicado monitorear la captura real extraída, por lo que es más sencillo regular los desembarques, sin

embargo, esto tiene la desventaja de que existe la posibilidad de que se realicen descartes no registrados para incrementar el valor de la captura o para reducir la pesca incidental registrada (Pope, 2009).

Una ventaja de los controles de producto como CTP es que permiten la asignación de cuotas de captura entre diferentes usuarios, por ejemplo, el caso de un recurso compartido internacionalmente. No obstante, debido a que el objetivo de la CTP es promover una captura sostenible, es necesario que ésta se encuentre relacionada con la biomasa presente en la población, por lo que una desventaja de este tipo de medidas de ordenación es la dificultad y en ocasiones el costo de evaluar la población periódicamente (Pope, 2009).

Los controles de producto no serán eficientes en caso de que exista incumplimiento por alguna de las partes interesadas o si se llevan a cabo descartes no registrados, en cuyo caso la evaluación de la población explotada se ve comprometida y de la misma forma, la estimación de una posterior CTP (Pope, 2009).

3. JUSTIFICACIÓN

La búsqueda por diversificar los recursos pesqueros, así como el continuo incremento en la demanda de alimento a nivel global, han generado la necesidad de impulsar nuevas pesquerías que representen alternativas para generar empleos y alimento. Al respecto, *M. productus* es un recurso abundante y que actualmente no es explotado en la costa occidental de BCS, lo cual representa una alternativa pesquera, considerando que es un recurso de importancia comercial en E.U. y Canadá, así como en México cuya pesquería tiene un desarrollo reciente en el norte del Golfo de California.

4. HIPÓTESIS

Considerando el éxito de las pesquerías de merluza en otros países y en México, así como su alta demanda en el mercado internacional, la población de merluza del Pacífico norte de la costa occidental de BCS será capaz de soportar una pesquería biológicamente sustentable y económicamente rentable.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Evaluar, desde una perspectiva bioeconómica, el efecto de la explotación pesquera en la población de *M. productus* frente a la costa occidental de BCS, bajo diferentes alternativas de manejo.

5.2 Objetivos particulares

Estimar los parámetros de crecimiento individual de la merluza enana procedente de la costa occidental de BCS.

Determinar los parámetros con mayor influencia en las variables indicadoras de la sustentabilidad y rentabilidad (biomasa y utilidades) de una nueva pesquería de merluza enana. Ajustar un modelo que especifique los factores biológicos y económicos que pudieran determinar el rendimiento de la pesquería en el tiempo.

Estimar puntos de referencia objetivo y puntos de referencia límite pesqueros que indiquen niveles poblacionales y económicos útiles para el manejo.

Realizar análisis dinámicos de la pesquería bajo condiciones de incertidumbre biológica y económica y evaluar el riesgo de exceder los puntos de referencia.

Evaluar el desempeño de diferentes medidas de manejo pesqueras, considerando la incertidumbre biológica y económica.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Análisis del crecimiento individual de la merluza enana

6.1.1 Recolección de muestras

Se realizó un estudio prospectivo en la porción más sureña del Sistema de la Corriente de California frente a la porción central de la costa occidental de Baja California Sur (BCS), al sur del Golfo de Ulloa frente a Bahía Magdalena (24.3° N y -112.1° W, Fig. 1). El estudio tuvo como objetivo evaluar la presencia y abundancia de merluza enana y consistió en un total de 11 cruceros a bordo del buque oceanográfico BIP XII de mayo a diciembre de 2015. Se realizaron evaluaciones hidroacústicas para detectar merluza y posteriores arrastres pelágicos durante el día. Se seleccionaron aleatoriamente un total de 932 ejemplares procedentes de 84 redes de arrastre para su posterior análisis. Se midió la longitud estándar o patrón (LP en cm) del total de individuos y se recolectaron otolitos sagitales de una submuestra de 240 especímenes, manteniendo las clases de longitud bien representadas. Se utilizó una prueba de distribución de Kolmogorov-Smirnov para examinar las diferencias por sexo en la estructura de LP ($n = 932$).

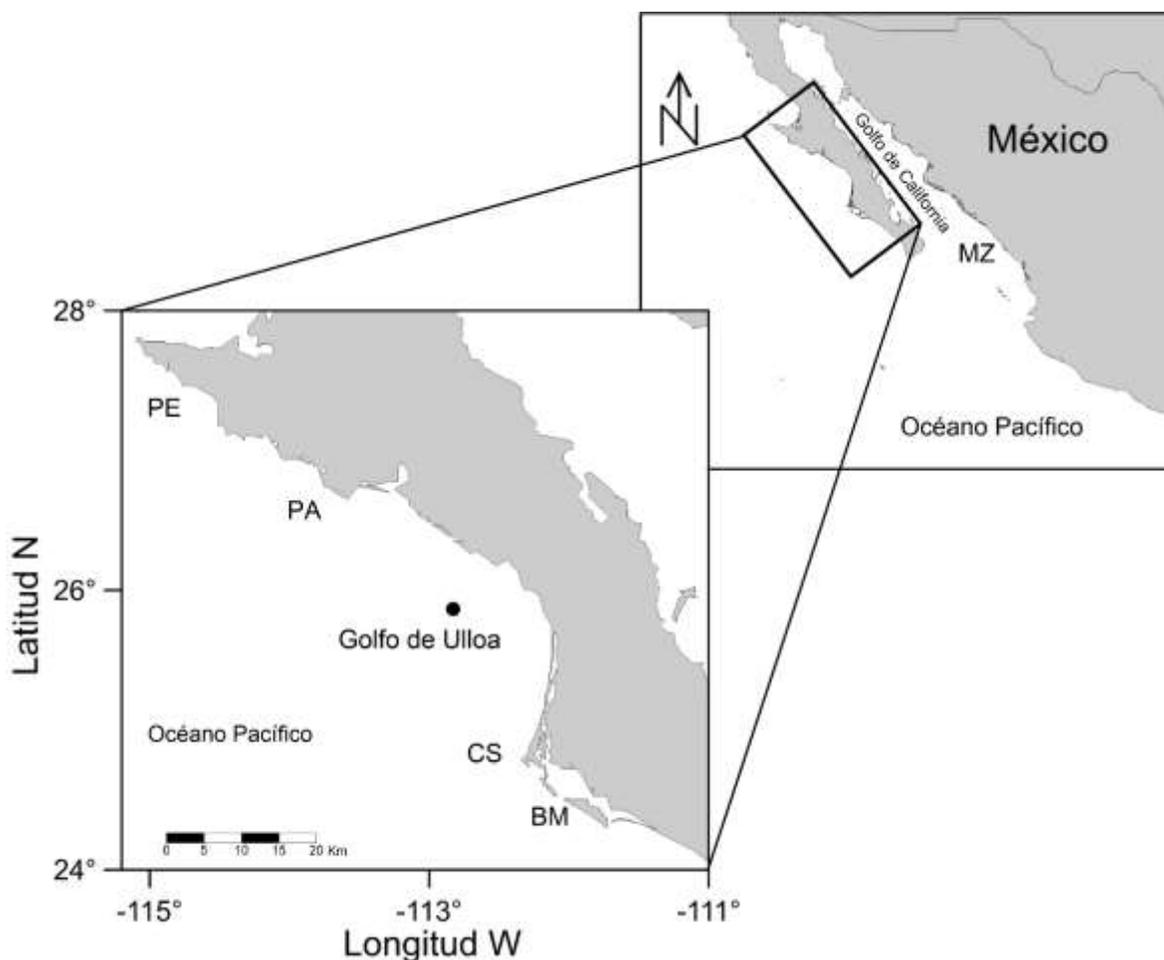


Figura 1. Área de estudio. Golfo de Ulloa, B.C.S. México. PE, Punta Eugenia; PA, Punta Abrejos; CS, Cabo san Lázaro; y BM, Bahía Magdalena.

6.1.2 Preparación y lectura de otolitos

Para la preparación de otolitos se siguió la metodología de Dark (1975). Se limpiaron los otolitos de tejido y otros desechos; se lavaron con agua corriente y alcohol étílico 96°, luego de lo cual se secaron a temperatura ambiente durante 24 hrs. Para estimar la edad se empleó el otolito izquierdo para mantener la coherencia. Siguiendo a Cabrera-Neri (2002), las estructuras se calentaron en un horno microondas convencional durante 45 segundos, con el objetivo de mejorar los incrementos de crecimiento mediante la aplicación de calor.

Posteriormente, los otolitos se fijaron con una resina epóxica y se dejaron secar durante 24 hrs., luego de esto, de cada otolito se cortaron secciones sagitales de 0.2 mm utilizando una sierra de baja velocidad (Isomet® BuehlerTM) provista de un disco diamantado (IsoMet Serie 15LC; 0,3 mm de espesor y 102 mm de diámetro). Se realizaron secciones asegurándose de cortar sobre el núcleo del otolito y se observaron en un microscopio estereoscópico. Las fotografías de las secciones fueron tomadas con una cámara Zeiss AxioCam ERc 5s.

La lectura de los incrementos de crecimiento se basó en el trabajo de Piñeiro et al. (2009), tomando como referencia la presencia de 2 a 3 marcas evidentes antes de la primera marca anual (anillo), correspondientes a los cambios de estadios larvario, pelágico y demersal de los organismos respectivamente. Para la toma de fotografías se utilizó luz transmitida y se contabilizaron las marcas hialinas (Fig. 2). Se utilizó como referencia de conteo el eje dorsoventral de los cortes y se identificó la porción ventral como la mejor zona para la lectura (Beamish, 1979; Piñeiro y Saínza, 2003).

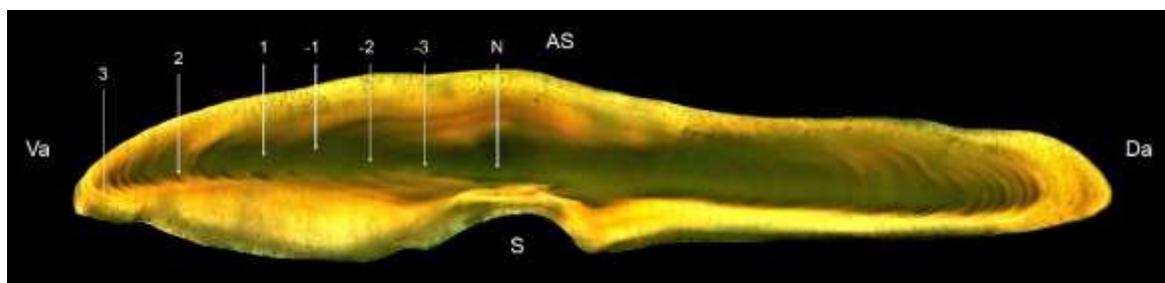


Figura 2. Sección sagital de un otolito. Sección de otolito *sagitta* de un ejemplar de merluza enana *Merluccius productus* de tres años de edad. Fotografía tomada con luz transmitida, muestra el área alrededor del núcleo (N) con tres anillos falsos visibles (-3, -2 y -1) anteriores al primer anillo. (Va= ápice ventral, Da= ápice dorsal, S= sulcus, AS= antisulcus)

6.1.3 Precisión y sesgo

La reproducibilidad del conteo, indicada por la variabilidad entre lectores, se determinó calculando el porcentaje de acuerdo (PA) por ± 1 anillo, el porcentaje de error promedio (PEP) (Beamish y Fournier, 1981) y el coeficiente de variación (CV) (Chang, 1982). Además, se realizó un análisis de sesgo, la prueba de simetría de Bowker (Bowker, 1948).

6.1.4 Periodicidad de formación de anillos de crecimiento

La periodicidad de la formación de incrementos en los otolitos se evaluó con los métodos de análisis de tipo de borde y índice de incremento marginal (MIR, por sus siglas en inglés). El análisis de tipo de borde del otolito considera la última banda de crecimiento depositada (opaca o hialina) y la relaciona con el mes de captura. El MIR considera la distancia desde el último incremento completamente formado hasta el borde del otolito (ancho marginal) como una proporción del ancho del incremento anterior para cada mes (Ewing *et al.*, 2003).

$$MIR = \frac{AM}{AP} = \frac{RO - R_n}{R_n - R_{n-1}} \quad (1)$$

Dónde MIR= índice de incremento marginal, AM= ancho marginal, AP= ancho de incremento previo, RO= radio del otolito, R_n= la distancia desde el núcleo hasta la última marca de crecimiento completada y R_{n-1}= la distancia desde el núcleo hasta la penúltima marca de crecimiento completamente formada. Las medidas se tomaron utilizando el software SigmaScan Pro 5.0.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, EE. UU.) y los individuos con un solo anillo fueron excluidos del análisis.

Ha sido descrita una notoria reducción consecutiva en el ancho de los tres primeros anillos de crecimiento, lo que se relaciona con el rápido crecimiento observado en los incrementos anuales en los primeros tres años (Piñeiro *et al.*, 2009). Teniendo en cuenta esto, en el cálculo de MIR se escaló el espesor del anillo 3 como proporción del anillo 2, así como el espesor del anillo 4 como proporción del anillo 3. En este sentido, se estimó una media aritmética para cada proporción y se estimó su significancia con una prueba Wilcoxon. Los valores medios de MIR se graficaron mensualmente para examinar las tendencias en la formación de bandas de crecimiento y se utilizó una prueba de Kruskal-Wallis para examinar las diferencias entre los meses, seguida de pruebas post-hoc no paramétricas de Dunn para encontrar los meses entre las diferencias.

6.1.5 Estructura de edad

Considerando la periodicidad de la formación de incrementos y el número de incrementos contados durante las lecturas de las secciones de otolitos, cada ejemplar fue asignado a un grupo de edad.

Retrocálculo

Debido a la escasa representación de las merluzas jóvenes en la muestra, se estimaron longitudes a edades pretéritas utilizando la ecuación de retrocálculo basada en proporciones propuesta por Francis (1990):

$$L_i = -\left(\frac{a}{b}\right) + \left(L_c + \frac{a}{b}\right) \left(\frac{RO_i}{RO_c}\right) \quad (2)$$

Dónde L_i es la LP en el momento i , a y b son parámetros obtenidos de la relación lineal entre la longitud total y el ancho del otolito, L_c es la LP en el momento de la captura; RO_c es el RO en la captura y RO_i es el RO a la edad i .

6.1.6 Crecimiento individual

Se utilizó un enfoque de inferencia multimodelo para determinar el modelo de crecimiento candidato más apropiado (Burnham y Anderson, 2004). Teniendo en cuenta la presencia de datos dispersos de talla a la edad, se utilizó la talla media de cada grupo de edad para aumentar la precisión de la estimación de los parámetros del modelo de crecimiento (Katsanevakis, 2006). Se consideraron los siguientes modelos de crecimiento asintótico:

1. El modelo de crecimiento de von Bertalanffy (VBGM), que considera una tasa de crecimiento lineal que disminuye con el tamaño (von Bertalanffy, 1938):

$$L_t = L_\infty [1 - e^{-k(t-t_0)}] \quad (3)$$

2. El VBGM generalizado, que considera un punto de inflexión en la curva de crecimiento y una mayor flexibilidad (Pauly, 1979):

$$L_t = L_\infty [1 - e^{-k(t-t_0)}]^\delta \quad (4)$$

3. El modelo de crecimiento de Gompertz, una alternativa sigmoidea con un punto de inflexión asimétrico que considera una disminución exponencial de la tasa de crecimiento con el tamaño (Gompertz, 1825):

$$L_t = L_\infty * e^{(-e^{-k(t-t_0)})} \quad (5)$$

4. El modelo logístico, con un punto de inflexión en t_0 (Ricker, 1975):

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

5. El modelo de crecimiento de Johnson, que es un modelo sigmoideo asimétrico con un punto de inflexión cercano a cero (Hidalgo-De-La-Toba *et al.*, 2015):

$$L_t = L_\infty * e^{\left[\frac{1}{k} * (t-t_0)\right]} \quad (7)$$

Dónde L_t es la LP en la edad t , L_∞ es la longitud asintótica, t_0 es la edad teórica a la talla 0, k es la tasa de crecimiento individual respectiva. Los modelos de crecimiento se ajustaron a una combinación de datos observados y longitudes retrocalculadas para cada sexo y los parámetros se estimaron maximizando la probabilidad logarítmica negativa con un ajuste no lineal utilizando el método de gradiente reducido generalizado, asumiendo un error multiplicativo en los residuos (Wang y Liu, 2006). La función objetivo se expresa de la siguiente manera:

$$\log L(\theta_i | data) = -\frac{n}{2} * [Ln(2\pi) + 2 * Ln(\sigma) + 1] \quad (8)$$

Dónde n es el número de datos, i indica el número de parámetros para cada modelo de crecimiento y σ se calculó mediante la siguiente ecuación (Hilborn y Mangel, 1997):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (\ln LP_O - \ln LP_E)^2} \quad (9)$$

Dónde LP_O es la LP observada y LP_E es la LP estimada.

Intervalos de confianza

Los intervalos de confianza (IC) se estimaron para los parámetros θ_i de cada modelo de crecimiento ajustado utilizando el método del perfil de verosimilitud (Hilborn y Mangel, 1997) considerando una distribución chi-cuadrado con 1 grado de libertad (gl) y valores iguales o menores que 3.84 se aceptaron dentro del IC (Zar, 2010). Los IC se definieron como valores de θ_i que satisfacían lo siguiente:

$$IC = 2[L(Y|\theta) - L(Y|\theta_{mejor})] < X_{1,1-\alpha}^2 \quad (10)$$

Dónde $L(Y|\theta_{mejor})$ es la probabilidad logarítmica negativa correspondiente para el valor más probable del parámetro θ_i y $X_{1,1-\alpha}^2$ son los valores de la distribución chi cuadrado.

6.1.7 Selección del modelo

Se utilizó el Criterio de Información de Akaike (AIC) para evaluar el desempeño del modelo, donde el mejor modelo mostró el valor AIC más bajo. Para la comparación entre modelos, se calcularon las diferencias de Akaike (Δ_i) y los pesos de Akaike (w_i) (Burnham y Anderson, 2004). El Δ_i compara un modelo de crecimiento candidato en relación con el “mejor” modelo ($\Delta_i = AIC_i - AIC_{\min}$) donde AIC_i es el valor para el modelo i y AIC_{\min} es el valor del mejor modelo. Los valores de $\Delta_i = 0-2$ indican un soporte sustancial, $\Delta_i = 4-7$ considerablemente menos soporte y $\Delta_i > 10$ ningún soporte. El Akaike w_i representa la probabilidad de elegir el modelo correcto entre los modelos de crecimiento candidatos y se calcula de la siguiente manera:

$$w_i = \frac{e^{-0.5\Delta AIC}}{\sum_{i=1}^R e^{-0.5\Delta AIC}} \quad (11)$$

6.2 Análisis bioeconómico de una pesquería emergente de merluza enana

6.2.1 Área de Estudio

El Golfo de Ulloa (GDU) se localiza en la costa occidental de la Península de Baja California, al sur de Punta Eugenia y al norte de Bahía Magdalena, entre los 24° y los 26°30' N (Cordero-Tapia y Reséndiz-Morales, 2014); Fig. 1). Se caracteriza por presentar aguas con profundidades menores a los 200 m a una distancia de hasta 24 millas náuticas de la costa, desde el sur de Punta Abrejos hasta cerca de Cabo San Lázaro. La plataforma continental alcanza en promedio 30 km en la porción norte del GDU, en su parte media hasta 200 km y en la región sureña alcanza los 80 km (González-Rodríguez, 2008).

El GDU es un ecosistema de interés económico y científico, con gran importancia para diversos recursos naturales y pesqueros de la región. Se considera un Centro de Actividad Biológica (BAC por sus siglas en inglés) con elevada productividad biológica y altas tasas de producción de biomasa, comparada con la productividad de las masas de agua circunvecinas, que influyen en los ecosistemas adyacentes, lo cual propicia regiones marinas ricas en recursos naturales y pesqueros (Arreguín-Sánchez, 2000).

6.2.2 Fuentes de datos

Para definir el recurso objetivo y el área de explotación se recurrió a la información disponible de la población. Se utilizó la estimación de biomasa de Godínez-Pérez, (2013), quién estimó alrededor de 146,000 t de *M. productus* en el GDU mediante hidroacústica y lances de confirmación con redes de arrastre, como parte del estudio de prospección realizado en el Pacífico mexicano en el proyecto “Gestión de recursos pesqueros potenciales en México. Nuevas áreas y tecnologías de captura para el desarrollo del sector” realizado por el CIBNOR. También se cuenta con registros de captura, esfuerzo y costos operativos de los muestreos prospectivos realizados en el proyecto antes mencionado y el proyecto “Vulnerabilidad del

sistema socio-ambiental acoplado del centro de alta productividad biológica del Golfo de Ulloa, ante escenarios de cambio climático”, los cuales fueron realizados durante los años 2011-2012, 2014-2015 y 2017-2018.

6.2.3 Modelo bioeconómico estructurado por edades

El análisis pesquero de la merluza enana se representó mediante un modelo bioeconómico estructurado por edades (Anderson y Seijo, 2010). Se realizó una proyección a 50 años de actividad pesquera, comenzando en una situación de no pesca (biomasa virgen), para representar el estado inexplorado en el cual se encuentra actualmente el stock.

6.2.3.1 Submodelo biológico

El componente biológico del modelo considera la dinámica poblacional del stock de merluza, con lo cual se incluye los cambios en biomasa que ocurren en la misma a través del tiempo.

(a) Crecimiento individual

Se estimó la talla media a la edad mediante la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy (Ecuación 3). Los valores de los parámetros empleados fueron $L_{\infty} = 28.23$ cm, $k = 0.251$, $t_0 = 0.01$ (ver sección de resultados 7.1).

(b) Relación talla-peso

Para conocer el peso promedio (w_i) a una edad dada se empleó una ecuación potencial para relacionar talla – peso (longitud estándar – peso total) siguiendo los resultados obtenidos por Salinas-Mayoral (2018), para el stock de merluza enana de la costa occidental de la península de Baja California. Los valores de los parámetros empleados fueron ($a = 0.009$, $b = 2.98$):

$$w_i = aL^b \quad (12)$$

(c) Reclutamiento

Se asumió la existencia de una relación entre el stock parental (biomasa desovante) y el reclutamiento (número de organismos reclutados a la población) de tipo Beverton-Holt (Beverton y Holt, 1957), esto debido a la falta de información relacionada con el reclutamiento de la merluza enana, incluyendo la posible influencia del ambiente, la disponibilidad de alimento, la presencia/abundancia de depredadores, etc. Aunado a lo anterior, la relación stock-reclutamiento de Beverton-Holt ha demostrado representar adecuadamente el reclutamiento de la especie en otras áreas (Grandin *et al.*, 2020).

La ecuación usada considera la parametrización de Methot y Taylor (2011), la cual a su vez integra la modificación propuesta por Mace y Doonan (1988):

$$R_y = \frac{4hR_0S_y}{S_0(1-h) + S_y(5h-1)} \quad (13)$$

Dónde h es el parámetro *steepness* de la función de relación stock-reclutamiento y se relaciona con la productividad del stock cuando se ve reducido (Grandin *et al.*, 2020), y particularmente se define como la fracción del reclutamiento con el stock no explotado que se obtiene cuando la biomasa desovante equivale al 20% del stock desovante no explotado (Mace y Doonan, 1988; Hilborn y Walters, 1992). S_0 es la biomasa desovante del stock no explotado, correspondiente al reclutamiento obtenido del stock no explotado R_0 . S_y es la biomasa desovante en el año y y que resulta en el reclutamiento R_y .

La edad de reclutamiento se consideró como la clase de edad uno, debido a que ésta es la primera clase de edad susceptible al arte de pesca para la merluza enana (Salinas-Mayoral, 2018). La biomasa desovante del stock no explotado S_0 se estimó considerando una edad de primera madurez de dos años y una proporción sexual de 0.5 (Salinas-Mayoral, 2018). Por otro lado, el reclutamiento del stock no explotado R_0 se estimó como el número de reclutas necesario para mantener la biomasa del stock virgen en 150,000 t (Godínez-Pérez, 2013). Finalmente el valor del parámetro *steepness* de la relación stock-reclutamiento se asumió varía

entre 0.5 y 0.8, siguiendo la productividad descrita para el stock costero de EE.UU. y Canadá (Grandin *et al.*, 2020).

(d) Mortalidad natural

Se asumió que la mortalidad natural (M) de la merluza enana disminuye con la edad siguiendo el trabajo de Chen y Watanabe (1989), quienes relacionan M con la edad mediante los parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy. La ecuación empleada asume que no existe un periodo de senescencia para la merluza enana:

$$M_i = \frac{k}{(1 - e^{-k(i-i_0)})} \quad (14)$$

Dónde i es la edad en años, k y t_0 son los parámetros de la ecuación de crecimiento von Bertalanffy. La edad máxima se consideró como 10 años y los valores de los parámetros de crecimiento fueron los obtenidos del análisis del crecimiento individual (ver sección de resultados del análisis del crecimiento individual). La tasa de mortalidad natural obtenida se muestra en la Fig. 3.

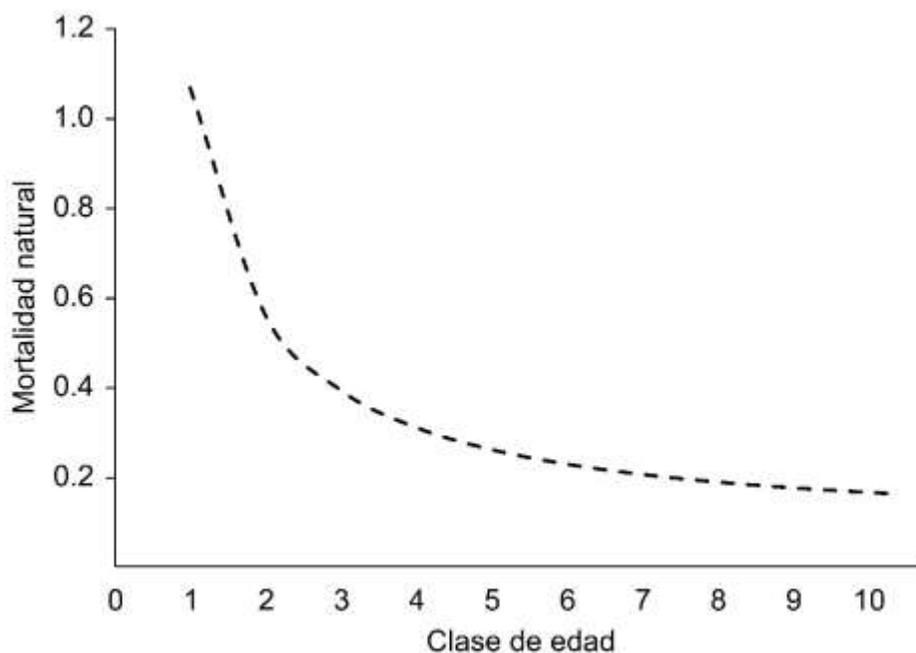


Figura 3. Tasas de mortalidad natural a la edad. Tasas estimadas mediante el método de Chen y Watanabe (1989).

(e) Dinámica de la población

La dinámica de la población de merluza enana fue representada mediante la siguiente ecuación:

$$N_{i+1,t+1} = N_{i,t}e^{-(F_{i,t}+M_i)} \quad (15)$$

Dónde $N_{i+1,t+1}$ es el número de individuos en la clase de edad $i+1$ en el tiempo $t+1$, $F_{i,t}$ es la mortalidad por pesca a la edad i y al tiempo t , M_i es la mortalidad natural en la edad i . Las capturas de la flota pesquera fueron estimadas por clase de edad ($Y_{i,t}$, por el inglés yields) de la siguiente manera (Quinn y Deriso, 1999):

$$y_{i,t} = N_{i,t}w_i \left(\frac{F_{i,t}}{F_{i,t} + M_i} \right) (1 - e^{-(F_{i,t}+M_i)}) \quad (16)$$

y la mortalidad por pesca se obtuvo de:

$$F_{i,t} = q_i f_t \quad (17)$$

Dónde q_i es la capturabilidad a la edad i y f_t es el esfuerzo al tiempo t . Se asumió que la capturabilidad se incrementa en 2% anualmente, esto para integrar al modelo el efecto de las mejoras en el comportamiento de búsqueda de pesca y las mejoras tecnológicas, los cuales pueden causar que el esfuerzo efectivo de la flota se incremente con el tiempo (Cochrane y Garcia, 2009; Palomares y Pauly, 2019). La capturabilidad fue estimada mediante la ecuación de Baranov (Baranov, 1918):

$$q_i = - \left\{ \ln \left[1 - \left(c \frac{a}{Area} \right) SEL_i \right] \right\} \quad (18)$$

Dónde c es la probabilidad de captura, a es el área barrida por embarcación anualmente, $Area$ es el área de distribución del recurso y SEL es la selectividad del arte de pesca para cada clase de edad i . El área barrida por embarcación anualmente fue estimada a partir de la prospección realizada en el GDU en 2011, de manera que $a = 8.89 \text{ km}^2/\text{embarcación/año}$, mientras que el área estimada de distribución del recurso fue de $Area = 9,210 \text{ km}^2$, siguiendo lo reportado por Godínez-Pérez (2013).

La selectividad del arte de pesca para cada clase de edad se encuentra dada por la siguiente ecuación:

$$SEL_i = \frac{1}{1 + e^{(s_1 - s_2 L)}} \quad (19)$$

Dónde las constantes s_1 y s_2 se encuentran dadas por:

$$s_1 = L_{50\%} \left(\frac{\ln 3}{L_{75\%} - L_{50\%}} \right) \quad (20)$$

$$s_2 = \frac{s_1}{L_{50\%}} \quad (21)$$

Dónde $L_{50\%}$ y $L_{75\%}$ son la longitud de los organismos que muestran un 50% y 75% de retención por el arte de pesca, respectivamente. Los anteriores parámetros fueron estimados analizando la estructura de tallas reportada en las capturas prospectivas (CIBNOR-CONACyT, 2011) maximizando el logaritmo negativo de verosimilitud mediante un ajuste no lineal con el algoritmo de gradiente reducido generalizado, asumiendo un error multiplicativo de los residuales (Wang y Liu, 2006) y utilizando como valor semilla el reportado por Mathews (1975) para la merluza enana en el Golfo de California ($L_{50\%} = 11.25$ cm).

6.2.3.2 Submodelo económico

En este trabajo se asumió por simplicidad un comportamiento homogéneo de los pescadores y de las características de la flota. No obstante, se reconoce que el comportamiento de los pescadores puede ser muy complejo y variable, debido a que cada pescador tiene sus propias preferencias, las cuales varían el valor que le asignan a su dinero, tiempo, habilidades, etc., por lo que en realidad su comportamiento es heterogéneo (Salas y Gaertner, 2004).

La dinámica de la flota pesquera se representó mediante la función descrita por Smith, (1969), la cual asume que los cambios en el esfuerzo pesquero f , que en este caso se midió en número de embarcaciones, son proporcionales a las utilidades (o pérdidas) obtenidas en la temporada pesquera pasada. De manera que:

$$f_{t+1} = f_t + \varphi\pi_t \quad (22)$$

Dónde φ es la constante positiva de la dinámica de la flota y π son las utilidades obtenidas en el tiempo t .

Tomando como referencia la flota industrial de la pesquería de arrastre de *M. hubbsi* y *M. australis*, Portela et al., (2002) reportaron un cambio en el número de embarcaciones de entre 2-8. De esta manera, el valor de φ empleado en el presente trabajo fue calculado para reflejar una dinámica similar de entrada y salida a la de la flota mencionada, la cual dirige su pesca a otras especies del género *Merluccius*. El valor empleado fue de $\varphi= 3.50E-06$.

El escenario de explotación planteado en este trabajo considera que la flota pesquera dirigida a la extracción de merluza enana en el GDU se encuentra formada por embarcaciones camaroneras pertenecientes a la pesquería de camarón de Mazatlán. Anualmente las embarcaciones se desplazan desde Mazatlán, Sinaloa (MZ en la Fig. 3) a Bahía Magdalena fuera de la temporada de camarón, de donde realizan viajes de pesca dirigidos a capturar merluza enana en el GDU y vuelven a Mazatlán para la siguiente temporada de camarón. Se asume que la temporada de pesca de la nueva pesquería de merluza enana tiene una duración de tres meses, de marzo a mayo (posterior a la temporada de camarón) y cada embarcación realiza un número fijo de cinco viajes de pesca con cinco días efectivos cada uno. Dicha asunción se basa en las tendencias reportadas por la pesquería de merluza del norte del Golfo de California.

La estimación de los costos fijos, costos variables y costos de oportunidad (Tabla 1) se realizó en dólares estadounidenses y considerando 1 USD= 20 MXN. Los costos de oportunidad se calcularon con las posibles utilidades que serían generadas por la tripulación ganando el salario mínimo nacional si en el periodo equivalente a la temporada de pesca de merluza (tres meses) se dedicaran a labores alternativas a la pesca, como albañilería, carpintería, educación, etc.

Tabla 1. Costos totales por embarcación para la pesquería de merluza enana propuesta en la costa occidental de Baja California Sur.

Costo	Unidades	Costo (USD)
Costos variables (CV)	CV totales	\$55,524
		(%)
	Combustible	53%
	Aceite	3%
	Salarios	34%
	Comida	4%
	Consumibles	6%
Costos fijos (CF)	Se asume que son cubiertos por la pesquería de camarón	\$0
Costos de oportunidad (CO)	Utilidades de la tripulación por embarcación ganando el salario mínimo durante la temporada de pesca de merluza enana (tres meses)	\$6,625

Nota: La estimación de los costos consideró cinco viajes por temporada y cinco días efectivos por viaje. El costo anual del viaje redondo Mazatlán-Bahía Magdalena se incluye como el costo de diésel para un barco camaronero con motor de 450 HP, con siete tripulantes (Almendarez Hernández, 2013). El salario mínimo nacional diario se estimó como 10.37 USD (DOF, 2022b), considerando \$1 USD= \$20 MX.

Las utilidades se calcularon como la sustracción de los costos totales a los ingresos totales, siguiendo a (Seijo *et al.*, 1997):

$$\pi_t = IT_t - CT_t \quad (23)$$

$$IT_t = pY_t \quad (24)$$

$$CT_t = CV_t + CF_t + CO_t \quad (25)$$

Dónde π_t son las utilidades, IT_t son los ingresos totales, CT_t son los costos totales, p es el precio de venta de la especie, el cual se asume constante por talla y a través del tiempo, CV_t son los costos variables, estimados con el esfuerzo pesquero anteriormente mencionado, CF_t son los costos fijos, CO_t son los costos de oportunidad.

Se asumió que todas las embarcaciones que participarán en la pesquería de merluza enana también participan en la pesquería de camarón y que los costos fijos son cubiertos por esta

última. En cuanto a los costos variables, se obtuvo información de los reportes de los costos de operación de los cruceros prospectivos realizados por el CIBNOR, los cuales partieron de Bahía Magdalena a la zona de pesca en el GDU.

Con respecto al precio de venta p , se consideraron valores entre \$15-20 MXN/kg (0.75-1.0 USD/kg), basado en entrevistas realizadas a los productores de merluza del Golfo de California. El valor de la pesquería se calculó mediante el valor presente neto (VPN) de las utilidades alcanzadas a través del tiempo, con la siguiente fórmula:

$$VPN = \sum_{t=0}^n \frac{\pi_t}{(1+d)^t} \quad (26)$$

Dónde n se refiere al vector de proyección, d es la tasa anual de descuento y t es el tiempo de proyección considerado en años en este caso, d se estimó sustrayendo la inflación anual (3.7%) de las utilidades obtenidas mediante una inversión en CETES (Certificados de la Tesorería de la Federación; 6.81%), obteniendo que $d= 3.11\%$ (valores estimados para febrero de 2020). El VPN se estimó para un horizonte temporal de 50 años. El resumen de los parámetros utilizados para el modelo bioeconómico estructurado por edades se muestra en la siguiente tabla (Tabla 2).

Tabla 2. Parámetros empleados por el modelo bioeconómico estructurado por edades para la pesquería de merluza enana propuesta en la costa occidental de BCS.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidades	Fuente
Longitud patrón máxima	L_{∞}	28.23	cm	Mora-Zamacona et al., sometido
Parámetro de crecimiento	k	0.251	1/año	Mora-Zamacona et al., sometido
Origen	t_0	0.01		Mora-Zamacona et al., sometido
Parámetro de la relación talla-peso	a	0.009	g	Salinas-Mayoral, 2018
Parámetro de la relación talla-peso	b	2.98	g	Salinas-Mayoral, 2018
Precio de venta	p	875	USD/ton	Productores de merluza de Sonora
Costo por unidad de esfuerzo	cu	55,524	USD/barco/año	Estimado
Constante de la dinámica del esfuerzo	φ	3.5E-06	barco/ USD	Urías-Sotomayor et al., 2019
Tasa de descuento	δ	0.037	1/año	Estimado
Área barrida por barco anualmente	a	8.89	km ² / barco /año	Estimado
Área de distribución de la especie	$Area$	9209.96	km ²	Godínez-Pérez, 2013
Talla con 50% de retención	$L_{50\%}$	13.50	cm	Estimado
Talla con 75% de retención	$L_{75\%}$	16.28	cm	Estimado
Parámetro de selectividad	S_1	5.33		Estimado
Parámetro de selectividad	S_2	0.39		Estimado
Probabilidad de captura	c	0.90		Valor fijo
Biomasa desovante no explotada	S_0	126,177		Estimado
Reclutamiento no explotado	R_0	1,131,055,585	1/año	Estimado
Steepness	h	0.65		Grandin et al., 2020

6.2.3.3 Validación del modelo

Para validar el modelo se utilizó información del estudio prospectivo realizado en un proyecto conjunto entre instituciones de investigación nacionales y locales (CIBNOR-CONACyT) en 2011.

Los datos incluyeron estimaciones de CPUE específicas de merluza de los días de pesca en la región del GDU por parte de un barco pesquero de arrastre.

La discrepancia entre la CPUE prospectiva observada y la CPUE estimada por el modelo bioeconómico estructurado por edades se evaluó mediante el estadístico de Theil, que es un estimador no paramétrico con valores entre (0,1) y un valor crítico de $U= 0.2$. Adicionalmente, se calcularon la proporción del sesgo (UB), la proporción de la varianza (UV) y la proporción de la covarianza (UC) (Power, 1993; Araneda *et al.*, 2013; Duarte *et al.*, 2018).

6.2.4 Evaluación de estrategias de manejo

Se evaluaron los efectos de cinco estrategias de manejo alternativas. Dos estrategias basadas en control de esfuerzo por limitación de acceso, dos estrategias que combinan control de esfuerzo y límite de captura y un escenario de acceso abierto. Todas las estrategias consideraron un esfuerzo inicial de 20 embarcaciones en el tiempo $t= 0$:

f_{20} : esfuerzo limitado a un máximo de 20 embarcaciones, basado en el número de permisos otorgados en la pesca de merluza del Golfo de California y que actualmente no pescan la especie.

f_{80} : esfuerzo limitado a un máximo de 80 embarcaciones, dicho número equivale a los permisos otorgados en la pesquería de merluza mexicana que opera actualmente en el Golfo de California.

TAC_{PROf80} : control de salidas mediante captura total permisible, aunado a un esfuerzo con acceso limitado a 80 barcos. La estrategia está destinada a mantener un punto de referencia objetivo (PRO) de biomasa de 100,000 t ($TAC_{PROf80} = 7,000$ t), lo que garantiza niveles de biomasa precautorios a largo plazo.

$TAC_{PRLf120}$: control de salidas mediante captura total permisible, aunado a un esfuerzo con acceso limitado a 120 barcos. La estrategia busca mantener un punto de referencia límite de biomasa (PRL) de 75,000 t (la mitad de la biomasa no explotada descrita) mientras se maximizan los rendimientos ($TAC_{PRLf120} = 9,500$ t).

OA: un escenario de acceso abierto (open access en inglés) que representa un "escenario de control" de una pesquería no gestionada.

Los puntos de referencia de la biomasa se seleccionaron considerando que un PRL de la mitad de la biomasa no explotada se aproxima al rendimiento máximo sostenible y un PRO de 100,000 t es un nivel de biomasa precautorio equivalente a dos tercios de la biomasa no explotada. Con respecto a las estrategias que combinan control de captura-esfuerzo (TAC_{PROf80} y $TAC_{PRLf120}$), las cuotas de captura se estimaron con base en los valores medianos de los parámetros (Tabla 2), aunque se reconoce la influencia de la incertidumbre de los parámetros en cada valor de TAC. Finalmente, asumimos la existencia de una regla de restricción de captura individual que evite el comportamiento de carrera por la pesca, tanto en TAC_{PROf80} como en $TAC_{PRLf120}$.

6.2.4.1 Riesgo e incertidumbre

Para evaluar la sensibilidad de las variables de respuesta de interés (biomasa y VPN de la pesquería) a los parámetros del modelo, se realizó un análisis de sensibilidad variando los valores de los parámetros del modelo en $\pm 10\%$ con una distribución de probabilidad uniforme, bajo las estrategias de manejo anteriormente mencionadas. Los parámetros que influyeron en los resultados difirieron entre estrategias, pero los que mostraron la mayor influencia para todas las estrategias fueron los parámetros de crecimiento L_{∞} y k , el precio de venta p , el parámetro steepness de la relación stock-reclutamiento h , el reclutamiento del stock no explotado R_0 y la constante de dinámica pesquera φ . Por lo tanto, se exploró la variabilidad en estos parámetros para evaluar el riesgo y la incertidumbre en la pesquería potencial de merluza enana.

(a) Análisis Monte Carlo

Se realizó un análisis Monte Carlo para estimar la probabilidad (riesgo) de que la biomasa de la población disminuya por debajo de los puntos de referencia de la biomasa PRO y PRL bajo las diferentes estrategias de manejo propuestas, después de 50 años de actividad pesquera. Se consideró incertidumbre en los parámetros más sensibles, con una distribución de probabilidad uniforme entre los rangos de valores descritos en la Tabla 3.

Tabla 3. Rango de valores considerados para el análisis Monte Carlo.

Parámetro	Símbolo	Valor			Fuente
		Min.	Medio	Máx.	
Steepness	h	0.5	0.65	0.8	Grandin et al. 2020
Precio (USD/ton)	p	\$750	\$875	\$1,000	Productores de merluza de Sonora
Longitud estándar máxima (cm)	L_{∞}	27.6	28.236	28.9	Mora-Zamacona et al., sometido
Parámetro de crecimiento	k	0.238	0.251	0.266	Mora-Zamacona et al., sometido
Constante de la dinámica de la flota	φ	3.15E-06	3.50E-06	3.85E-06	Urías-Sotomayor, et al. 2019
Reclutamiento no explotado	R_0	1.02E+09	1.13E+09	1.24E+09	Estimado ($\pm 10\%$)

Aunado a lo anterior, se estimaron el rango inter-cuartil y los valores medianos para la proporción de biomasa no explotada a lo largo del tiempo (B_t/B_0), las ganancias por embarcación (π_t/barco) y el número de embarcaciones empleadas al final del período de simulación. El análisis se realizó con una herramienta de análisis de riesgos (Crystal Ball©), el período de simulación fue de 50 años y el número de permutaciones por simulación fue de 10,000.

7. RESULTADOS

7.1 Análisis del crecimiento individual de la merluza enana

7.1.1 Recolección de muestras

Se encontraron diferencias significativas en LP entre sexos ($D = 0.433$, $p < 0.001$, $n = 932$), siendo las hembras de mayor tamaño que los machos (Fig. 4). De un total de 240 pares de otolitos que se utilizaron inicialmente para el estudio de envejecimiento, 190 (80%) eran legibles. 109 pares de otolitos de hembras con tamaños de 11.5 a 27.5 cm LP y 81 de machos con tamaños de 12 a 23.5 cm LP, con una muestra bien representada para cada mes del año muestreado (Tabla 4). Se encontró una relación lineal significativa ($p < 0.001$) entre el ancho del otolito (radio del otolito) y la longitud estándar para hembras ($LP = 0.3098 + RO * 0.082$, $r^2 = 0.7148$) y machos ($LP = 0.1626 + RO * 0.0922$, $r^2 = 0.6455$), confirmando la idoneidad de otolitos para la estimación de la edad.

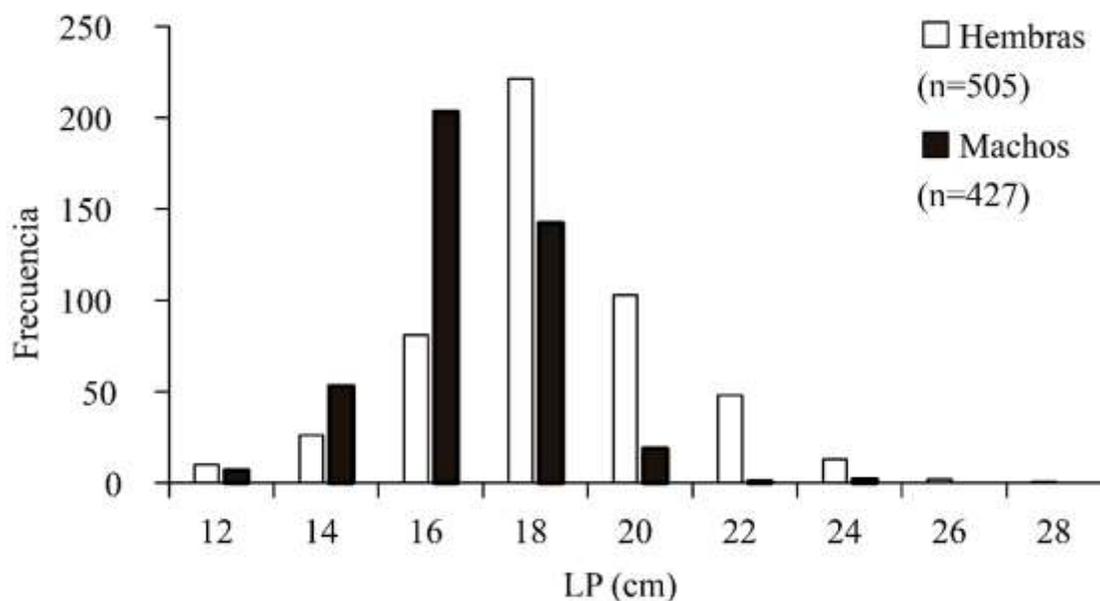


Figura 4. Estructura de tallas. Estructura de tallas de hembras y machos de merluza enana *M. productus* recolectados en Bahía Magdalena de mayo a diciembre de 2015.

Tabla 4. Muestreo mensual de especímenes de merluza enana *M. productus* en el presente estudio.

Mes	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Tamaño de muestra	23	27	26	26	29	19	20	20

7.1.2 Precisión y sesgo

Se encontró una alta precisión entre los lectores. Los recuentos de anillos dieron como resultado un PA del 68.7% y un PA \pm 1 anillo del 95.1%, con un PEP entre lectores del 4.6% y una CV del 6.5%. La prueba de simetría de Bowker ($\chi^2 = 15.62$, $gl = 6$, $p = 0.98$) no indicó diferencias sistemáticas entre lectores (sesgo). Estos resultados indican un alto nivel de reproducibilidad.

7.1.3 Periodicidad de formación de anillos de crecimiento

La presencia de numerosas marcas observadas en la estructura del otolito complicó las lecturas. Sin embargo, la identificación de dos o tres marcas evidentes antes del primer anillo, como lo describen Piñeiro et al. (2009) fue identificado en la mayoría de los otolitos. También fue posible clasificar las bandas de crecimiento en el borde de los otolitos como translúcidas u opacas y el cálculo del grosor del anillo 3 como proporción del anillo 2, así como del anillo 4 al anillo 3 fueron significativos ($\bar{x}_{3-2} = 1.82$, $p < 0.40$; $\bar{x}_{4-3} = 1.66$, $p < 0.81$). En este sentido, se encontraron diferencias en los incrementos marginales mensuales (Kruskal-Wallis: $H_{7,190} = 26.3$, $p < 0.001$). Tanto el análisis de bordes como el MIR mostraron una tendencia creciente observada desde noviembre hasta un máximo en octubre (Fig. 5) y la prueba post-hoc mostró diferencias significativas entre octubre y noviembre ($p < 0.001$). Los resultados sugieren la formación anual de una marca de crecimiento (anillo), culminando su depósito en octubre.

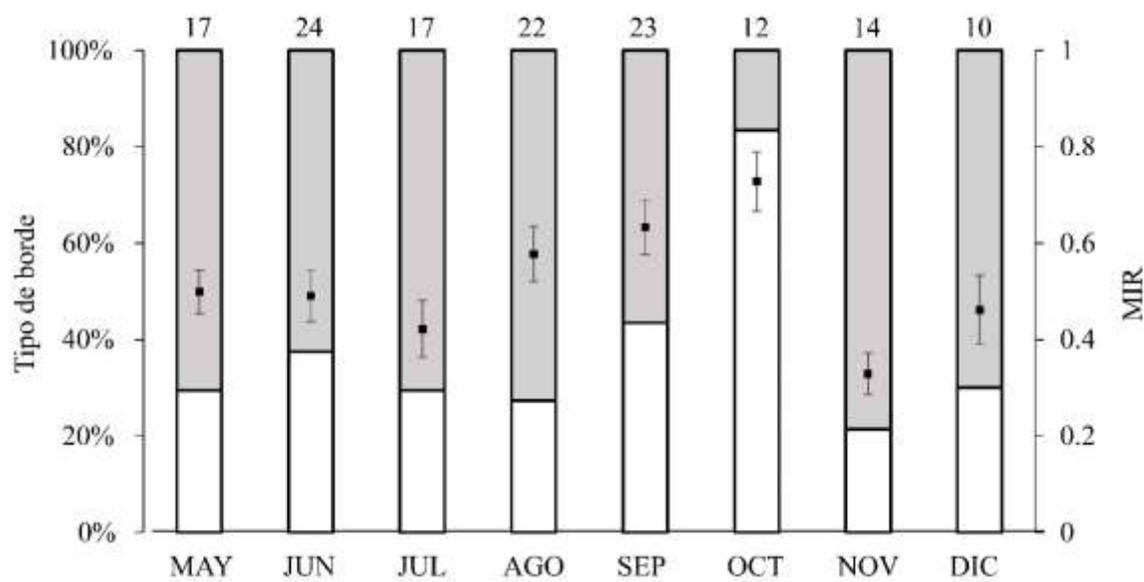


Figura 5. Resultados de análisis de periodicidad de formación de marcas de crecimiento. Frecuencias mensuales del índice de tipo de borde y del índice incremento marginal (MIR). Bandas translúcidas (□) y opacas (■) determinadas a partir de secciones de otolitos; MIR media mensual (▪); las barras muestran el error estándar para valores mensuales. El tamaño de la muestra se indica en la parte superior del gráfico.

Considerando la formación de un anillo cada año, se realizó la identificación de 10 grupos de edad (Fig. 6). El tercer grupo de edad fue el predominante, seguido por los grupos de edad dos y cuatro, mientras que los grupos de seis, siete y 10 años solo estuvieron representados con un espécimen y los grupos ocho y nueve no estuvieron representados en la muestra. Los machos sólo estuvieron representados en los grupos de edad de 1 a 5 años. Las claves edad-talla por sexo se pueden encontrar en las Tablas 5-6.

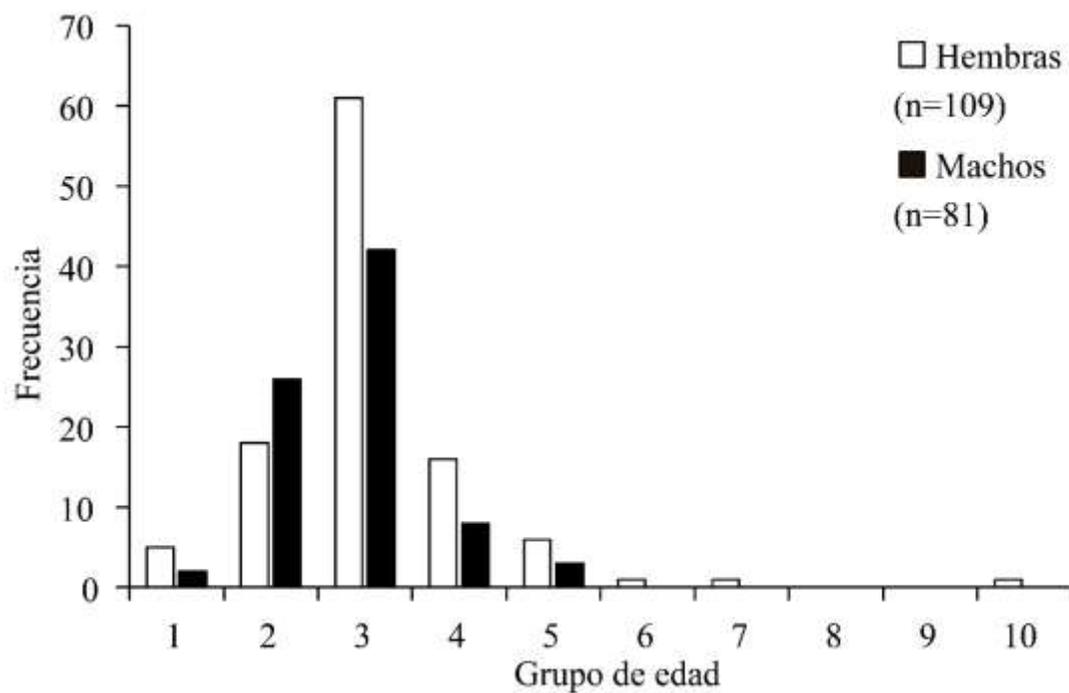


Figura 6. Frecuencia de edades de merluza enana *M. productus*.

Tabla 5. Estructura talla-edad de hembras de merluza enana *M. productus* obtenida a partir de la lectura de marcas de crecimiento en secciones de otolitos sagitta y retrocalculadas.

Longitud patrón (cm)	Grupo de edad											n
	0 ⁺	1 ⁺	2 ⁺	3 ⁺	4 ⁺	5 ⁺	6 ⁺	7 ⁺	8 ⁺	9 ⁺	10 ⁺	
4	99											99
6	10											10
8		8										8
10		68										68
12		31	6									37
14		2	48	2								52
16			43	24	2							69
18			6	41	8	1						56
20			1	19	10	3						33
22				1	6	4	1					12
24						1	2	2				5
26									1	1		2
28											1	1
Total	109	109	104	87	26	9	3	2	1	1	1	452

Tabla 6. Estructura talla-edad de machos de merluza enana *M. productus* obtenida a partir de la lectura de marcas de crecimiento en secciones de otolitos sagitta y retrocalculadas.

Longitud patrón (cm)	Grupo de edad						n
	0 ⁺	1 ⁺	2 ⁺	3 ⁺	4 ⁺	5 ⁺	
4	81						81
6		2					2
8		27					27
10		37	1				38
12		14	21				35
14		1	36	10			47
16			20	33	3		56
18			1	10	6		17
20					1	1	2
22				1		1	2
24					1	1	2
Total	81	81	79	54	11	3	309

7.1.4 Estimación del crecimiento y selección del modelo

Los modelos de crecimiento ajustados mostraron valores de L_{∞} entre 26.2 – 31.3 cm LP para las hembras y 20.1 – 31.3 cm LP para los machos, siendo los machos más pequeños en general (Tabla 7). Para el parámetro k su interpretación varía dependiendo del punto de inflexión en cada modelo, por lo que no es comparable entre modelos. Por otro lado, la edad teórica cuando la talla cero t_0 se encontró con valores cercanos a la abscisa para todos los modelos. Tanto las hembras como los machos mostraron una tendencia de crecimiento rápido en los primeros dos años (Fig. 7), después de lo cual el crecimiento se volvió más lento alcanzando un tamaño por edad similar, pero no se observaron machos mayores de 5 años. Para ambos sexos las curvas de crecimiento no alcanzan el tamaño asintótico sugerido por los modelos de crecimiento mejor ajustados.

Tabla 7. Valores de parámetros de los modelos de crecimiento ajustados a datos de merluza enana *M. productus*. Los IC estimados a partir de perfiles de probabilidad logarítmica se muestran entre paréntesis.

Sexo	Parámetro	VBGM	VBGM generalizado	Gompertz	Logístico	Johnson
Hembras	L_{∞}	28.236 (27.6 - 28.9)	31.362 (30.9 - 31.875)	26.989 (26.1 - 27.9)	26.243 (25.1 - 27.35)	30.595 (29.3 - 31.85)
	k	0.251 (0.238 - 0.266)	0.154 (0.148 - 0.16)	0.380 (0.335 - 0.433)	0.523 (0.43 - 0.64)	0.517 (0.463 - 0.575)
	t_0	0 (-0.21 - 0.11)	0.181 (0.08 - 0.275)	1.775 (1.5 - 2.06)	2.737 (2.35 - 3.1)	0 (-0.47 - 0.16)
	δ		0.708 (0.68 - 0.73)			
Machos	L_{∞}	25.352 (24.3 - 26.4)	31.358 (30.6 - 32.1)	21.285 (20.5 - 22.1)	20.115 (19.75 - 21.05)	25.155 (24 - 26.4)
	k	0.281 (0.26 - 0.303)	0.144 (0.138 - 0.151)	0.612 (0.54 - 0.7)	0.925 (0.775 - 1.125)	0.654 (0.59 - 0.73)
	t_0	0.022 (-0.14 - 0.18)	0.236 (0.145 - 0.31)	1.419 (1.26 - 1.58)	1.947 (1.732 - 2.161)	0 (-0.27 - 0.1)
	δ		0.708 (0.685 - 0.73)			

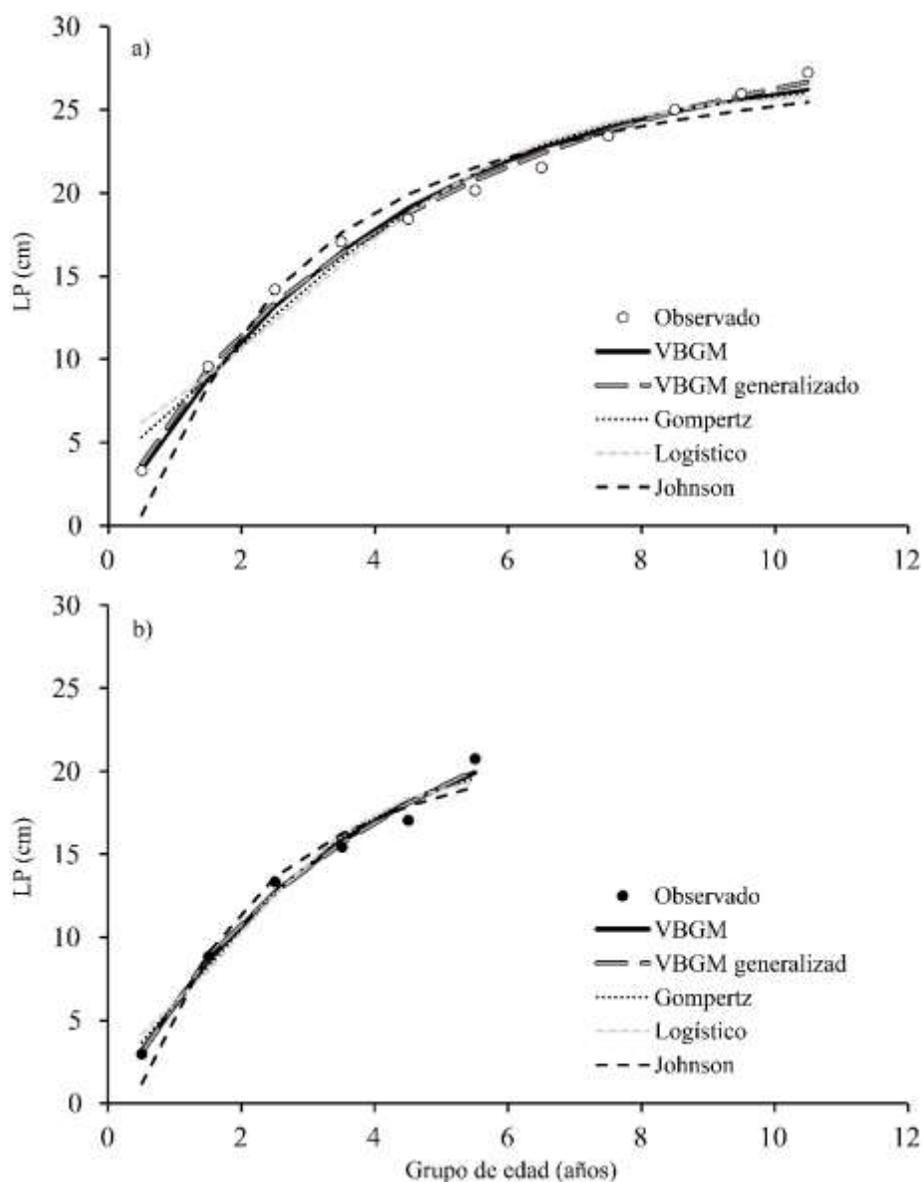


Figura 7. Trayectorias de crecimiento. Modelos de crecimiento candidatos ajustados a hembras (a) y machos (b) de merluza enana *M. productus* muestreados frente a la costa oeste de BCS.

Según los criterios de selección del modelo AIC, el modelo de crecimiento que mejor se ajustaba difería entre sexos (Tabla 8). Para las hembras, el VBGM generalizado fue el único modelo candidato con apoyo empírico ($\Delta_i < 2$), con un peso de Akaike $w_i = 93\%$. Para los machos, el VBGM obtuvo el valor más bajo de AIC ($\Delta_i = 0$), con $w_i = 62\%$, y el VBGM generalizado también mostró apoyo empírico ($\Delta_i < 2$), con $w_i = 24\%$.

Tabla 8. Clasificación de los cinco modelos de crecimiento basada en el criterio de información de Akaike (AIC) con su respectivo número de parámetros θ_i , diferencias de Akaike Δ_i , peso de Akaike w_i y porcentaje de pesos de Akaike w_i (%).

Sexo	Modelo	θ_i	AIC	Δ_i	w_i	w_i (%)
Hembras	VBGM	4	25.98	0.00	0.93	93.05
	generalizado	3	31.22	5.23	0.07	6.80
	VBGM	3	39.21	13.23	0.00	0.12
	Gompertz	3	43.14	17.16	0.00	0.02
	Logístico	3	44.12	18.13	0.00	0.01
Machos	VBGM	3	17.98	0.00	0.62	61.50
	VBGM	4	19.85	1.86	0.24	24.23
	generalizado	3	21.67	3.69	0.10	9.72
	Gompertz	3	24.43	6.44	0.02	2.45
	Logístico	3	24.74	6.75	0.02	2.10

7.2 Análisis bioeconómico de una pesquería emergente de merluza enana

7.2.1 Validación del modelo

El coeficiente de Theil mostró que el modelo bioeconómico estructurado por edades reprodujo con precisión las CPUE prospectivas, ya que el valor U de Theil fue inferior a 0.2 (Tabla 9). La proporción de sesgo (U_B) y la proporción de varianza (U_V) fueron los coeficientes parciales con proporciones más altas y pueden reducirse aumentando el tamaño del conjunto de datos disponibles una vez que la pesquería opere.

Tabla 9. Resultados de la prueba de Theil, valores obtenidos en la validación del modelo bioeconómico estructurado por edades, comparando la CPUE del modelo con la CPUE observada en los cruceros prospectivos. El valor límite de la prueba es $U= 0.2$.

Símbolo	Descripción	Valor
U	Coeficiente de Theil	0.123
U_B	Proporción de sesgo	0.278
U_V	Proporción de varianza	0.568
U_C	Proporción de covarianza	0.006

7.2.2 Análisis de sensibilidad

Los resultados del análisis de sensibilidad de las variables de respuesta de interés (biomasa y VPN de la pesquería) a los parámetros del modelo bioeconómico mostraron que los parámetros con mayor influencia difirieron entre estrategias de manejo. No obstante, los parámetros con mayor influencia en las estrategias fueron los parámetros de crecimiento L_∞ y k , el precio de venta p , el parámetro steepness de la relación stock-reclutamiento h , el reclutamiento del stock no explotado R_0 y la constante de dinámica pesquera φ (Figs. 8-9).

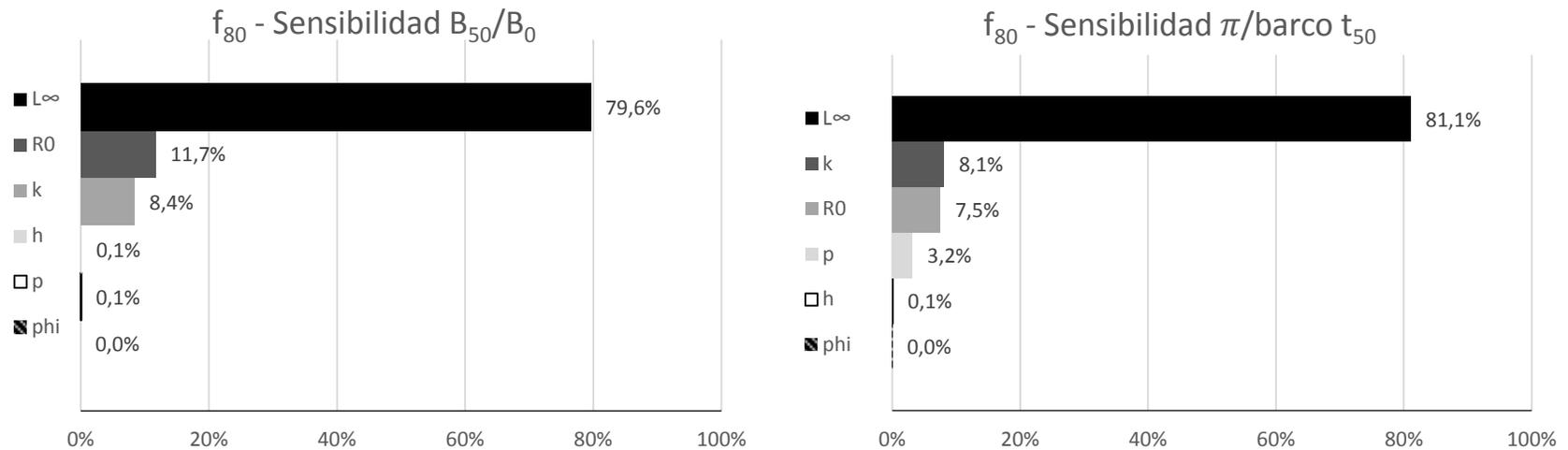


Figura 8. Resultados del análisis de sensibilidad. Análisis de sensibilidad de las variables de respuesta: biomasa remanente (izquierda), utilidades por embarcación (derecha), bajo la estrategia f_{80} .

En el caso de la estrategia de acceso limitado a 80 embarcaciones (f_{80}) los parámetros con mayor influencia fueron L_{∞} , R_0 y k .

Por otro lado, considerando un acceso abierto a la pesquería (OA) los parámetros con mayor influencia en las variables de respuesta fueron el precio p , R_0 , L_{∞} y h .

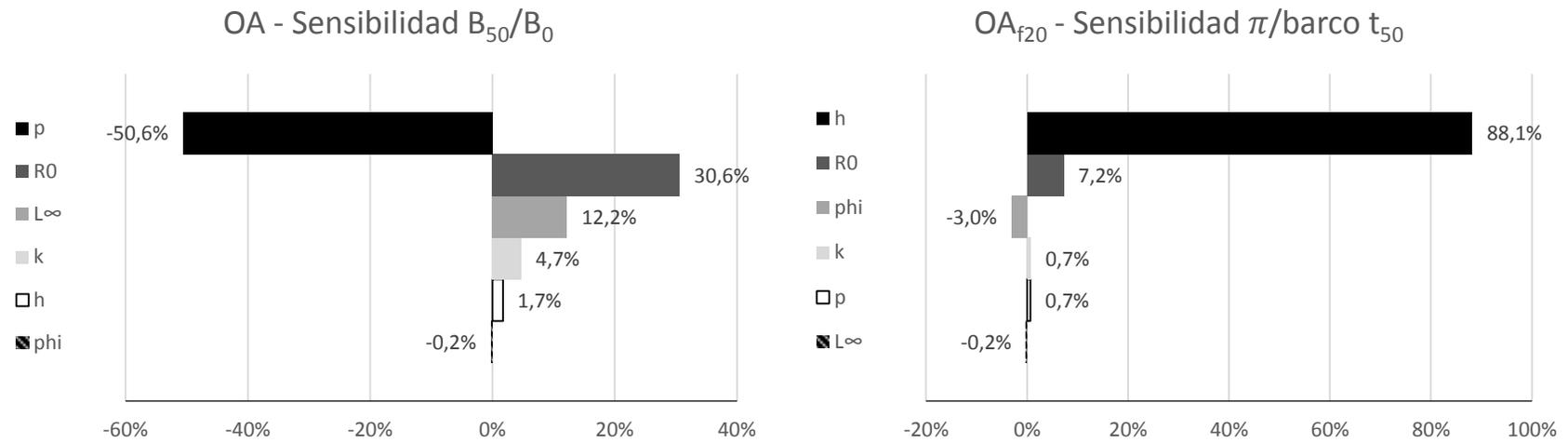


Figura 9. Resultados del análisis de sensibilidad. Análisis de sensibilidad de las variables de respuesta: biomasa remanente (izquierda), utilidades por embarcación (derecha), bajo acceso abierto.

7.2.3 Dinámica pesquera

La dinámica de la pesquería considerando los valores medianos de los parámetros del modelo (Tabla 2) mostró que la biomasa del stock puede llegar a reducirse por debajo del PRL (la mitad de la biomasa no explotada) cuando se opera en acceso abierto (Fig. 10). En estas condiciones, las estrategias que combinan control de captura y de esfuerzo lograron mantener los niveles de biomasa por encima de sus respectivos puntos de referencia de la pesquería, mientras que las estrategias de acceso limitado mostraron una disminución continua de la biomasa ocasionada por el incremento en la capturabilidad; sin embargo, la estrategia f_{20} logró el nivel de biomasa más alto.

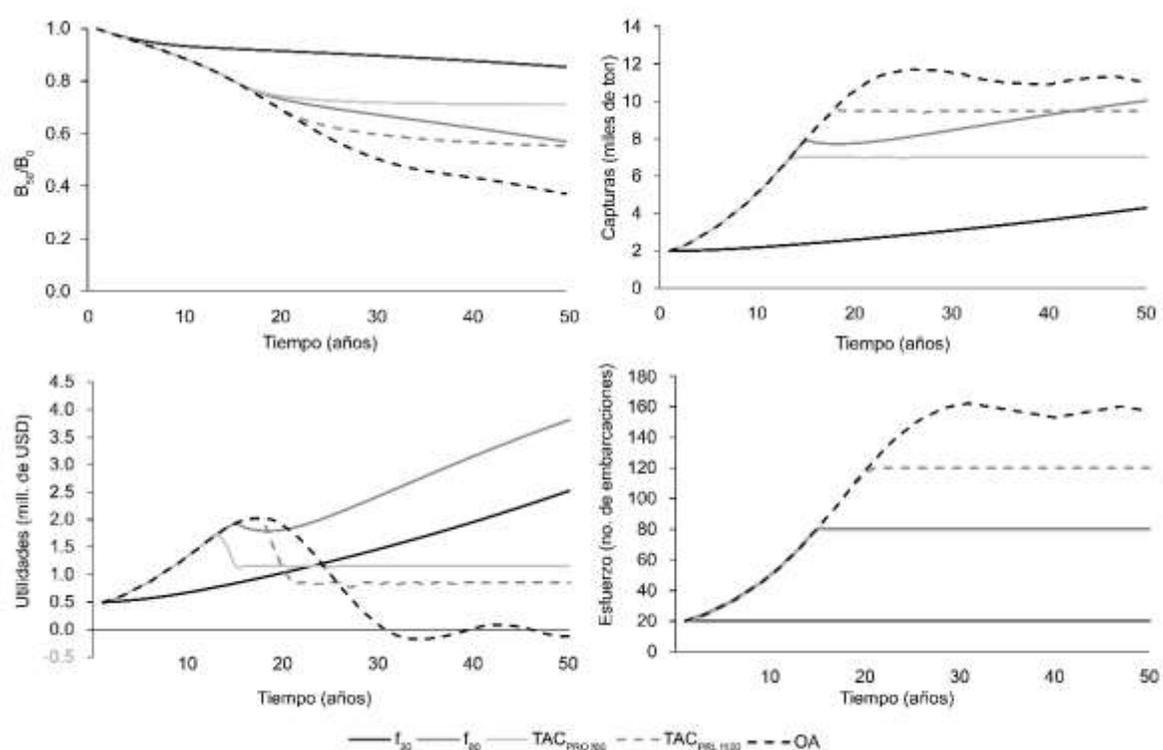


Figura 10. Gráficos dinámicos. Dinámica de la biomasa del stock, captura pesquera, utilidades por embarcación y niveles de esfuerzo durante 50 años de operación bajo cinco estrategias de manejo diferentes. Trayectorias obtenidas bajo los valores medianos de los parámetros del modelo descritos en la Tabla 2.

Las capturas anuales de la pesquería de merluza enana oscilaron entre 2 mil y 12 mil toneladas, con los valores más altos para la estrategia OA y los más bajos para la estrategia f_{20} . Las estrategias TAC_{PROF80} y TAC_{PRL120} alcanzaron sus cuotas de captura alrededor de los años 15 a 18 y mantuvieron ese nivel a partir de entonces, mientras que las estrategias de acceso limitado

mostraron un aumento persistente en los rendimientos (incremento en la capturabilidad), coincidiendo con un aumento continuo en las ganancias de la pesquería.

Las utilidades globales de la pesquería fueron mayores para la estrategia f_{80} , seguida de f_{20} , mientras que OA obtuvo las más bajas debido a que alcanzó un equilibrio bioeconómico. Las estrategias f_{80} , TAC_{PROf80} y $TAC_{PRLf120}$ mostraron una caída en las utilidades pesqueras alrededor de los años 12 a 18, correspondientes a los períodos en los que se alcanzó el nivel máximo de esfuerzo y se alcanzó la cuota de captura, respectivamente. Curiosamente, f_{80} y TAC_{PROf80} alcanzaron el nivel de esfuerzo de 80 barcos al mismo tiempo (año 15), pero la caída en las utilidades ocurrió antes para TAC_{PROf80} , cuando las capturas se acercaron a la cuota (año 13), mientras que f_{80} mostró un incremento en la captura durante un par de años más. El esfuerzo de todas las estrategias alcanzó sus niveles máximos restringidos y los mantuvo a partir de entonces, a excepción de OA que mostró una disminución después de obtener pérdidas en el año 30 y osciló alrededor de 160 embarcaciones después de alcanzar el equilibrio bioeconómico.

7.2.4 Análisis Monte Carlo

La estrategia más conservadora fue la estrategia f_{20} , que fue la única sin riesgo de caer por debajo tanto del PRO como del PRL, manteniendo el nivel de biomasa más alto de entre las estrategias de manejo evaluadas (por encima de $0.8B_0$) (Fig. 11). La estrategia f_{80} mostró alto riesgo de caer por debajo del PRO (94%) y bajo riesgo de disminuir la biomasa por debajo del PRL (6%), manteniendo un nivel de biomasa alrededor de $0.57B_0$. Las estrategias de control de captura-esfuerzo lograron mantener la biomasa alrededor de sus niveles objetivo TAC_{PROf80} ($B_{50}<PRO= 27\%$, $\sim 0.72B_0$) y $TAC_{PRLf120}$ ($B_{50}<PRL= 33\%$, $\sim 0.55B_0$) (Tabla 10). Para el escenario de acceso abierto, había un 100% de riesgo de caer por debajo de ambos puntos de referencia.

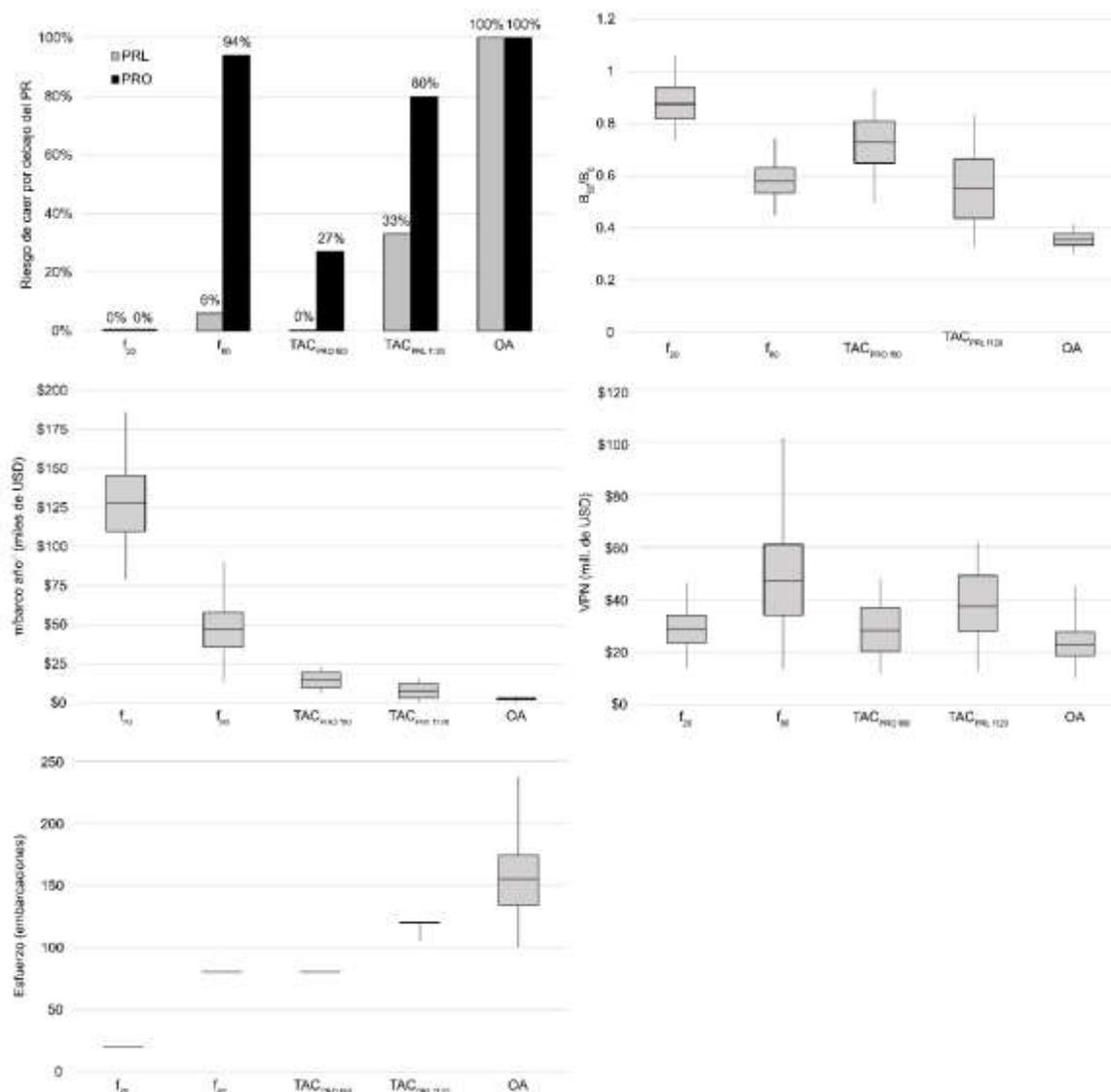


Figura 11. Resultados de análisis Monte Carlo. Riesgo de caer por debajo de los puntos de referencia de la pesquería y diagramas de caja y bigotes de la proporción de la biomasa no explotada restante, utilidades anuales por barco y número de barcos en la pesquería. La línea horizontal en el medio de cada cuadro indica el valor de la mediana (percentil 50), los bordes de los cuadros marcan los percentiles 75 y 25, y los bigotes marcan los valores mínimo y máximo. La simulación se realizó bajo incertidumbre de parámetros biológicos y económicos por un período de 50 años.

Las utilidades por embarcación mostraron alta variabilidad en f_{20} y f_{80} , sin embargo, estas estrategias tuvieron los valores medianos más altos (f_{20} : Q1= \$92,000, Q3= 167,000 USD/barco) y segundo más altos (f_{80} : Q1= \$23,000, Q3= 73,000 USD/barco) (Tabla 10). Las estrategias TAC_{PROf80} y $TAC_{PRLf120}$ generaron menores utilidades por embarcación, particularmente la última, que presentó valores medianos de alrededor de \$6,000 USD. El valor de las utilidades por

embarcación en el escenario de acceso abierto osciló alrededor de cero, lo que indica una situación de equilibrio bioeconómico.

El VPN de la pesquería bajo la estrategia f_{80} mostró los valores medianos más altos, pero también la mayor variabilidad (f_{80} : Q1= \$22, Q3= 81 mill. USD), seguido de f_{20} y las estrategias combinadas de control de captura-esfuerzo. En cuanto al esfuerzo de pesca (número de embarcaciones), las únicas estrategias que presentaron variación en el número de embarcaciones al final de los 50 años de proyección fueron $TAC_{PRLf120}$ y acceso abierto.

Tabla 10. Riesgo de caer por debajo de los puntos de referencia de la pesquería y valores simulados de biomasa, utilidades y niveles de esfuerzo obtenidos del Análisis de Monte Carlo.

Estrategia	Riesgo de caer bajo PRL	Riesgo de caer bajo PRO	B ₅₀ /B ₀			π/barco año ⁻¹ (miles de USD)			NPV (millones de USD)			Esfuerzo (barcos)		
			IC inferior	Mediana	IC superior	IC inferior	Mediana	IC superior	IC inferior	Mediana	IC superior	IC inferior	Mediana	IC superior
f ₂₀	0%	0%	0.765	0.875	1.014	\$92.58	\$127.78	\$167.34	\$17.89	\$28.80	\$40.70		20	
f ₈₀	6%	94%	0.482	0.578	0.688	\$23.22	\$46.95	\$73.65	\$22.77	\$46.90	\$81.70		80	
TAC _{PRO} f ₈₀	0%	27%	0.55	0.728	0.889	\$6.36	\$14.63	\$22.49	\$14.62	\$28.43	\$43.60		80	
TAC _{PRL} f ₁₂₀	33%	80%	0.35	0.551	0.764	-\$0.02	\$6.61	\$14.07	\$13.51	\$26.33	\$45.52	117	120	120
OA	100%	100%	0.33	0.383	0.44	-\$1.91	-\$0.26	\$0.53	\$13.37	\$22.87	\$34.67	110	155	200

8. DISCUSIÓN

8.1 Análisis del crecimiento individual de la merluza enana

La información disponible actualmente sobre la edad y el crecimiento de la merluza enana es muy limitada. Anteriormente, (Vrooman y Paloma, 1977) estimaron la edad de la merluza enana a partir de lecturas completas de otolitos con un tamaño de muestra reducido, pero no se pudo verificar la periodicidad de formación de incrementos en la estructura. La verificación de la periodicidad de la formación de incrementos es de vital importancia para la definición de grupos de edad y para el manejo (Campana, 2001), ya que la formación de incrementos es un proceso fisiológico posiblemente relacionado con variaciones ambientales (Wright *et al.*, 2002). En nuestro estudio se verificó la formación de un incremento anual en otolitos mediante análisis de incremento marginal y análisis de bordes, así mismo, esto también ha sido verificado para stocks de merluza del Pacífico norte (Beamish, 1979) y otras especies del género como *M. merluccius*. (Colloca *et al.*, 2003), *M. australis* (Horn, 1997) y *M. hubbsi* (Costa *et al.*, 2018).

Para *M. productus* y otras especies para las cuales la estimación de la edad se basa en la lectura de incrementos en los otolitos, la estimación de la edad depende en gran medida de la interpretación del patrón de formación de incrementos en las estructuras, razón por la cual medir la precisión de las lecturas es tan importante (Campana, 2001). La alta precisión de nuestro trabajo es consistente con la propuesta por Campana (2001), valores de PEP < 5.5% y CV < 7.6%, lo que sugiere una alta reproducibilidad de las lecturas. Sin embargo, es importante mencionar que, hasta la fecha, no existe un enfoque estándar para la lectura del anillo en otolitos de merluza enana, por lo que este trabajo pretende sentar las bases para futuros enfoques.

A pesar del relativamente pequeño tamaño de muestra analizado, asumimos que los peces son representativos de la población de merluza enana, ya que fue posible obtener individuos durante la mayor parte del año y la distribución de tallas encontrada es similar a la reportada previamente por Vrooman y Paloma (1977), representando incluso un rango de tamaño mayor

al descrito por dichos autores. No obstante, la escasez de organismos viejos en nuestro estudio sugiere su posible migración a otras zonas no muestreadas o su ausencia durante el periodo estudiado.

En nuestro análisis se observó una edad máxima de 10 años y una talla máxima de 27.5 cm LP para la merluza enana, contrastando con lo reportado para otras poblaciones de *M. productus*. Para la población costera de merluza del Pacífico frente a la costa occidental de Estados Unidos y Canadá se ha informado una edad máxima de 17 años (Best, 1963) y actualmente se considera un máximo de 15 años para su gestión (Edwards *et al.*, 2022), con Tallas máximas superiores a 80 cm de longitud total (LT). Para la población de *M. productus* en el norte del Golfo de California, México, hasta la fecha no existe ningún estudio publicado de estimación de edad, pero se ha descrito una talla máxima de 107 cm LT (Mathews, 1985), y los informes de talla máxima más recientes se acercan a 90 cm LP (Zamora-García *et al.*, 2020).

La diferencia en tamaños y longevidad descrita para los stocks de merluza del Pacífico con respecto a los resultados aquí reportados para la merluza enana es notable, de hecho, esta última fue descrita originalmente como una especie diferente, *M. angustimanus* (Mathews, 1975; Balart-Páez, 2005). Sin embargo, actualmente se considera que pertenece a la misma especie *M. productus* con base en análisis genéticos y merísticos (Silva-Segundo *et al.*, 2011; García-De León *et al.*, 2018), a pesar del dimorfismo entre poblaciones. Aunque se necesita más información, las diferencias en tamaño podrían deberse a diferentes condiciones de suministro de alimentos y variables ambientales como la temperatura, considerando que especies distribuidas en grandes áreas pueden presentar diferencias de crecimiento (Silva *et al.*, 2008; Costa *et al.*, 2018), particularmente los organismos que viven en sus límites de distribución sureños pueden presentar tamaños y longevidad menores (Hidalgo-De-La-Toba *et al.*, 2015).

En el presente estudio se encontraron diferencias significativas en las tallas entre sexos (dimorfismo sexual por talla) lo que también ha sido reportado para stocks de merluza del Pacífico norte (Stewart *et al.*, 2011) y especies del género como *M. merluccius* (Piñeiro y Saínza, 2003) y *M. hubbsi* (Costa *et al.*, 2018). El dimorfismo sexual por tallas sugiere que el crecimiento

podría variar entre sexos, por lo que en el presente trabajo se analizó el crecimiento de machos y hembras de forma independiente. El crecimiento de las hembras de merluza enana está mejor representado por el VBGM generalizado y el crecimiento de los machos por el VBGM, con un tamaño asintótico mayor para las hembras ($L_{\infty}= 31.4$ cm LP) que para los machos ($L_{\infty}= 25.4$ cm LP), pero la tasa de crecimiento no fue comparable debido a diferencias entre los modelos de crecimiento. No obstante, se pudo observar que la talla media por edad se presentó similar entre sexos, manteniendo los machos una talla media más baja.

Teniendo en cuenta lo anterior y las tendencias de las curvas de crecimiento que no alcanzan el tamaño asintótico, parece que ambos sexos de merluza enana podrían alcanzar tamaños mayores, más allá de sus respectivas edades máximas observadas. Para probar esto, se recomienda en estudios adicionales aumentar el tamaño de la muestra para determinar si es un efecto del número reducido de organismos más viejos analizados aquí o si hay organismos más viejos presentes en la población, aunque para comprobarlo será necesario muestrear diferentes zonas, ya que dichos organismos no fueron hallados en el Golfo de Ulloa previamente (Vrooman y Paloma, 1977), ni frente a Bahía Magdalena, en el presente estudio.

Los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy para los machos en este estudio ($L_{\infty}= 25.4$ cm LP y $k= 0.28$ año⁻¹) indican una talla máxima reducida y una alta tasa de crecimiento, siendo esta última similar a la tasa de crecimiento reportada para el stock de merluza frente a la costa occidental de Estados Unidos y Canadá ($k= 0.35$ años⁻¹), aunque en dicho stock la talla máxima es marcadamente mayor ($L_{\infty}= 55$ cm LP) (Stewart *et al.*, 2011). Esto indica que ambos stocks tienen un rápido crecimiento en relación con el tamaño máximo que alcanzan, pero el stock del norte alcanza mayores tallas.

Nuestros resultados indican que la merluza enana presenta su mayor crecimiento durante los dos primeros años de vida. Vrooman y Paloma (1977) reportaron que la merluza enana es similar en tamaño a la población costera de Estados Unidos y Canadá durante su primer año de vida, después del cual el crecimiento de la merluza enana es mucho más lento. En nuestro

estudio, la media de LP observada para el grupo de edad uno de la merluza enana fue de 12.2 cm, una longitud inferior a los 13.6 cm reportados por (Vrooman y Paloma, 1977) y los 13.7 cm reportados para la población costera de Estados Unidos y Canadá por (Best, 1963). No obstante, se recomienda reevaluar esta comparación, ya que a partir de 1990 se observó una dramática reducción de la talla máxima y su correspondiente aumento en la tasa de crecimiento, en el stock costero de Estados Unidos y Canadá (Stewart *et al.*, 2011).

Vrooman y Paloma (1977) definieron un año como la edad de primera madurez de la merluza enana, entre 11.9 y 12.5 cm LP, por lo que considerando que más del 93% de nuestra muestra tenía dos años o más y que el grupo de edad más abundante en nuestro estudio fue el grupo de edad tres (mayor a 15 cm LP), es posible asumir que la mayor parte de la captura analizada correspondió a organismos maduros. Aun así, recomendamos realizar un análisis de la edad y talla de primera madurez de la merluza enana para definir medidas de gestión como la talla mínima de captura.

Los resultados aquí presentados son la primera aproximación para estimar los parámetros de crecimiento de la merluza enana de la costa occidental de BCS y suponen un punto de comparación de gran importancia, ya que se trata de una población no explotada. Recomendamos evaluar los meses no muestreados en estudios subsecuentes para actualizar la verificación de la periodicidad de formación de marcas de crecimiento. Finalmente, se recomienda un esfuerzo especial para muestrear los ejemplares más viejos, posiblemente en zonas diferentes y a distintas profundidades, con el fin de mejorar la estimación de los parámetros de crecimiento.

8.2 Análisis bioeconómico de una pesquería emergente de merluza enana

La nueva pesquería de merluza enana aquí planteada abre la oportunidad para que los pescadores que buscan explotar otras especies diversifiquen su pesca, además de permitirles utilizar capital que de otro modo estaría inactivo. Evaluamos el escenario de los pescadores de

camarón de Mazatlán ingresando a la nueva pesquería de merluza enana, pues ya tienen los costos de capital cubiertos. En este sentido, nuestros resultados indican que una pesquería de merluza enana puede ser una actividad biológicamente sostenible y económicamente rentable, incluso considerando los altos costos que involucran el desplazamiento de embarcaciones desde el Golfo de California hasta la costa oeste de BCS.

Un aspecto no mencionado aquí y que será importante considerar es la presencia de un refugio pesquero en el GdU, destinado a la protección de la tortuga amarilla (*Caretta caretta*), por lo cual las embarcaciones probablemente deberán considerar utilizar dispositivos excluidores de tortugas para poder operar en la zona (DOF, 2023) . Dicha acción, si bien no incurre en un costo excesivo, no fue considerada en el análisis del presente.

Es importante mencionar que en el presente estudio se utilizó un modelo de dinámica de la flota que asume un comportamiento homogéneo del esfuerzo, como es el modelo de Smith. Dicho modelo no representa el comportamiento total de los pescadores a excepción de la entrada y salida de embarcaciones. Sin embargo, consideramos que el modelo es adecuado porque todas las potenciales embarcaciones entrantes tienen características similares (barcos camaroneros del estado de Sinaloa, (Almendarez Hernández, 2013) y, adicionalmente, se asumió que los posibles cambios en el esfuerzo debidos a cambios en los días de pesca o variación en el número de viajes, son despreciables con respecto a la entrada de una embarcación adicional.

Los potenciales participantes de esta nueva pesquería seguramente considerarán sus costos de oportunidad, los cuales pudieran ser mayores en caso de contar con actividades económicas alternativas, tanto en el sector pesquero como fuera de él (Yew y Heaps, 1996). En nuestro caso de estudio, con respecto a los costos del capital, la flota camaronera actualmente se encuentra inactiva fuera de la temporada de pesca del camarón (Salinas-Zavala, com. pers.), lo que implica tener un capital productivo ocioso al menos parte del año, con las pérdidas de capital asociadas. Por otro lado, posiblemente los pescadores trabajen en actividades no pesqueras fuera de la

temporada de camarón, lo cual se integró con los costos de oportunidad de la mano de obra, aunque de manera general, los pescadores se caracterizan por un alto apego a su actividad (Pollnac y Poggie, 2008). En este sentido, contar con la nueva alternativa pesquera de la merluza enana les permitiría diversificar su pesca, lo cual posiblemente sea preferible a dedicarse a otra actividad.

Las pesquerías que se centran en especies abundantes de alto valor pudieran ser económicamente más viables, pero también tienden a ser vulnerables a factores externos (medio ambiente, variación del mercado, etc.) (Anderson *et al.*, 2017; Giron-Nava *et al.*, 2018). En particular, las pesquerías de camarón del Pacífico mexicano han mostrado una alta variabilidad en los rendimientos (Almendarez Hernández, 2013), mientras que eventos como la prohibición de pesca de camarón de 2015 en el Golfo de California (DOF, 2015) y la reciente prohibición de importación de camarón mexicano por parte de EE.UU. ha afectado a los pescadores (CONAPESCA, 2021b). La diversificación de las especies objetivo de pesca ha sido propuesta como una posible estrategia de reducción de riesgos (Smith y McKelvey, 1986; Kasperski y Holland, 2013; Anderson *et al.*, 2017), en este sentido, la pesca de merluza enana puede ser una actividad económica complementaria o alternativa. y puede aumentar la resiliencia de la flota pesquera a lo largo del tiempo (Finkbeiner, 2015).

Para una pesquería que inicia sus operaciones es importante asignar permisos que limiten el acceso y eviten un aumento excesivo de la producción que pueda conducir a la disipación de la renta del recurso (sobrecapitalización) o afectar a la población explotada (sobreexplotación) (Gordon, 1954; Homans y Wilen, 2000). En nuestro estudio, la estrategia f_{20} de acceso limitado a veinte embarcaciones demostró ser la más rentable por embarcación, además de representar una medida precautoria ya que mantuvo los mayores niveles de biomasa de entre las estrategias de manejo evaluadas. Cabe destacar que esta conclusión está condicionada al horizonte temporal evaluado de 50 años, ya que el aumento de la eficiencia de la flota producido por el incremento de la capturabilidad puede resultar en una disminución de la biomasa que podría continuar, por lo que eventualmente podría ser necesario instaurar

controles de salida o reglas de control de captura para garantizar niveles sostenibles de biomasa.

En cuanto a las estrategias de acceso limitado, tradicionalmente se ha discutido que pueden llevar a una pesquería a la sobreexplotación, con poco o ningún beneficio económico (Anderson *et al.*, 2018), porque incluso con un esfuerzo nominal regulado el esfuerzo efectivo puede incrementarse inadvertidamente (Palomares y Pauly, 2019), particularmente a largo plazo. Esto se observó en los resultados con las trayectorias dinámicas, ya que las capturas y ganancias aumentaron continuamente y de manera simultánea la biomasa del stock disminuyó, lo cual fue más evidente para la estrategia f_{80} . La importancia de tener en cuenta el incremento de la capturabilidad puede ser de especial interés en la nueva pesquería de merluza enana porque la eficiencia de la flota puede aumentar rápidamente durante el principio de las operaciones, ya que los pescadores aprenderán a capturar un nuevo recurso.

La estrategia f_{80} condujo a una pesquería rentable con altos rendimientos durante el horizonte temporal de 50 años, pero también produjo un impacto considerable en la población, lo que sugiere que de no implementarse una regulación adicional la sobreexplotación puede ocurrir en el largo plazo (Anderson *et al.*, 2018). Curiosamente, a pesar del mayor impacto en la biomasa, la estrategia f_{80} presentó el VPN más alto de entre las estrategias evaluadas, esto se debe a que no consideró un control de capturas, por lo que permitió altos rendimientos en los años iniciales de la pesquería cuando la población de peces estaba en su capacidad de carga. Estos rendimientos pueden ser insostenibles a largo plazo, en comparación con un enfoque más conservador (TAC_{PROf80}). En este sentido, es útil para mantener un nivel de biomasa deseado implementar un control de capturas además del control de acceso a la pesca (Cochrane y Garcia, 2009), adicionalmente lidiando de esta forma con el incremento de la eficiencia de la flota, que puede incrementar el esfuerzo efectivo inadvertidamente. Por otro lado, es posible la ocurrencia de un comportamiento de carrera por la pesca en situaciones en las que existe un “fondo común” del recurso (Rust *et al.*, 2016), por lo tanto, para evitar dicho comportamiento,

un esquema de gestión como el de cuotas individuales de captura o similar se asumió, aunque no se evaluó propiamente, en las estrategias TAC_{TRPf80} y $TAC_{LRPf120}$.

Nuestros resultados mostraron que ambas estrategias que combinan control de captura y esfuerzo lograron mantener la biomasa del stock alrededor del nivel deseado, aunque las utilidades por barco se vieron reducidas. Para la estrategia TAC_{TRPf80} no se observó un cambio en el número de barcos a lo largo del tiempo, lo que implica que la pesquería fue rentable considerando la incertidumbre y la restricción de captura para una flota de 80 embarcaciones. Por el contrario, $TAC_{LRPf120}$ mostró riesgo, aunque reducido, de tener pérdidas económicas y, posteriormente, reducir el número de barcos. Esto indica que la restricción de captura establecida en dicha estrategia para mantener la biomasa por encima del PRL no siempre fue rentable para una flota de 120 barcos, considerando la incertidumbre.

Un punto de referencia objetivo comúnmente utilizado con objetivo de lograr un uso sostenible de los recursos marinos es el rendimiento máximo sostenible (RMS) (UNCLOS, 1982; Martell y Froese, 2012), aunque es un punto de referencia exclusivamente biológico y otros objetivos de la pesca, como los sociales y económicos, pudieran requerir de estrategias de manejo alternativas (Giron-Nava *et al.*, 2018). De hecho, muchas pesquerías en todo el mundo tienen el RMS como punto de referencia objetivo, incluidas pesquerías de merluza como *M. gayi* en Chile (SUBPESCA, 2016a), *M. australis* en Chile (SUBPESCA, 2016b) y *M. merluccius* en el Mar Cantábrico y aguas ibéricas del Atlántico (ICES, 2020). En nuestro estudio, el PRL establecido en la mitad de la biomasa no explotada estimada ($0.5B_0 = 75,000$ t), utilizada como una aproximación a la biomasa al RMS, demostró ser rentable en el largo plazo, aunque se observó que un esfuerzo elevado condujo al riesgo de sufrir pérdidas económicas ($TAC_{PRLf120}$). Por otro lado, en el escenario OA la biomasa disminuyó incluso por debajo del PRL y el número de embarcaciones aumentó por encima de 120, poniendo al stock en riesgo de sobreexplotación. Considerando la incertidumbre que rodea a la nueva pesquería, se recomienda manejarla utilizando un nivel de biomasa más alto como el PRO que proponemos, además de mantener un acceso limitado a un número reducido de embarcaciones, lo cual aumenta la renta del recurso.

El presente estudio consideró incertidumbre en los parámetros biológicos y económicos para dar cuenta de los factores que pueden producir cambios, tanto en la dinámica poblacional como en la flota pesquera, que a su vez influyen en el impacto que tiene la pesquería sobre el stock. Factores como la creciente variabilidad ambiental en un clima cambiante (Easterling *et al.*, 2000) pueden producir alteraciones en la dinámica del stock, como un reclutamiento y supervivencia reducidos (Smith y McKelvey, 1986); el avance tecnológico y las mejoras en la localización de los peces pueden incrementar la capturabilidad de la flota (Eigaard *et al.*, 2014); y la variabilidad inducida por el mercado, como los cambios en la oferta y la demanda, pueden influir en el precio de venta (Fryxell *et al.*, 2017). En este sentido, para reducir el riesgo de sobreexplotación, se necesitan evaluaciones y estudios periódicos, así como una gestión activa para ajustar cualquier control de entrada o salida a las condiciones cambiantes.

Debe prestarse especial atención a la variabilidad del reclutamiento. Para la población costera de *M. productus* de EE. UU. y Canadá, el éxito del reclutamiento afecta la rentabilidad de la pesquería, ya que la flota depende de clases anuales abundantes y poco frecuentes para sostener la pesquería durante años (Grandin *et al.*, 2020). Se ha hipotetizado que el éxito en el reclutamiento está relacionado con las condiciones ambientales (Bailey y Francis, 1985; Ressler *et al.*, 2007; Hamel *et al.*, 2015) y se ha descrito la importante influencia de diversos factores incluyendo eventos oceanográficos de meso escala, abundancia de presas, entre otros (Vestfals *et al.*, 2023). En nuestro estudio integramos la incertidumbre del reclutamiento y del parámetro steepness de la relación stock-reclutamiento, los cuales pudieran estar relacionados con las variaciones ambientales, sin embargo, es recomendable analizar más a fondo la influencia del medio ambiente en la productividad del stock de merluza enana.

La variabilidad natural de las pesquerías marinas requiere de modelos pesqueros y de enfoques de manejo que permitan la inclusión de los efectos del ambiente. En particular, se requiere de un enfoque precautorio y flexible, que sea capaz de integrar respuestas de la población ante variaciones ambientales con un posible desfase. Sin embargo, también es de suma importancia

conocer cómo opera el enlace entre el medio físico y la población explotada (Hofmann y Powell, 1998), lo cual en el caso particular de la merluza enana aún es incierto.

Al evaluar el beneficio que la sociedad puede obtener de la nueva pesquería de merluza enana, la estrategia f_{80} mostró el mayor VPN, no obstante, la tasa de descuento puede variar con el tiempo a medida que cambian las preferencias sociales, lo que modificaría nuestros resultados. Adicionalmente, no es recomendable tener en cuenta el VPN como único criterio de decisión, debido a que dicha métrica considera una alta contribución de los beneficios netos tempranos, especialmente con una tasa de descuento alta, lo cual podría conducir al agotamiento del stock en los primeros años de explotación (Knoke *et al.*, 2020). Este resultado puede afectar a los usuarios de los recursos que dependen de ingresos continuos de la pesca.

Para los objetivos sociales de la nueva pesquería, la generación de empleos sería un resultado inminente, pero el número de empleos producidos no debiera ser considerado como el único o principal indicador del beneficio social, pues éste erróneamente podría obtenerse con el acceso abierto, como se muestra en nuestro análisis, donde OA obtuvo el mayor número de embarcaciones (alrededor de 168 embarcaciones). En cambio, se ha recomendado que los objetivos sociales en la pesca vayan más allá de centrarse simplemente en el empleo (Hilborn, 2007) y consideren además la remuneración de los miembros de la tripulación (Maynou, 2021), lo cual en este estudio fue obtenido con la estrategia f_{20} de acceso limitado y flota reducida, ya que obtuvo las mayores utilidades por embarcación.

Este estudio aborda la rara oportunidad de evaluar una pesquería antes de su operación. La importancia de estudiar un “stock actualmente no explotado” es evaluar la viabilidad de diferentes escenarios de manejo sin el riesgo de sobrecapitalizar la pesquería o sobreexplotar el stock, lo cual es la forma ideal de iniciar una pesquería. No sólo estamos lidiando con la incertidumbre y las limitaciones de datos, similar a las pesquerías con datos limitados, sino que también estamos lidiando con la falta de datos reales sobre el rendimiento y el esfuerzo de pesca.

Los resultados de esta investigación sugieren que la población de merluza del GDU podría soportar una nueva pesquería, la cual constituiría una alternativa pesquera para los barcos que actualmente dirigen sus esfuerzos a otras especies. Aunque la pesquería de merluza enana presenta una dinámica de alto costo de explotación y bajo precio de venta, nuestros resultados mostraron riesgo de sobreexplotación cuando se presenta un esfuerzo de pesca elevado y el recurso no se maneja adecuadamente. Dependiendo de los objetivos de gestión, la nueva pesquería podría manejarse de diferentes maneras. Sin embargo, debido a la alta incertidumbre en la variabilidad tanto del stock como del mercado, un enfoque precautorio minimizaría el riesgo. Adicionalmente, nuestro estudio sugiere que la población de merluza enana probablemente no se agote en un corto período de tiempo si la pesquería es relativamente pequeña, esto brinda la oportunidad de recopilar datos durante el principio de operaciones pesqueras que podría reducir sustancialmente la incertidumbre en algunos de los parámetros biológicos, incluyendo la curva de crecimiento, madurez, etc., permitiendo de esta forma actualizar el manejo.

9. CONCLUSIONES

- 1) La formación de marcas de crecimiento tiene una periodicidad anual, culminando su depósito alrededor del mes de octubre.
- 2) El crecimiento de las hembras de merluza enana está mejor representado por el VBGM generalizado y el crecimiento de los machos por el VBGM, con una talla asintótico mayor para las hembras ($L_{\infty}= 31.4$ cm LP) que para los machos ($L_{\infty}= 25.4$ cm LP)
- 3) Los resultados presentados son la primera aproximación para estimar los parámetros de crecimiento de la merluza enana *M. productus* en la costa occidental de BCS y suponen un punto de comparación de gran importancia, ya que se trata de una población no explotada.
- 4) Se determinó que, para el modelo bioeconómico estructurado por edades, los parámetros con mayor influencia en la estimación de las variables indicadoras de la sustentabilidad y rentabilidad (biomasa y utilidades) de una nueva pesquería de merluza enana son los parámetros de crecimiento L_{∞} y k , el precio de venta p , el parámetro steepness de la relación stock-reclutamiento h , el reclutamiento del stock no explotado R_0 y la constante de dinámica pesquera φ .
- 5) Se logró construir un modelo bioeconómico estructurado por edades, con mortalidad natural a la edad, coeficiente de capturabilidad a la edad, incremento en la capturabilidad a través del tiempo e incertidumbre en los parámetros para una pesquería de merluza de la costa occidental de BCS.
- 6) Los resultados de esta investigación sugieren que la población de merluza del GDU podría soportar una nueva pesquería, la cual constituiría una alternativa pesquera para los barcos que actualmente dirigen sus esfuerzos a otras especies.
- 7) La viabilidad de la pesquería analizó el escenario de una redirección de esfuerzo pesquero de parte de la flota camaronera de Mazatlán hacia una pesquería nueva de merluza en el GDU, con todos los costos de traslado y operación relacionados, por lo cual, si se logra una reducción de costos mediante una flota local la pesquería podría ser más redituable, bajo los límites de manejo analizados.
- 8) A pesar de que el recurso presenta una dinámica alto costo de explotación- bajo precio de venta, existe riesgo de sobreexplotación con un esfuerzo de pesca elevado.

- 9) Nuestro estudio sugiere que la población de merluza enana probablemente no se agote en un corto periodo de tiempo si la pesquería es relativamente pequeña, lo cual brinda la valiosa oportunidad de generar información y disminuir la incertidumbre en diferentes aspectos, permitiendo mejorar el manejo.
- 10) La investigación realizada presentó la rara oportunidad de analizar una pesquería antes de su inicio, lo cual tiene la bondad de evaluar diferentes escenarios sin el riesgo de sobrecapitalizar la pesquería o sobreexplotar el stock. Sin embargo, también presentó el reto de una pesquería de datos limitados, además de la carencia de datos reales sobre el esfuerzo pesquero y el comportamiento del mercado.

9.1 Recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos del presente trabajo y las conclusiones mencionadas anteriormente, se presentan las siguientes recomendaciones:

- 1) Se recomienda realizar un análisis de la edad y talla de primera madurez de la merluza enana para definir medidas de gestión como la talla mínima de captura y posibles vedas del recurso.
- 2) Recomendamos analizar especímenes de merluza enana durante los meses no muestreados en estudios subsecuentes para actualizar la verificación de la periodicidad de formación de marcas de crecimiento.
- 3) Se recomienda un esfuerzo especial para muestrear los ejemplares más longevos presentes en la población de merluza, con el fin de mejorar la estimación de los parámetros de crecimiento individual.
- 4) Se recomienda tomar con precaución los resultados aquí descritos, los cuales se encuentran limitados por las asunciones y supuestos presentados. Particularmente relacionado con el esfuerzo de pesca, se recomienda evaluar la influencia de la variación en días de pesca, número de viajes por temporada y duración de la temporada de pesca, los cuales pueden incrementar considerablemente el esfuerzo efectivo independientemente del número de embarcaciones pesqueras.

- 5) Se recomienda explorar las posibles implicaciones de una dinámica heterogénea de la flota pesquera bajo estrategias de manejo alternativas, lo cual puede resultar beneficioso en para el manejo de la pesquería, ya que cada pescador probablemente tenga sus propias preferencias que varían el valor que le dan a su dinero, tiempo, habilidades e importancia cultural.
- 6) Es recomendable evaluar el efecto del ambiente en la productividad del stock, sobre todo conociendo que para otras pesquerías de la especie el éxito del reclutamiento afecta la rentabilidad, pues dichas pesquerías dependen de clases anuales abundantes y poco frecuentes. Conocer la variabilidad del stock de merluza enana con respecto a la variabilidad de su ambiente permitiría definir los niveles de biomasa disponibles a la pesca con una mayor certeza.
- 7) Se recomienda, una vez comience operaciones la pesquería, se realicen esfuerzos destinados a disminuir la incertidumbre en los diferentes parámetros del modelo bioeconómico. Particularmente, es importante generar información sobre la productividad del stock, el comportamiento de la flota pesquera y del mercado.
- 8) Es recomendable que la administración pesquera comience operaciones con un esfuerzo pesquero reducido y con un acceso limitado. Asimismo, el uso de medidas de manejo que limiten las capturas y de reglas de control relacionadas es necesario para evitar la sobreexplotación, prevenir la sobrecapitalización y garantizar la rentabilidad de la pesquería.

10. LITERATURA CITADA

- Almendarez Hernández, L.C. (2013). *Caracterización y comportamiento económico de las embarcaciones camaroneras de alta mar del litoral del Pacífico mexicano como unidades de producción*. Tesis Doctoral. Instituto Politécnico Nacional - Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S.
- Anderson, C.M., Krigbaum, M.J., Arostegui, M.C., Feddern, M.L., Koehn, J.Z., Kuriyama, P.T., Morrisett, C., Allen Akselrud, C.I., Davis, M.J., Fiamengo, C., Fuller, A., Lee, Q., McElroy, K.N., Pons, M. y Sanders, J. (2018). How commercial fishing effort is managed. *Fish and Fisheries*, 20(2): 268–285. doi: 10.1111/faf.12339.
- Anderson, L. y Seijo, J. (2010). *Bioeconomics of fisheries management*. John Wiley & Sons, Singapore.
- Anderson, S.C., Ward, E.J., Shelton, A.O., Adkison, M.D., Beaudreau, A.H., Brenner, R.E., Haynie, A.C., Shriver, J.C., Watson, J.T. y Williams, B.C. (2017). Benefits and risks of diversification for individual fishers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(40): 10797–10802. doi: 10.1073/pnas.1702506114.
- Araneda, M.E., Hernández, J.M., Gasca-Leyva, E. y Vela, M.A. (2013). Growth modelling including size heterogeneity: Application to the intensive culture of white shrimp (*P. vannamei*) in freshwater. *Aquacultural Engineering*, 56: 1–12. doi: 10.1016/j.aquaeng.2013.03.003.
- Arreguín-Sánchez, F. (2000). Modelación de flujos de biomasa en centros de actividad biológica. En: *BAC Centros de actividad biológica del Pacífico mexicano*. México, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, pp 13–28.
- Ayres, W. (1855). Description of the new species of California fishes. *Proceedings of the California Academy of Natural Sciences*, 1: 23–77.
- Bailey, K. y Francis, R.C. (1985). Recruitment of Pacific whiting, *Merluccius productus*, and the ocean environment. *Marine Fisheries Review*, 47(2): 8–15.
- Bailey, K.M., Francis, R.C. y Stevens, P.R. (1982). The life history and fishery of Pacific whiting, *Merluccius productus*. *CalCOFI Reports*, XXIII(April): 81–98.
- Balart-Páez, E.F. (2005). *Biología y ecología de la merluza bajacaliforniana, Merluccius angustimanus Garman, 1899, en la costa occidental de Baja California Sur, México*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León.
- Balart, E.F. (1996). Recurso Merluza. En: *Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur*. México, Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. Gobierno del Estado de Baja California Sur. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Centro Regional de Investigaciones Pesqueras. Centro de Estudios Tecnológicos del Mar, La Paz, B.C.S. pp 263–271.
- Baranov, Fl. (1945). On the question of the biological basis of fisheries. Indiana University, Indiana, USA.

- Beamish, R.J. (1979). Differences in the age of Pacific hake (*Merluccius productus*) using whole otoliths and sections of otoliths. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 36(2): 141–151. doi: 10.1139/f79-023.
- Beamish, R.J. y Fournier, D.A. (1981). A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38: 982–986.
- Beatriz, M.N. (1992). Determinación del crecimiento de peces óseos en base a la microestructura de los otolitos. *FAO Fisheries Technical Paper*; 322.
- Best, E.A. (1963). Contribution to the biology of the Pacific hake, *Merluccius productus* (Ayres). *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*, 9: 51–56.
- Beverton, R.J.H. y Holt, S.J. (1957). *On the dynamics of exploited fish population*. Springer-Science + Business Media. London, 157 p. ISBN: 9789401049344.
- Bjordal, Å. (2005). Uso de medidas técnicas en la pesca responsable: regulación de artes de pesca. En: *Guía del administrador pesquero. Medidas de ordenación y su aplicación*. Food Agriculture Organization, Roma, p 231.
- Bjordal, Å. (2009). Regulation of fishing gears and methods. En: *A fishery manager's guidebook*. Second ed. John Wiley & Sons Ltd, Singapore, pp 165–195.
- Bowker, A.H. (1948). A Test for symmetry in contingency tables. *Journal of the American Statistical Association*, 43: 572–574.
- Burnham, K. y Anderson, D. (2004). *Model selection and multi-model inference*. Second edition. Springer-Verlag, New York, p 63.
- Cabrera-Neri, E. (2002). Uso del microondas convencional para el horneado de otolitos del robalo prieto (*Centropomus nigrescens*). *Ciencias y Mar*, 19(7): 33-36.
- Campana, S.E. (2001). Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology*, 59: 197–242. doi: 10.1006/jfbi.2001.1668.
- Chang, W.Y.B. (1982). A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39(8): 1208–1210. doi: 10.1139/f82-158.
- Chen, S. y Watanabe, S. (1989). Age dependence of natural mortality coefficient in fish population dynamics. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55(2): 205–208. doi: 10.2331/suisan.55.205.
- Cochrane, K.L. y Garcia, S.M. (eds) (2009). *A fishery manager's guidebook*. Second ed. John Wiley & Sons Ltd, Singapore. ISBN: 9781405170857.
- Colloca, F., Gentiloni, P., Belluscio, A., Carpentieri, P. y Ardizzone, G.D. (2003). Analysis and validation of annual increments in otoliths of European hake (*Merluccius merluccius*) in the central Mediterranean Sea. *Archive of Fishery and Marine Research*, 50(2): 175–192.
- CONAPESCA. (2021a). Anuario estadístico de acuicultura y pesca. CONAPESCA, México, 1–292.
- CONAPESCA. (2021b). Informa CONAPESCA que el camarón de ribera podrá seguir exportándose a Estados Unidos. Disponible en: <https://www.gob.mx/conapesca/articulos/informa-conapesca-que-el-camaron-de-ribera-podra-seguir-exportandose-a-estados-unidos-271545?idiom=es>
- Cordero-Tapia, A. y Reséndiz-Morales, E. (2014). Reporte médico y forense de la tortuga amarilla (*Caretta caretta*) en Bahía de Ulloa B.C.S., México. Disponible en: [https://scholar.google.com/scholar?oi=gsb40&q=Reporte Médico y Forense de la Tortuga Amarilla \(Caretta caretta\) en Bahía de Ulloa BCS México&lookup=0&hl=es](https://scholar.google.com/scholar?oi=gsb40&q=Reporte Médico y Forense de la Tortuga Amarilla (Caretta caretta) en Bahía de Ulloa BCS México&lookup=0&hl=es).

- Costa, P.A.S., Braga, A.C., Vieira, J.M.S., Martins, R.R.M., São-Clemente, R.R.B y Couto, B.R. (2018). Age estimation, growth and maturity of the Argentine hake (*Merluccius hubbsi*, Marini, 1933) along the northernmost limit of its distribution in the south-western Atlantic. *Marine Biology Research*, 14(7): 728–738. doi: 10.1080/17451000.2018.1502885.
- Dark, T.A. (1975). Age and growth of Pacific hake. *Fishery Bulletin*, 73(2).
- DOF. (2022a). Acuerdo por el que se da a conocer la Actualización de la Carta Nacional Pesquera. *Diario Oficial de la Federación*, 44 pp.
- DOF. (2018). Acuerdo por el que se da a conocer la Actualización de la Carta Nacional Pesquera. *Diario Oficial de la Federación*, 120 pp.
- DOF. (2022b). RESOLUCIÓN del H. Consejo de Representantes de la Comisión Nacional de los Salarios Mínimos que fija los salarios mínimos generales y profesionales que habrán de regir a partir del 1 de enero de 2023. *Diario Oficial de la Federación*, 15 pp.
- DOF. (2023). Acuerdo por el que se establece la zona de refugio pesquero y nuevas medidas para reducir la posible interacción de la pesca contortugas marinas en la Costa Occidental de Baja California Sur. *Diario Oficial de la Federación*, 7 pp.
- DOF. (2015). Acuerdo por el que se suspende temporalmente la pesca comercial mediante el uso de redes de enmalle, cimbras y/o palangres operadas con embarcaciones menores, en el Norte del Golfo de California. *Diario Oficial de la Federación*, 3 pp.
- Duarte, J.A., Hernández-Flores, A., Salas, S. y Seijo, J.C. (2018). Is it sustainable fishing for *Octopus maya* Voss and Solis, 1966, during the breeding season using a bait-based fishing technique? *Fisheries Research*, 199, 119–126. doi: 10.1016/j.fishres.2017.11.020.
- Easterling, D.R., Meehl, G.A., Parmesan, C., Changnon, S.A., Karl, T.R. y Mearns, L.O. (2000). Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science*, 289: 2068–2074. doi: 10.1126/science.289.5487.2068.
- EDF. (2015). Reporte de resultados: Línea Base Merluza 2015. *Environmental Defense Fund*, 37.
- Edwards, A.M., Berger, A.M., Grandin, C.J. y Johnson, K.F. (2022). Status of the Pacific hake (whiting) stock in U.S. and Canadian waters in 2020. *Joint Technical Committee of the US and Canada Pacific Hake/Whiting Agreement*, 238.
- Eigaard, O.R., Marchal, P., Gislason, H. y Rijnsdorp, A.D. (2014). Technological development and fisheries management. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 22(2): 156–174. doi: 10.1080/23308249.2014.899557.
- Ewing, G.P., Welsford, D.C., Jordan, A.R. y Buxton, C. (2003). Validation of age and growth estimates using thin otolith sections from the purple wrasse, *Notolabrus fucicola*. *Marine and Freshwater Research*, 54(8): 985–993. doi: 10.1071/MF02116.
- FAO. (2018). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible*. Food Agriculture Organization, Roma. ISBN: 0000000340472.
- FAO. (2022). *The state of world fisheries and aquaculture 2022. Towards Blue Transformation*. Food Agriculture Organization, Roma. ISBN: 9789251363645. doi: 10.4060/cc0463en.
- FAO. (1997). *Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Chile.
- FAO. (2005). *Guía del administrador pesquero. Medidas de ordenación y su aplicación*. FAO, Roma. ISBN: 424.

- Finkbeiner, E.M. (2015). The role of diversification in dynamic small-scale fisheries: Lessons from Baja California Sur, Mexico. *Global Environmental Change*, 32: 139–152. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2015.03.009.
- Francis, R.I.C.C. (1990). Back-calculation of fish length: A critical review. *Journal of Fish Biology*, 36: 883–992.
- Fryxell, J.M., Hilborn, R., Bieg, C., Turgeon, K., Caskenette, A. y McCann, K.S. (2017). Supply and demand drive a critical transition to dysfunctional fisheries. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(46): 12333–12337. doi: 10.1073/pnas.1705525114.
- Funes-Rodríguez, R., Elorduy-Garay, J.F., Hinojosa-Medina, A. y Zárata-Villafranco, A. (2009). Interannual distribution of Pacific hake *Merluccius productus* larvae in the southern part of the California Current. *Journal of Fish Biology*, 75(3): 630–646. doi: 10.1111/j.1095-8649.2009.02327.x.
- García-De León, F.J., Galván-Tirado, C., Velasco, L.S., Silva-Segundo, C.A., Hernández-Guzmán, R., Barriga-Sosa, I.D.L.A., Jaimes, P.D., Canino, M. y Cruz-Hernández, P. (2018). Role of oceanography in shaping the genetic structure in the North Pacific hake *Merluccius productus*. *PLoS ONE*, 13(3): 1–26. doi: 10.1371/journal.pone.0194646.
- Giron-Nava, A., Johnson, A.F., Cisneros-Montemayor, A.M. y Aburto-Oropeza, O. (2018). Managing at Maximum Sustainable Yield does not ensure economic well-being for artisanal fishers. *Fish and Fisheries*, 20(2): 214–223. doi: 10.1111/faf.12332.
- Godínez-Pérez, C.A. (2013). *Estimación acústica de la biomasa de la merluza del Pacífico norte, Merluccius productus (Ayres, 1855), en Golfo de Ulloa, B.C.S.* Tesis de Licenciatura. UABCS, La Paz, B.C.S.
- Gompertz, B. (1825). On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 115: 513–583.
- González-Rodríguez, E. (2008). *Variabilidad de la productividad primaria en el Golfo de Ulloa, costa occidental de Baja California*. Instituto Politécnico Nacional. Tesis Doctoral. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN, La Paz, B.C.S.
- Gordon, H.S. (1954). The economic theory of a common-property resource: the fishery. *The Journal of Political Economy*, 62(2): 124–142. doi: <http://www.jstor.org/stable/1825571>.
- Grandin, C.J., Johnson, K.F., Edwards, A.M. y Berger, A.M. (2020). Status of the Pacific hake (whiting) stock in U.S. and Canadian waters in 2020. Joint Technical Committee of the US and Canada Pacific Hake/Whiting Agreement, National Marine Fisheries Service and Fisheries and Oceans, Canada, 273.
- Hall, S. (2009). Area and time restrictions. En: *A fishery manager's guidebook*. Wiley-Blackwell and FAO, Singapore, p 518.
- Hall, S. (2005). Uso de medidas técnicas en la pesca responsable: restricciones espaciales y temporales. En: *Guía del administrador pesquero. Medidas de ordenación y su aplicación*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, pp 45–68.
- Hamel, O., Ressler, P.H., Hicks, A.C. y Fleischer, G.W. (2015). Biology, fisheries, assessment and management of Pacific hake (*Merluccius productus*). En: *Hakes Biology and Exploitation*. John Wiley & Sons Ltd, Oxford, UK, pp 234–262.

- Hidalgo-De-La-Toba, J.A., González-Peláez, S.S., Morales-Bojórquez, E., Bautista-Romero, J.J. y Lluch-Cota, D.B. (2015). Geoduck *Panopea generosa* growth at its southern distribution limit in north America using a multimodel inference approach. *Journal of Shellfish Research*, 34(1): 91–99. doi: 10.2983/035.034.0112.
- Hilborn, R. (2007). Defining success in fisheries and conflicts in objectives. *Marine Policy*, 31(2): 153–158. doi: 10.1016/j.marpol.2006.05.014.
- Hilborn, R. y Mangel, M. (1997). *The ecological detective*. First edition. Princeton University Press, New Jersey, USA.
- Hilborn, R. y Walters, C.J. (1992). *Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty*. Springer Science & Business Media, United Kingdom. ISBN: 1461535980.
- Hofmann, E.E. y Powell, T.M. (1998). Environmental variability effects on marine fisheries: Four case histories. *Ecological Applications*, 8: 23–32. doi: 10.2307/2641360.
- Homans, F.R. y Wilen, J.E. (2000). Market rent dissipation in regulated open access fisheries by University of California at Davis. *American Agricultural Economics Association Meetings*, 1–32.
- Horn, P.L. (1997). An ageing methodology, growth parameters and estimates of mortality for hake (*Merluccius australis*) from around the South Island, New Zealand. *Marine and Freshwater Research*, 48(3): 201–209. doi: 10.1071/MF96091.
- ICES. (2020). Hake (*Merluccius merluccius*) in divisions 8.c and 9.a, Southern stock (Cantabrian Sea and Atlantic Iberian waters). En: *Report of the ICES Advisory Committee*. ICES Advice 2020, United Kingdom.
- Inada, T. (1989). Current status of the systematics of Merlucciidae. *Papers on the Systematics of Gadiformes*. Natural History Museum, Los Angeles, USA, 32: 197-207.
- Kasperski, S. y Holland, D.S. (2013). Income diversification and risk for fishermen. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(6): 2076–2081. doi: 10.1073/pnas.1212278110.
- Katsanevakis, S. (2006). Modelling fish growth: Model selection, multi-model inference and model selection uncertainty. *Fisheries Research*, 81(2–3): 229–235. doi: 10.1016/j.fishres.2006.07.002.
- Kelleher, G. y Kenchington, R. (1992). *Guidelines for establishing marine protected areas*. A Marine Conservation and Development Report IUCN, Gland, Switzerland. doi: 10.1017/S0376892901290304.
- Knoke, T., Gosling, E. y Paul, C. (2020). Use and misuse of the net present value in environmental studies. *Ecological Economics*, 174. doi: 10.1016/j.ecolecon.2020.106664.
- Leet, W.S., Dewees, C.M., Klingbeil, R. y Larson, E.J. (2001). *California's living marine resources: a status report*. University Of California, Division of Agriculture and Natural Resources; California Sea Grant. ISBN: 9783540773405.
- Lloris, D., Matallanas, J. y Oliver, P. (2005). *Hakes of the world (Family Merlucciidae). An annotated and illustrated catalogue of hake species known to date*. FAO Species Catalogue for Fishery Purposes No. 2. FAO, Rome. ISBN: 925104984X.
- Lorenzen, K. (2016). Toward a new paradigm for growth modeling in fisheries stock assessments: Embracing plasticity and its consequences. *Fisheries Research*, 180: 4–22. doi: 10.1016/j.fishres.2016.01.006.

- Mace, P. y Doonan, I. (1988). A generalized bioeconomic simulation model for fish population dynamics. *New Zealand Fisheries Assessment Research Document*, 88. Disponible en: <https://books.google.com.mx/books?id=nMKetgAACAAJ>.
- Maclellan, S.E., Groot, J., McArthur, J., Branch, S., Region, P. y Road, H.B. (2021). Pacific hake (*Merluccius productus*) otolith age determination manual. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences*, 3417. ISBN: 9780660373416.
- Malick, M., Hunsicker, M., Haltuch, M., Parker-Stetter, S., Berger, A. y Marshall, K. (2020). Relationships between temperature and Pacific hake distribution vary across latitude and life-history stage. *Marine Ecology Progress Series*, 639: 185–197. Disponible en: <https://www.int-res.com/abstracts/meps/v639/p185-197>.
- Martell, S. y Froese, R. (2012). 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. (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. doi: 10.1080/00222938500770421.
- Mathews, C.P. (1975). Some observations on the ecology and the population dynamics of *Merluccius angustimanus* in the South Gulf of California. *Journal of Fish Biology*, 7(1): 83–94. doi: 10.1111/j.1095-8649.1975.tb04578.x.
- Maynou, F. (2021). Trade-offs between employment and profitability in a Mediterranean Sea mixed bottom trawl fishery. *Regional Studies in Marine Science*, 48: 102020. doi: 10.1016/j.rsma.2021.102020.
- Methot, R.D. y Taylor, I.G. (2011). Adjusting for bias due to variability of estimated recruitments in fishery assessment models. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 68(10): 1744–1760. doi: 10.1139/f2011-092.
- Palomares, M.L.D. y Pauly, D. (2019). On the creeping increase of vessels' fishing power. *Ecology and Society*, 24(3). doi: 10.5751/ES-11136-240331.
- Pauly, D. (1979). *Gill size and temperature as governing factors in fish growth: a generalization of von Bertalanffy's Growth formula*. Editorial del Berichte Institut Für Meereskunde, Germany.
- Piñeiro, C. y Sainza, M. (2003). Age estimation, growth and maturity of the european hake (*merluccius merluccius*, Linnaeus, 1758) from Iberian Atlantic waters. *ICES Journal of Marine Science*, 60(5): 1086–1102. doi: 10.1016/S1054-3139(03)00086-9.
- Piñeiro, C.G., Morgado, C., Sainza, M. y McCurdy, W.J. (2009). Hake age estimation: state of the art and progress towards a solution. *ICES Cooperative Research Report*, 294: 1–47. Disponible en: [%5C%5CS9%5Cseparatas%5CLUIS%5CICES-CRR-294.pdf](#).
- Pollnac, R.B. y Poggie, J.J. (2008). Happiness, well-being and psychocultural adaptation to the stresses associated with marine fishing. *Human Ecology Review*, 15(2): 194–200
- Pope, J. (2009). Input and output controls: the practice of fishing effort and catch management in responsible fisheries. En: *A fishery manager's guidebook*, Second ed. John Wiley & Sons Ltd, Singapore, p 75.
- Portela, J., Bellido, J., Cardoso, X., Wang, J., Ulloa, E., Tato, V. y Otero, M. (2002). Analysis of the evolution of hake (*Merluccius hubbsi* and *Merluccius australis*) catch and effort by Spanish vessels operating in the Patagonian shelf area since the. *ICES CM document*, 1–16. Disponible en: <http://www.repositorio.ieo.es/e-ieo/handle/10508/825>.

- Power, M. (1993). The predictive validation of ecological and environmental models. *Ecological Modelling*, 68(1–2): 33–50. doi: 10.1016/0304-3800(93)90106-3.
- Quinn, T.J. y Deriso, R.B. (1999). *Quantitative Fish Dynamics*. Oxford University Press, United Kingdom. ISBN: 0195076311
- Ressler, P.H., Holmes, J.A., Fleischer, G.W., Thomas, R.E. y Cooke, K.C. (2007). Pacific hake, *Merluccius productus*, autecology: A timely review. *Marine Fisheries Review*, 69(1–4): 1–24.
- Ricker, W.E. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, 191: 1–382. doi: 10.1038/108070b0.
- Rust, S., Jennings, S. y Yamazaki, S. (2016). Excess capacity and capital malleability in a fishery with myopic expectations. *Marine Resource Economics*, 31(1): 63–81. doi: 10.1086/684079.
- SADER. (2018). *Pesquerías mexicanas sustentables*. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/pesquerias-mexicanas-sustentables>.
- Salas, S. y Gaertner, D. (2004). The behavioural dynamics of fishers: Management implications. *Fish and Fisheries*, 5(2): 153–167. doi: 10.1111/j.1467-2979.2004.00146.x.
- Salinas-Mayoral, C.A. (2018). *Dinámica poblacional de la merluza del Pacífico Merluccius productus (Ayres, 1855), en la Costa Occidental de Baja California Sur, México*. CIBNOR-CONACyT, La Paz, B.C.S.
- Salinas, C., Morales, V. y Angulo, O. (2012). *Hallan gran potencial pesquero en BCS: 100 mil tons anuales de tres especies*. La crónica hoy en línea. Disponible en: http://www.cronica.com.mx/nota.php?id_nota=626105.
- Seijo, J., Defeo, O. y Salas, S. (1997). *Bioeconomía pesquera. Teoría, modelación y manejo*. FAO, Roma.
- Silva-Segundo, C.A., Brito-Chavarria, M., Balart, E.F., Barriga-Sosa, I.A., Rojas-Esquivel, R., Roldán, M.I., Murugan, G. y García-De León, F.J. (2011). Clarifying the taxonomic status of *Merluccius* spp. in the northeastern Pacific: A combined morphological and molecular approach. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 21(2): 259–282. doi: 10.1007/s11160-010-9166-6.
- Silva, A., Carrera, P., Massé, J., Uriarte, A., Santos, M.B., Oliveira, P.B., Soares, E., Porteiro, C. y Stratoudakis, Y. (2008). Geographic variability of sardine growth across the northeastern Atlantic and the Mediterranean Sea. *Fisheries Research*, 90(1–3): 56–69. doi: 10.1016/j.fishres.2007.09.011.
- Smith, C.L. y McKelvey, R. (1986). Specialist and generalist: roles for coping with variability. *North American Journal of Fisheries Management*, 6(1): 88–99. doi: 10.1577/1548-8659(1986)6<88:sag>2.0.co;2.
- Smith, V.L. (1969). On models of commercial fishing. *Journal of Political Economy*, 77(2): 181–198. doi: 10.1086/259507.
- Stewart, I.J., Forrest, R.E., Grandin, C.J., Hamel, O.S., Hicks, A.C., Martell, S. y Taylor, I.G. (2011). Status of the Pacific hake (Whiting) stock in U.S. and Canadian Waters in 2011. *Joint US and Canadian Hake Technical Working Group*, 1–194.
- SUBPESCA. (2016a). *Plan de Manejo de la Pesquería de la Merluza Común*. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Gobierno de Chile, Chile, 56 p.
- SUBPESCA. (2016b). *Plan de manejo para la pesquería de merluza del Sur*. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Chile, 45 p.

- UNCLOS. (1982). *United Nations Convention on the Law of the Sea: UNTS 3*. Disponible en: http://www.un.org/Depts/los/convention_agreements/texts/unclos/unclos_e.pdf.
- Vestfals, C.D., Marshall, K.N., Tolimieri, N., Hunsicker, M.E., Berger, A.M., Taylor, I.G., Jacox, M.G. y Turley, B.D. (2023). Stage-specific drivers of Pacific hake (*Merluccius productus*) recruitment in the California Current Ecosystem. *Fisheries Oceanography*, 32(4): 352–389. doi: 10.1111/fog.12634.
- von Bertalanffy, L. (1938). A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws II). *Human Biology*, 10: 181–213. Disponible en: <http://www.jstor.org/stable/41447359>.
- Vrooman, A.M. y Paloma, P.A. (1977). Dwarf hake off the coast of Baja California, Mexico. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report*, 19: 67–72.
- Wang, Y. y Liu, Q. (2006). Estimation of natural mortality using statistical analysis of fisheries catch-at-age data. *Fisheries Research*, 78(2–3): 342–351. doi: 10.1016/j.fishres.2005.11.020.
- Wright, P., Panfili, J., Morales-Nin, B. y Geffen, A. (2002). Otoliths. En: *Manual of sclerochronology*. Ifremer-IRD coedition, Brest, France. 464 p. pp 31–57.
- Yew, T.S. y Heaps, T. (1996). Effort dynamics and alternative management policies for the small pelagic fisheries of northwest peninsular Malaysia. *Marine Resource Economics*, 11: 85–103.
- Zamora-García, O.G., Márquez-Farías, J.F., Stavrinsky-Suárez, A., Díaz-Avalos, C., Zamora-García, N.I. y Lara-Mendoza, R.E. (2020). Catch rate, length, and sex ratio of Pacific hake (*Merluccius productus*) in the northern Gulf of California. *Fishery Bulletin*, 118(4): 365–379. doi: 10.7755/fb.118.4.6.
- Zamora-García, O.G. y Stavrinsky-Suárez, A. (2018). *Ficha técnica. Merluza del Pacífico Norte*. Environmental Defense Fund, México, 16.
- Zar, J. (2010). *Biostatistical analysis*. Pearson Prentice-Hall, New Jersey, USA. ISBN: 9780131008465.