



Documento de especificación de las pruebas de EEM para la sardina austral de la Región de Los Lagos

1. Introducción

La Ley General de Pesca y Acuicultura ([LGPA](#)) apunta principalmente a lograr la conservación y el uso sustentable de los recursos pesqueros del país, entre ellos la adopción del enfoque precautorio para la pesca (FAO 1995), un enfoque ecosistémico para la pesca (FAO 2003) y objetivos de gestión basados en el Rendimiento Máximo Sostenible (RMS; Maunder, 2008) (Reyes et al., 2017). Para ello, se establecieron nuevos arreglos institucionales para la gestión pesquera: se crearon comités de gestión y científicos (Reyes et al., 2017), y se le confirió más peso al asesoramiento científico en el proceso de toma de decisiones para establecer los niveles de captura (Leal et al., 2010).

Basándose en un argumento constitucional, la LGPA reconoce el acceso abierto como principio jurídico básico de las pesquerías en Chile, otorgando el carácter de res nullius a los recursos marinos renovables dentro del Mar Territorial y la Zona Económica Exclusiva (UNCLOS). Así, el acceso abierto prevalece hasta que la pesquería en cuestión sea restringida explícitamente por un Decreto Supremo emitido por el ministro de Economía (Bernal et al. 1999). En consecuencia, la GLFA define cuatro regímenes de acceso a las pesquerías chilenas (Título III Párrafo 1° GLFA): 1) Régimen general de acceso abierto, 2) Pesquería plenamente explotada, 3) Pesquería en recuperación y 4) Pesquería en desarrollo incipiente.

Para las pesquerías bajo los regímenes de acceso 2 a 4, la LGPA revisada introdujo el requisito de planes de manejo pesquero obligatorios (FMP; Título II Párrafo 3° LGPA). Estos instrumentos de manejo vinculantes deben especificar los objetivos, metas y plazos para mantener o llevar la pesquería al nivel de RMS y las estrategias para alcanzar los objetivos y metas establecidos. Los PM son la pieza central de los actuales arreglos institucionales para la gestión pesquera chilena. El [PM de Sardina Austral](#) fue aprobado en 2023 ([Res. Ex. 358/2023 SSPA](#)).

El plan de manejo de la sardina austral se desarrolló a través de un proceso participativo que involucró a representantes del sector pesquero artesanal y plantas de procesamiento junto con representantes institucionales de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SSPA) y el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA). De esta manera, la construcción del plan de manejo se desarrolló en etapas secuenciales, con una revisión recurrente de las etapas anteriores para realizar las modificaciones pertinentes según fuera necesario.

La pesquería de sardina austral (*Sprattus fuegensis*) en Chile es importante para la economía y la seguridad alimentaria del país. Sin embargo, garantizar la sostenibilidad requiere estrategias de manejo efectivas alineadas con el enfoque precautorio delineado en la Ley General de Pesca y Acuicultura de Chile. Para abordar esto, las estrategias de gestión deben evaluarse utilizando herramientas y metodologías avanzadas como la Evaluación de Estrategias de Manejo (EEM). Esta evaluación tiene como objetivo dotar a los administradores pesqueros, científicos y partes interesadas

con el conocimiento y las habilidades necesarias para implementar estrategias de gestión sólidas para la pesquería de sardina austral.

El Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) es la institución de investigación encargada de brindar asesoramiento científico sobre los niveles de captura biológica permisible consistentes con el objetivo de RMS. El caso de evaluación de la población base de sardina del sur utiliza un modelo de evaluación estructurado por edad (Fournier y Archibald, 1982) para ajustar los datos sobre los niveles de captura histórica, la composición de la captura por longitud, el índice de CPUE y el índice de biomasa estimados a partir de estudios acústicos. La evaluación de la población se actualiza anualmente y, como en la mayoría de las jurisdicciones, está sujeta a un alto grado de incertidumbre.

2. Especie en estudio

La sardina austral (*Sprattus fuegensis*, Fig. 1), es un pez pelágico de pequeño tamaño que habita el sistema de fiordos y canales del sur de Chile, desde la zona del mar interior de Chiloé, hasta el extremo sur del continente (Aranis et al., 2007). La evaluación del stock de esta especie cubre la zona del mar interior de la Isla de Chiloé (41°90'S, 43°50'S), donde principalmente ocurre la pesquería.

De acuerdo con Galleguillos et al. (2012), a nivel poblacional en Chile, la sardina austral conforma un único stock genético con una importante cohesión reproductiva. No obstante, la morfología de otolitos, fauna parasitaria y tamaño de los individuos, sugieren una segregación espacial entre los individuos de la Región de Los Lagos y la Región de Aysén, aunque con un nivel de mezcla importante a nivel de adultos (26-32%; Niklitschek y Toledo, 2021). Sobre su rol ecológico, la sardina austral es una especie clave en el ecosistema de fiordos del sur de Chile, Neira et al. (2014) indican que la sardina austral es presa significativa de otros recursos pesqueros como merluza austral, merluza de cola y congrio dorado.

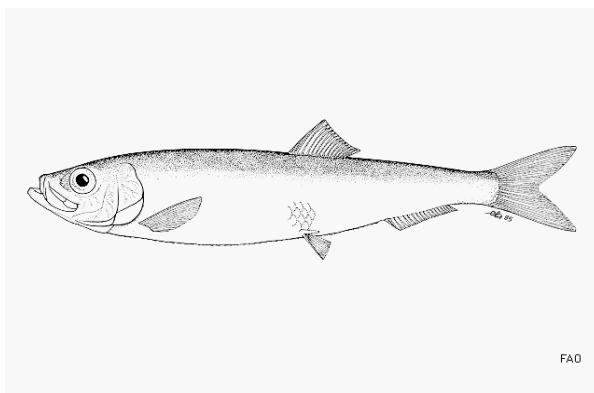


Figura 1. Sardina austral, *Sprattus fuegensis*. FAO, 1985.

Cerna (2007), reportan los parámetros de crecimiento y mortalidad natural (M) de sardina austral, en $L_{\infty} = 17.71$ cm, $k = 0.78$ y $M = 0.83$ año $^{-1}$ indicando que la especie presenta un patrón característico de los peces pelágicos de pequeño tamaño (crecimiento rápido y ciclo de vida corto).



La especie corresponde a un desovante parcial con una estación reproductiva concentrada en el segundo semestre (entre septiembre y diciembre), cuando las hembras desovarían a una longitud media de 13,5 cm LT (Leal et al., 2011). Debido a las condiciones del hábitat tendría una fecundidad baja, en beneficio de huevos de mayor tamaño. Esta hipótesis es apoyada por Landaeta et al. (2011) quienes determinan un mayor tamaño del huevo de sardina austral en aguas interiores de la Región de Los Lagos. Sobre la fecundidad, Aranis et al. (2014), quienes reportan una fecundidad promedio de 5.300 ovocitos para *S. fuegensis* en aguas interiores de la Región de Los Lagos.

El análisis de la estructura de longitudes mensual obtenida desde la actividad pesquera sugiere que el reclutamiento de individuos a la pesquería ocurre principalmente entre abril y junio, lo que ha sido confirmado por los cruceros de evaluación directa que reportan la presencia de reclutas en los meses de abril y mayo. No obstante, la información de la flota también ha observado una moda de ejemplares pequeños en los meses de agosto (2019), octubre (2017 y 2019) y en enero-marzo (2017).

3. Pesquería

La pesquería se encuentra bajo Régimen Artesanal de Extracción (RAE), sujeta al establecimiento de cuotas anuales de captura. La captura es realizada por naves artesanales de cerco, con máximo de 17,99 m de eslora o 50 t de registro grueso. El número de embarcaciones inscritas alcanza las 244 naves, no obstante, operativamente ha variado entre 41 (2010) y 18 (2022). El desembarque se destina principalmente a reducción (harina), en 1 empresa que cuenta con 2 plantas de proceso. Esta empresa también se orienta a la industria del salmón, lo que en los últimos años se ha identificado por los usuarios como una limitante de la actividad, al condicionar la recepción de pesca. La pesquería se desarrolla mayoritariamente en la Región de Los Lagos y se caracteriza por presentar estacionalidad en el desembarque, el cual ha ocurrido principalmente entre noviembre y junio.

4. Modelo de Evaluación

El modelo de evaluación de stock se basa en un análisis estadístico de la dinámica estructurada a la edad en escala anual, incorporando información biológica y pesquera agregada en año calendario. La información que ingresa al modelo consiste en los desembarques provenientes del SERNAPESCA, la Captura Por Unidad de Esfuerzo (CPUE), datos de composición de tallas anual de la flota proporcionados por el programa de monitoreo de las pesquerías de peces pelágicos, mientras que las evaluaciones hidroacústicas proporcionan información de biomasa y composiciones de tamaño. En base a esta información el modelo estima las variables de estado representadas por la biomasa desovante (BD) y los niveles de mortalidad por pesca (F) que junto a los puntos biológicos de referencia (PBRs) permiten determinar el estatus y calcular la “Captura Biológicamente Aceptable (CBA). El modelo de evaluación de stock se compone de: 1) un modelo de dinámica poblacional estructurado a la edad, donde la mortalidad natural y por pesca actúan de manera conjunta sobre la abundancia, 2) un modelo de las observaciones, correspondiente a los modelos de los datos de entrada y 3) un proceso de estimación de parámetros a partir de una función objetivo, donde se contrastan estadísticamente las observaciones y estimaciones del modelo mediante máxima



verosimilitud. Se utiliza como plataforma de estimación la herramienta estadística ADMB (Fournier *et al.*, 2012).

5. Fundamentación de la EEM

Con el propósito de asegurar la pertinencia, confiabilidad y robustez de los PM, la gestión técnica para el proceso de toma de decisión en pesquerías requiere avanzar desde el actual enfoque basado en la mejor evaluación de stock, hacia la Evaluación de Estrategias de Manejo (EEM), en consideración a sus capacidades para evaluar el desempeño de los procedimientos de manejo candidatos incluyendo el actual. En este contexto, los datos, la evaluación y la regla de control de captura (procedimiento de manejo) requieren ser evaluadas a la luz de los requerimientos del manejo y del sector

5.1. Componentes de una EEM

- 5.1.1. Modelos Operativos (MO): Es una descripción de la dinámica del sistema (biología, pesquería).
- 5.1.2. Datos de la Pesquería: Se utilizan para informar (condicionar) el o los modelo operativos candidatos.
- 5.1.3. Simulación de las dinámicas pesqueras: Evaluación del procedimiento de manejo en los modelos operativos.
- 5.1.4. Métricas de desempeño (MD): Describen los resultados buenos y malos.

La EEM identifica un método robusto para brindar asesoramiento para el manejo: un procedimiento de gestión que puede lograr objetivos de desempeño específicos. La robustez implica que el método funciona bien en varios modelos operativos.

5.2. Modelos Operativos Candidatos

Las principales fuentes de incertidumbre identificadas en la pesquería de sardina austral de la Región de Los Lagos corresponden a:

- Incertidumbre en la serie de desembarques: Existe desconocimiento de los niveles de captura destinada a carnada para otras especies, de pesca ilegal, no declarada y no reglamentada (subreporte).
- Incertidumbre del índice de cpue estandarizado: Este indicador podría no ser representativo en los últimos años debido a cambios en la operación de la flota ocasionados por el avance de la actividad salmonera y bancos de mitílidos (ocupación del espacio) y por el condicionamiento de la industria que también ha reorientado procesos hacia la salmonicultura.

- Incorporar incertidumbres por cambios en la mortalidad natural (M) por factores como la depredación, por lobos marinos y el escape no registrado de salmones. (SERNAPESCA, 2021). En estudios realizados en la Patagonia argentina, se estima que la contribución de la sardina austral a la dieta de salmónidos exóticos corresponde a un rango entre 79% y 96% (Ciancio et al., 2008). Sin embargo, para el sur de Chile no existen estimaciones precisas del consumo de sardina austral por salmones escapados o de vida libre. Goméz-Uchida et al. 2020, estimaron que la contribución de pequeños pelágicos podrían constituir entre 5% y 20% de la dieta de salmones escapados y de vida libre, pero sin discriminar por especie de pelágico. El efecto de los escapes de salmones sobre pequeños pelágicos, podría estimarse en un consumo superior a 6000 t/año de estos peces en los fiordos y Mar Interior de Chiloé, de continuar las tasas de escapes existentes (Niklitschek et al., 2013). Por otra parte, recientes estudios en dieta del lobo marino sudamericano en la zona de estudio señalan a esta especie como depredador oportunista de *S. fuegensis*, con una baja contribución en su dieta, inferior a 6% (Heredia-Azuaje et al., 2024). En conjunto, y dada la abundancia de lobos ya censados (Oliva et al., 2019), se propone una mortalidad natural mayor a la actual con el fin de explicitar posibles impactos ecológicos no considerados.
- Incertidumbre respecto de la hipótesis de unidad poblacional de la sardina austral de la Región de Los Lagos y la Región de Aysén y posibles contribuciones de una Región a otra, en determinados períodos. Estos procesos podrían enmascarar una población con una resiliencia menor a la supuesta, modificando la percepción del tamaño de la unidad poblacional de la Región de Los Lagos.

Tabla 1. Resumen de los modelos operativos identificados para la EEM de la sardina austral de la Región de Los Lagos. Las descripciones se entienden como variaciones del modelo operativo base MO1.

MO	Descripción	Tipo
MO 1	Condicionado con el modelo base de evaluación de stock, incluye parámetro de mortalidad natural $M=0,83 \text{ año}^{-1}$ y un steepness $h=1$.	Referencia
MO 2	Condiciona $M=1,0 \text{ año}^{-1}$. Considera un incremento en la mortalidad natural de un 20% en consistencia mayores tasas de predación por lobos marinos y escape de salmones (Cerna et al., 2014).	Referencia
MO 3	Condiciona niveles de subreportes de 4 mil t (como escenario bajo) de pesca no reportada en la serie histórica de los desembarques por capturas destinadas a carnada y con selectividad en ejemplares de menor tamaño (grupo edad 1).	Referencia
MO 4	Condiciona un steepness=0,6, menor resiliencia, metaanálisis basado en la relación entre $L50\%/L\infty$ (Wiff et al., 2018).	Referencia
MO A	Condiciona niveles de subreportes de 10 mil t (como escenario alto) de pesca no reportada en la serie histórica de los desembarques por capturas destinadas a carnada y con selectividad en ejemplares de menor tamaño (grupo edad 1).	Robustez
MO B	Condiciona un modelo sin el índice de CPUE.	Robustez
MO C	Condiciona $q_{\text{cru}} = 0,65$ fijo (prior del modelo) lognormal	Robustez

5.3. Procedimientos de Manejo de Referencia y candidatos

Durante 2023, el Comité de Manejo (CM) de la pesquería de sardina austral de la Región de Los Lagos, elaboró una “Propuesta del [Plan de Manejo](#) y Programa de Recuperación de la Pesquería de sardina austral en aguas interiores, Región de Los Lagos”, el cual fue presentado por la Subsecretaría de Pesca (SUBPESCA) al CCT-PP en la [sexta sesión](#) del mismo año. El programa propone mantener la medida de establecimiento de cuotas anuales de captura y el actual ciclo de manejo, incorporando el establecimiento de Reglas de Control de Captura (**Figura 2 y Tabla 2**). El CCT-PP apoya la iniciativa de que la Regla de Control sea probada antes de su implementación mediante EEM o metodología de menor complejidad que permita obtener alguna aproximación sobre su potencial robustez.

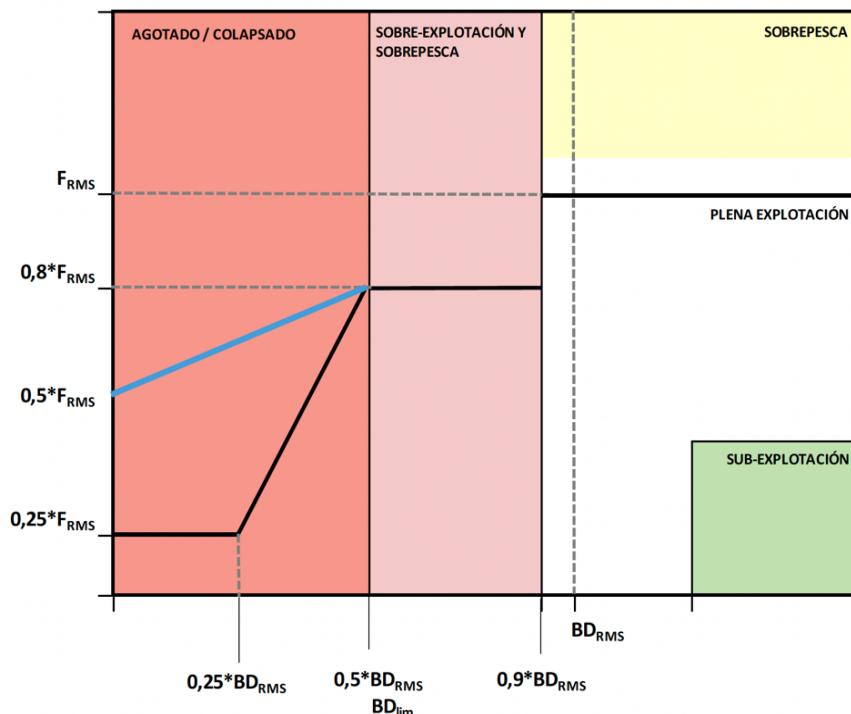


Figura 2. Reglas de captura de sardina austral de la Región de Los Lagos (Regla actual).

Tabla 2. Descripción de las reglas de control de captura (Regla actual) de sardina austral de la Región de Los Lagos según el Plan de Manejo de sardina austral de la Región de Los Lagos.

MEDIDA RCC TIPO MIXTA (ESCALERA Y RAMPA)			
Estado	BD/BD_{RMS}	F/F_{RMS}	Condición
Plena explotación	$BD/BD_{RMS} \geq 0,9$	$F_{cte} = F_{RMS}$	Constante
Sobreexploatación	$0,5 \leq BD/BD_{RMS} < 0,9$	$F/F_{RMS} = 0,8$	Constante
Agotado	$0,25 \leq BD/BD_{RMS} < 0,5$	$F/F_{RMS} = a + b*(BD/BD_{RMS})$ donde, F/F_{RMS} máximo = 0,8, y F/F_{RMS} mínimo = 0,25	Rampa
	$BD/BD_{RMS} < 0,25$	$F/F_{RMS} = 0,25$	

Agotado*	$BD/BD_{RMS} < 0,5$	$F/F_{RMS} = a + b*(BD/BD_{RMS})$ donde, F/F_{RMS} máximo = 0,8, y F/F_{RMS} mínimo = 0,5	Rampa azul
*Corresponde cuando sardina austral se encuentra en estado agotado por condiciones ambientales.			

Por lo tanto, la primera RCC a evaluar es de tipo mixta que incluye escalera y rampa, contenida en el Plan de Manejo de sardina austral. Una segunda RCC se define durante el taller dentro de un patrón general de tipo rampa cuando $BD < 0,9 BD_{RMS}$ y un cierre de la pesquería si $BD < 0,25 BD_{RMS}$ (**Figura 4**).

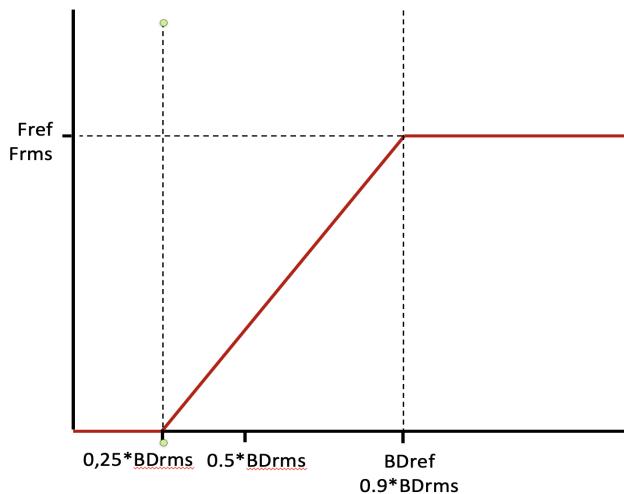


Figura 3. Regla de control de captura alternativa para la sardina austral de la Región de Los Lagos.

Además, se consideró el ciclo de manejo de la pesquería de sardina austral de la Región de Los Lagos (**Figura 4**) el cual es anual y comprende 2 hitos de asesoría. La asesoría inicial comienza en septiembre del año (t) con el cálculo de la Captura Biológicamente Aceptable (CBA) que permite al Comité Científico de Pequeños Pelágicos (CCT-PP) establecer el estatus y recomendar el rango de CBA para el año siguiente ($t+1$), basado en la proyección de 1 año de la población y con supuestos optimistas, pesimistas y neutros del reclutamiento. Entre abril y mayo ($t+1$), período de ingreso de juveniles a la pesquería, se realiza un crucero acústico que estima abundancia y biomasa. La asesoría final, utiliza la información del crucero y junto a los datos actualizados provenientes de la pesquería (Desembarques, composición de tallas, CPUE). Se propone simplificar este proceso a través de la incorporación de **reglas empíricas**.

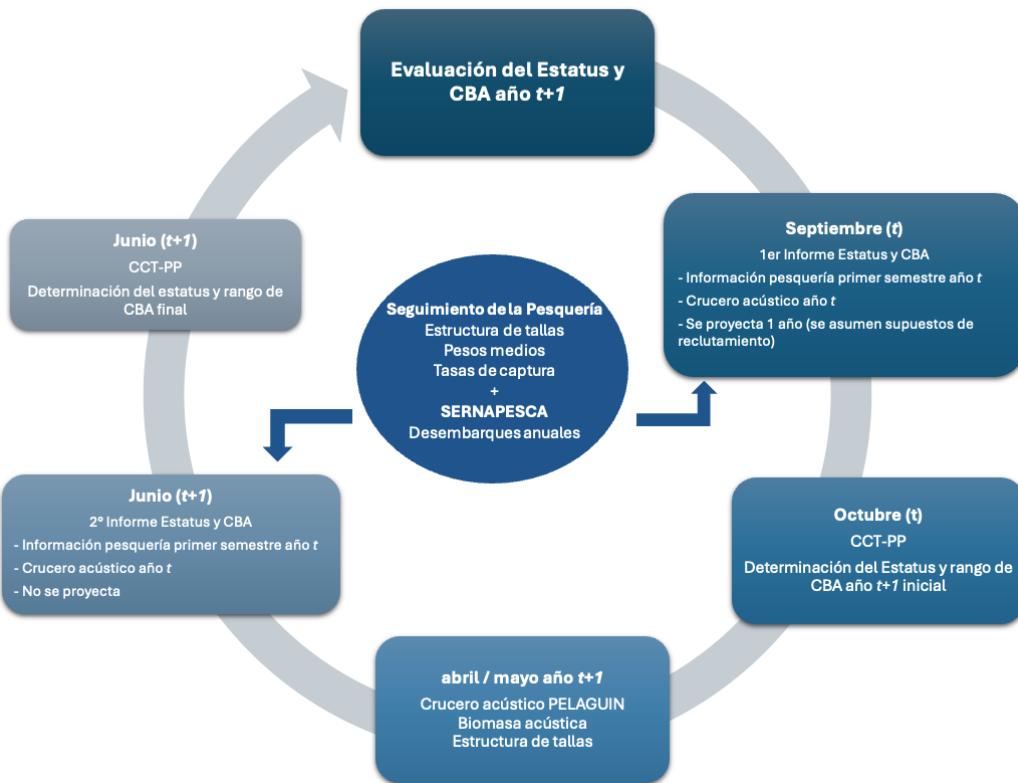


Figura 4. Ciclo de manejo de sardina austral de la Región de Los Lagos.

Se proponen 2 reglas empíricas.

Regla Empírica A: Esta regla considera un ciclo de manejo híbrido, esto es: i) un primer hito en septiembre de cada año (t), en el cual la CBA del año siguiente ($t+1$), se estima desde la evaluación del stock y la regla de control correspondiente y, ii) un segundo hito de asesoría que considera la relación histórica entre el incremento de la biomasa estimada en el último crucero acústico comparada con el año previo (Cru_t/Cru_{t-1}) y la CBA recomendada históricamente en el hito 2 comparado con la CBA recomendada en el hito previo (CBA_t/CBA_{t-1}). Si el crucero actual disminuye, no se realizan ajustes a la CBA inicial (**Figura 5**).

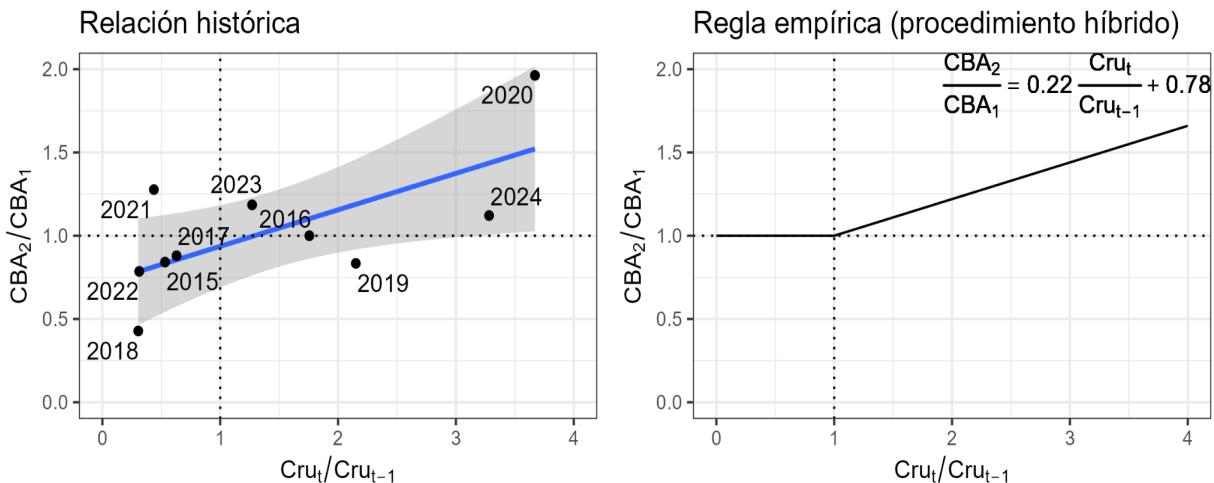


Figura 5. Propuesta de regla empírica A en Hito 2, para la sardina austral de la Región de Los Lagos. La regla empírica ajusta la CBA en el segundo hito basado en el incremento en el crucero actual comparado con el del año previo. No se realizan ajustes si el crucero disminuye.

Regla Empírica B: Se evalúa una regla de control de captura (RCC) para ser usada en un ciclo de manejo de un sólo hito de asesoría, a ocurrir en septiembre de cada año (año t) para la recomendación de CBA del año siguiente (t+1). La regla se construye a partir de la relación histórica entre la biomasa estimada por el crucero acústico del año previo y la CBA del año actual. (**Figura 6 y 7**).

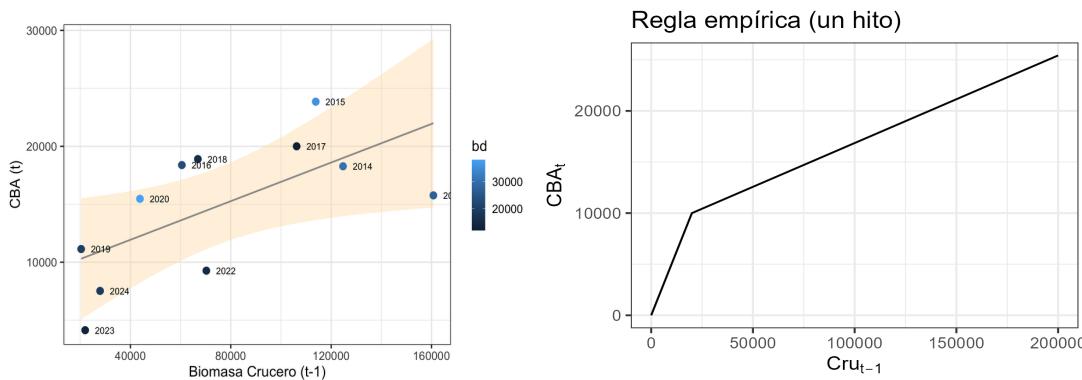


Figura 4. Regla Empírica B: RCC para ser usada en un ciclo de manejo de un sólo hito de asesoría, a ocurrir en septiembre de cada año para la recomendación de CBA del año siguiente. La regla se construye a partir de la relación histórica entre la biomasa estimada por el crucero acústico del año previo (t-1) y la CBA del año actual (t), para $Cru_{t-1} \geq 20.000$ t. Valores inferiores son descritos por la rampa hacia el origen.

La combinación de las propuestas de reglas de control e hitos de asesoría son representados en la **Tabla 3**. Además, se incorporan reglas básicas de comparación que son los escenarios sin captura ($F=0$) y de manejo perfecto. En la Tabla 4 se describen los procedimientos de manejo candidatos.

Tabla 3. Combinación de escenarios a evaluar en Estrategias de Manejo.

Nº de Procedimientos de Manejo Candidatos

Asesorías	RCC PM	RCC alternativa
2 hitos (ev stock)	1	2
2 hitos (ev stock + empírica)	3	4
1 Hito (ev stock)	5	6
1 Hito (empírica)		7
Manejo Perfecto		8
Sin Pesca		9

Tabla 4. Descripción de los procedimientos de manejo en la simulación para la sardina austral de la Región de Los Lagos.

Procedimiento de Manejo	Nº Hitos	Descripción
PM_1	2	RCC Plan de Manejo
PM_2	2	RCC alternativa
PM_3	2	RCC Plan de Manejo + Regla Empírica A
PM_4	2	RCC alternativa + RE_A
PM_5	1	RCC Plan de Manejo
PM_6	1	RCC alternativa
PM_7	1	RE_B
PM_8	1	Manejo Perfecto
PM_9	-	Sin Pesca

Supuestos considerados del modelo operativo para la proyección en el Hito 1.

Para la simulación de los reclutamientos se consideran un promedio de los últimos 5 años a partir del año previo a la última evaluación. Como supuesto de captura para el último año se considera la CBA del año en curso

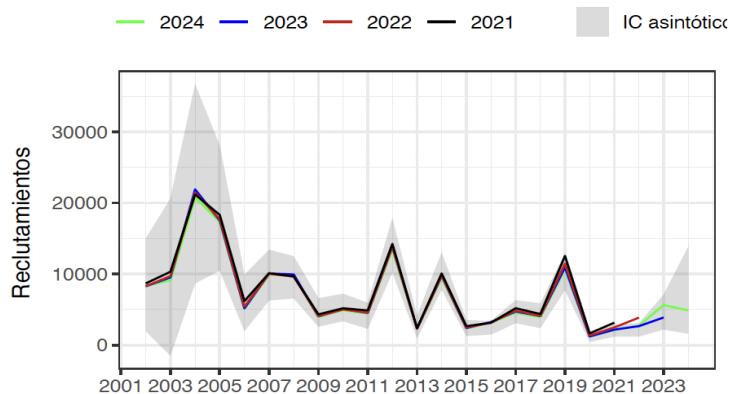


Figura 8. Reclutamientos estimados por el modelo de evaluación de septiembre 2024 y patrón retrospectivo.

5.4. Métricas de desempeño (MD)

Con el fin de seleccionar aquel conjunto de procedimientos y modelos operativos que se presentan a continuación las métricas de desempeño acordadas entre todas las partes durante el Taller de Evaluación de Estrategias de Manejo.

Set 1

- Probabilidad del stock de estar en la zona verde del diagrama de fase ($BD > 0.9 BD_{RMS}$ & $F < 1.1 F_{RMS}$, **Figura 9**).
- Probabilidad del stock de estar por sobre la zona roja del diagrama de fase ($BD > 0.5 BD_{RMS}$, **Figura 9**).
- Probabilidad de F de estar por debajo del objetivo de manejo ($F < 1.1 F_{RMS}$, **Figura 9**).
- Probabilidad de que la Biomasa desovante esté por encima del objetivo de manejo ($BD > 0.9 RMS$, **Figura 9**).
- CBA promedio.
- Probabilidad de que la CBA esté por sobre los valores mínimos estimados para carnada y permitir la operación orientada hacia otros pelágicos (fauna acompañante) ($CBA > 4.000$ toneladas).

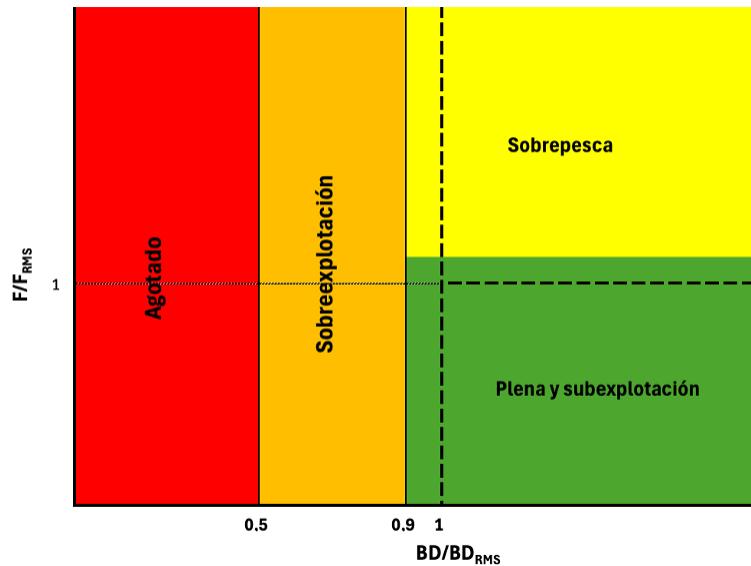


Figura 9. Diagrama de Fase para sardina austral. Los colores representan estatus del stock, Verde: Plena explotación, Amarillo: Sobreexplotación, Naranjo: Sobreexplotación y Rojo: Agotado. Los indicadores de desempeño se definen como la probabilidad de: estar en la zona verde (ZV), no estar en la zona roja (NZR) y no estar en la zona amarilla (NSP).

Se considerarán las siguientes escalas de tiempo de las simulaciones para las estadísticas de desempeño, según corresponda:

Set 1NZ

- Corto plazo (1-3 años)
- Mediano plazo (10-12 años)
- Largo plazo (18-20 años)

Set 2

- Variabilidad promedio de la CBA determinada durante la proyección (1-20 años)
- Probabilidad de no pasar a la zona roja del diagrama de fase (Tipo 2, 1-20 años)

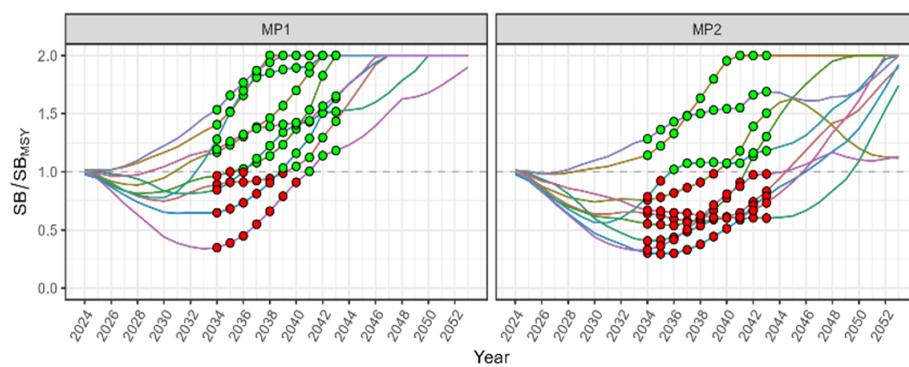


Figura 9. Esquema de las métricas de desempeño en la que se calcula la proporción de años y simulaciones en los cuales la biomasa está por sobre el objetivo (puntos verdes). Este tipo de métrica es un indicador promedio del estatus durante la proyección.

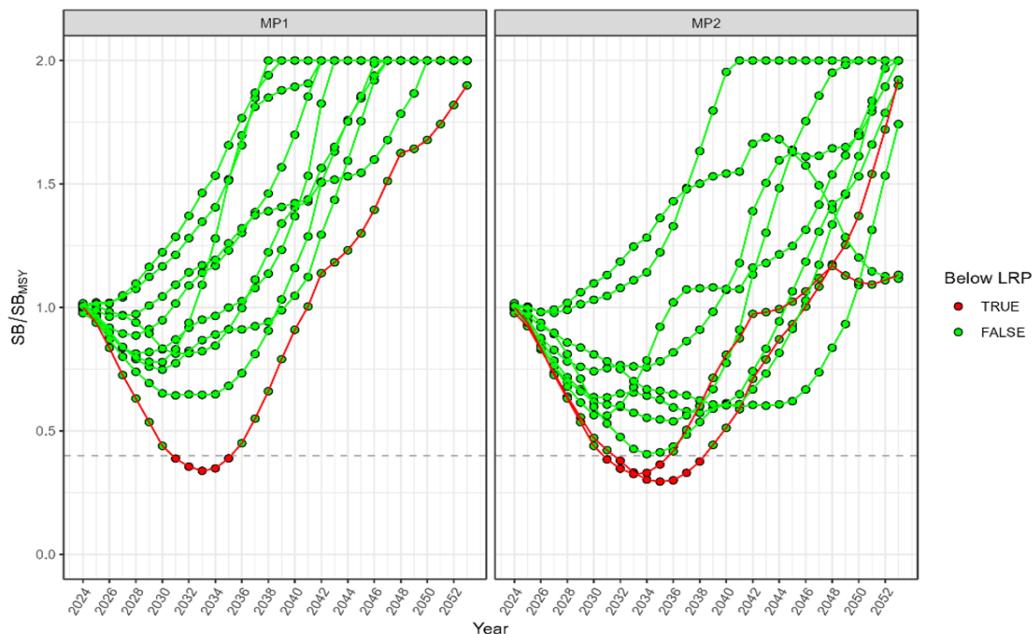


Figura 10. Esquema del cálculo de tipo 2 para la métrica de desempeño, que calcula la proporción de simulaciones en las que la biomasa siempre está por encima del objetivo (líneas verdes). Este tipo de métrica es un indicador de la trayectoria del stock a lo largo del tiempo y la frecuencia de los cambios de estado a pesar del estado favorable al final de la proyección.



Referencias

Aranis, Meléndez, R., Pequeño, G., & Cerna, F. (2007). *Sprattus fuegensis en aguas interiores de Chiloé, Chile (Osteichthyes: Clupeiformes: Clupeidae)*. Gayana (Concepción), 71(1), 102-113. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382007000100011>

Aranis A., A. Gómez; S. Mora; L. Ossa; K. Walker; L. Caballero; G. Eisele; F. Cerna; A. López; C. Machuca; L. Muñoz; C. Valero; M. Ramírez; V. Valdebenito; C. Vera. 2014. Informe Final, Programa de Seguimiento de las Pesquerías Pelágicas Zona Centro-Sur, 2013. Subsecretaría de Economía y EMT, Inst. Fom. Pesq. Valparaíso, Chile.

Cerna F, J Quiroz, A López y A Aranis. 2007. Edad y Crecimiento de sardina fueguina (*Sprattus fueguensis*, Jenyns, 1842) en el Mar Interior de la Isla Chiloé, Pacífico Sur-Este frente a Chile. XXVII Jornadas Ciencias del Mar. Iquique - Chile.

Fournier, D.A., H.J. Skaug, J. Ancheta, J. Ianelli, A. Magnusson, M.N. Maunder, A. Nielsen, and J. Sibert. 2012. AD Model Builder: using automatic differentiation for statistical inference of highly parameterized complex non linear models. *Optim. Methods Softw.* 27:233-249.

Galleguillos, R., Ferrada, S., Canales-Aguirre, C., Hernández, C., Oliva, M., González, M. T., Cubillos, L., Niklitschek, E., & Toledo, P. (2012). Determinación de unidades poblacionales de sardina austral entre la X y XII regiones de Chile. (Informe Final. FIP 2010-17). Universidad de Concepción.

Landaeta M, C Bustos, P Palacios, P Rojas y F Balbontín. 2011. Distribución del ictioplancton en la Patagonia austral de Chile: potenciales efectos del deshielo de Campos de Hielo Sur. *Latin American Journal of Aquatic Research.* 39(2): 236-249.

Leal E, TM Canales, A Aranis y M González. 2011. Actividad reproductiva y longitud de madurez de sardina austral *Sprattus fuegensis*, en el mar interior de Chiloé, Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía.* 46 (1): 43-51.

Neira, S., Arancibia, H., Barros, M., Castro, L., Cubillos, L., Niklitschek, E., & Alarcón, R. (2014). Rol Ecosistémico de sardina austral e impacto de su explotación sobre la sustentabilidad de otras especies de interés comercial. (Informe Final. FIP 2012-15). Universidad de Concepción.

Payá, I., Canales, C., Bucarey, D., Canales, M., Contreras, F., Leal, E., Tascheri, R., Yáñez, A., Zúñiga, M. J., Clark, W., Dorn, M., Dunn, M., Fernández, C., Haddon, M., Klaer, N., & Sissenwine, M. (2014). Revisión de los puntos biológicos de referencia (Rendimiento Máximo Sostenible) en las pesquerías nacionales. Informe Final. Convenio II: Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales 2014. Subsecretaría de Economía y EMT / IFOP, Chile (pp. 1-49 + Anexos). <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.3048.0246>