



Índice

| | |
|--|-----------|
| RESUMEN EJECUTIVO | 2 |
| 1. OBJETIVOS | 4 |
| 1.1. Objetivo general | 4 |
| 1.2. Objetivos específicos | 4 |
| 2. ANTECEDENTES | 5 |
| 2.1. Distribución del recurso | 5 |
| 2.2. Unidades de stock | 5 |
| 2.3. Pesquería | 5 |
| 2.3. Reclutamiento | 9 |
| 2.4. Reproducción | 11 |
| 2.6. Evaluación de stock | 12 |
| 2.7. Estatus | 13 |
| 2.8. Captura Biológicamente Aceptable (CBA) | 14 |
| 3. METODOLOGÍA DE TRABAJO | 17 |
| 3.1. Objetivo específico 1: | 17 |
| 3.1.1. Modelo Conceptual | 17 |
| 3.1.2. Datos de entrada al modelo de evaluación de stock | 18 |
| 3.1.3. Evaluación de stock | 25 |
| 3.2. Objetivo específico 2: | 37 |
| 3.2.1. Estatus | 37 |
| 3.3. Objetivo específico 3: | 40 |
| 3.3.1. Captura biológicamente aceptable (CBA) | 40 |
| 3.3.2. Proyección del stock | 47 |
| 3.4. Objetivo específico 4: | 48 |
| 4. RESULTADOS | 49 |
| 4.1. Objetivo específico 1: | 49 |
| 4.1.1. Datos de entrada al modelo de evaluación de stock | 49 |
| 4.1.2. Diagnóstico del modelo de evaluación de stock | 58 |
| 4.2. Objetivo específico 2: | 70 |
| 4.2.1. Indicadores del stock | 70 |
| 4.2.2. Puntos Biológicos de Referencia (PBRs) | 73 |
| 4.2.3. Estado de explotación | 76 |
| 4.3. Objetivo específico 3: | 81 |
| 4.3.2. Proyección del stock (Asesoría de septiembre 2021) | 81 |
| CBA 2022 Inicial (Asesoría de septiembre 2021) | 84 |
| 4.4. Objetivo específico 4: | 86 |
| 4.4.1. Esquema de trabajo y plan de actividades. | 86 |
| 4.4.2. Mejoras realizadas al modelo de evaluación de stock | 88 |
| 4.4.3. Avances en reducción de brechas | 92 |
| 4.4.4. Recomendaciones realizadas en Revisión por Pares Externa e independiente (RPEI) | 104 |



| | |
|---|-----|
| 4.4.5. Recomendaciones realizadas en Informe de evaluación técnica de proyectos del programa de investigación básica o permanente para la regulación pesquera y de acuicultura. | 108 |
|---|-----|

| | |
|--|------------|
| 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 110 |
|--|------------|

| | |
|--------------------------------------|------------|
| 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 115 |
|--------------------------------------|------------|

7. ANEXOS

ANEXO I. Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad en la Asesoría Científica (PMCCAC) de la evaluación de stock de Anchoveta y Sardina común de la Región de Valparaíso a la Región de Los Lagos.



RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe contiene la actualización del Estatus del año biológico 2020/21 y la proyección de la Captura Biológicamente Aceptable (CBA) del año calendario 2022 para el stock de sardina común en la Unidad de Pesquería Centro-Sur (UPCS) de Chile, Región de Valparaíso a Región de Los Lagos. El estudio es actualizado con la información disponible a junio de 2021: (1) Estadísticas de desembarques SERNAPESCA desde 1990/91 hasta 2020/21; (2) El porcentaje de descarte proveniente del Programa de Descarte de IFOP corresponde al período 2015-2019; (3) Información de captura a la edad y pesos individuales a la edad provenientes del “Programa de Seguimiento de las Principales Pesquerías Nacionales (Pesquerías Pelágicas)” desde 1990/91 hasta 2020/21; (4) Series de biomasa acústicas de verano (años 2000 a 2021) y otoño (años 2003 a 2021) provenientes del programa de cruceros IFOP “Evaluación hidroacústica de los stocks de anchoveta y sardina común entre las Regiones de Valparaíso y Los Lagos”; (5) publicaciones científicas y técnicas relacionadas con los parámetros del ciclo de vida (mortalidad natural y madurez).

En relación con los datos de entrada al modelo de evaluación de stock de sardina común, desde 2015 las biomasa acústicas de verano se mantienen en niveles en torno a 2 millones de toneladas (t), mientras las capturas se mantienen en torno a las 350 mil t promedio. Las biomasa acústicas de otoño reflejan el efecto de la remoción ejercidas por la pesca y causas naturales, con biomasa en general menores a las estimadas en el crucero de verano (1,3 millones de t). No obstante, para el año 2020 la biomasa estimada por el crucero acústico de verano se redujo a un millón de toneladas (54 % menor al 2019), la biomasa del crucero de otoño disminuye un 40 % respecto al 2019 y las capturas 2019/20 se redujeron un 10 % respecto al año previo. El desembarque 2020 alcanzó las 258 mil t, equivalente a un 80 % de la Cuota establecida (321.307 toneladas). Para el año 2021, la biomasa total estimada por el crucero de enero retornó a los niveles observados entre el 2015 al 2019 (~ 2 millones de t), incrementando un 125 % respecto a lo estimado para el año 2020. El crucero de otoño 2021, estimó un nivel de biomasa superior en 27 % respecto del año anterior. En relación con la captura 2020/21, se registró un aumento del 38 % respecto del año biológico 2019/20. El modelo de evaluación de stock reproduce adecuadamente la tendencia general de los niveles de biomasa que han presentado las estimaciones de cruceros acústicos de verano y otoño, en particular durante los últimos 7 años, considerando que estos contienen un importante nivel de variabilidad interanual.

La pesquería de sardina común se sustenta entre un 60 %-70 % por la abundancia del grupo de edad cero (GE 0). Los resultados del crucero de verano 2019 y 2020 presentan una disminución en los niveles de abundancia de la fracción recluta, por lo tanto, el estimado de biomasa total del crucero de verano 2019 es sostenido por la fracción adulta (edad 1+), mientras que el estimado 2020 es sostenido por individuos de edad 2+. Esta disminución se confirma al actualizar la composición de edad de la flota 2018/19 y 2019/20 y del crucero de otoño 2019 y 2020. Por lo anterior, la disminución de la biomasa total 2020 estaría fuertemente relacionada a la reducción del número de individuos de los grupos de edad 0 y 1 principalmente. Los resultados del crucero de verano 2021 muestran un incremento significativo en los niveles de abundancia de la fracción recluta (94 % individuos de edad 0), a diferencia de los dos años previos. La biomasa total del crucero de verano 2021 es sostenido principalmente por la fracción recluta (edad 0), observándose una baja presencia de individuos adultos (edad 1+). El crucero de otoño 2021 mantiene una importante representatividad (83 %) de ejemplares del grupo de edad 0.

Las tendencias de las variables poblacionales muestran que los reclutamientos presentan importantes fluctuaciones interanuales y en su historia conocida, se aprecian tres períodos relevantes: a) Rprom(1991-2007) con los niveles más bajos de reclutamientos (114 mil millones de peces), b) Rprom(2008-2012) con



los más altos niveles de reclutamiento (410 mil millones de peces) y c) $R_{prom}(2013-2021)$ con reclutamientos medios en torno a 180 mil millones de peces. Comparado con estos períodos, el reclutamiento 2021 es un 94 % mayor al $R_{prom}(1991-2007)$, un 46 % menor al $R_{prom}(2008-2012)$ y un 23 % mayor al $R_{prom}(2013-2021)$. A su vez, el incremento del reclutamiento 2021 genera una recuperación en el nivel de biomasa total, del 21 % por sobre el promedio histórico de la serie (promedio 1991-2021 = 1,65 millones de t). Por otro lado, la biomasa desovante promedio de la serie histórica se encuentra en torno a 718 mil t, mientras que el promedio de los últimos 9 años (período 2013-2021) es de 980 mil de t. Al respecto, la biomasa desovante esperada para el año biológico 2020/2021 es un 29 % menor al promedio histórico y un 48 % menor al promedio de los últimos 9 años (período 2013-2021). En consecuencia, la condición estimada para el año 2020/2021, indica que la sardina común se encuentra en sobreexplotación (38 % bajo BD_{RMS} y 9 % sobre F_{RMS}), con un 18 % de probabilidad de colapso y un 48 % de riesgo de sobrepesca. La asesoría actual (julio 2021) confirma el estatus proyectado en la asesoría previa (marzo 2021), no obstante, posiciona a la sardina común de la zona centro sur en una condición de menor riesgo de agotamiento o colapso.

Adicionalmente, en este estudio se analizó el efecto del retorno del reclutamiento 2021 a niveles favorables sobre el estatus proyectado hacia el 2021/22 bajo una mortalidad por pesca en torno al F_{RMS} . Los resultados indican una recuperación del estatus para el año biológico 2021/22, acercándose a una condición de plena-explotación, con un 49 % de probabilidad de sobre-explotación y un 4 % de probabilidad de colapso, independiente del escenario de reclutamiento proyectado. Esta recuperación podría estar relacionada a las condiciones ambientales favorables registradas hacia fines del 2020 e inicios del año 2021, donde se registró una condición fría, con gran cobertura espacial de ATSM negativas al norte de los 40°S y procesos de intensa surgencia costera, con elevadas concentraciones de clorofila-a en la costa, lo que se tradujo en una mayor disponibilidad de alimento (fitoplancton) para los reclutas de sardina común. Adicionalmente, los resultados del crucero de otoño mostraron una gran cantidad de ejemplares juveniles que están muy cerca de su talla de madurez, lo que aseguraría la presencia de un buen stock desovante para el segundo semestre 2021.

El rango de Captura Biológicamente Aceptable (CBA) para el año calendario 2021 se obtiene bajo un criterio de explotación de F_{RMS} , sujeto a percentiles de probabilidad entre el 10 % y 50 % de sobrepasar dicho criterio. Se asume que el 70 % de la captura se obtendrá durante el primer semestre y que ocurrirá un 4 % de descarte. De este modo, para el año 2021, descontando el 4 % de descarte y estimada bajo un escenario de reclutamiento bajo (período 1991-2007), la captura varía entre 336 mil t y 363 mil t. Bajo un escenario de reclutamiento alto (período 2008-2012), alcanza un rango entre 368 mil t y 403 mil t y bajo un escenario de reclutamientos recientes (período 2013-2021), entre 338 mil t y 370 mil t.



1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo general

Proveer la asesoría científica necesaria para la determinación del estado de explotación y la Captura Biológicamente Aceptable (CBA) que deberá llevar o mantener al Rendimiento Máximo Sostenible (RMS), pesquería de sardina común de la Región de Valparaíso a la Región de Los Lagos, bajo condiciones de riesgo e incertidumbre, cuantificando las distintas fuentes e integrando la mejor información científica-técnica disponible.

1.2. Objetivos específicos

1. Implementar procedimientos de evaluación de stock basados en protocolos científicos para la determinación del estatus de sardina común, con arreglo al nivel de información, conocimiento e incertidumbre correspondiente, conforme a los estándares actuales en ciencia pesquera.
2. Establecer el estatus actualizado de sardina común, sobre la base de sus principales indicadores estandarizados de estado y flujo, propagando para estos efectos todas las fuentes de incertidumbre subyacente a la pesquería.
3. Determinar niveles de Captura Biológicamente Aceptable (CBA) que lleven y/o mantenga la pesquería en torno al Rendimiento Máximo Sostenible (RMS), a partir de un análisis de riesgo en condiciones de incertidumbre de no alcanzar los objetivos de conservación y sostenibilidad conforme lo establece la LGPA y contenidos en el Plan de Manejo y/o en el Programa de Recuperación respectivo, según corresponda.
4. Informar el avance del Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad en la Asesoría Científica (PMCCAC) realizado durante el presente estudio, respecto al cumplimiento de recomendaciones formuladas en procesos de RPEI y priorizadas por el CCT, cuando corresponda.



2. ANTECEDENTES

La sardina común (*Strangomera bentincki*) es una especie endémica de las aguas costeras de la zona centro-sur de Chile. Una de las principales particularidades de este recurso es la enorme fluctuación inter-anual que puede ocurrir en la abundancia de su población, con una alta y variable mortalidad natural, lo que redundaría en una alta variabilidad en los desembarques. Esta especie presenta un corto ciclo de vida (longevidad máxima de cuatro años), un rápido crecimiento con oscilaciones estacionales, alta fecundidad y elevada tasa de mortalidad natural. Además, cumple un importante rol trófico, generando fluctuaciones en la abundancia de otras especies producto de la importancia relativa y el grado de pesca objetivo ejercida sobre ella.

2.1. Distribución del recurso

La sardina común es reconocida junto con la anchoveta como especies netamente costeras (distribución longitudinal no supera las 30 millas náuticas de la costa), neríticas (habitan profundidades menores a los 70 ó 50 m, respectivamente), forman cardúmenes altamente densos y son especies fuertemente influenciadas por factores bióticos y abióticos (Aguayo & Soto 1978, Serra *et al.* 1978, Arrizaga & Veloso 1982, Cubillos & Arancibia 1993a, 1993b). La sardina común sostiene una importante actividad pesquera industrial y cerquera artesanal en el litoral de la zona centro-sur de Chile. La pesquería de sardina común, abarca las regiones de Valparaíso (33°S) y Los Lagos (42°S), siendo los principales puertos de desembarque: San Antonio en la Región de Valparaíso; Coronel, San Vicente y Talcahuano en la Región del Biobío; Corral en la Región de Los Ríos; Calbuco y Puerto Montt en la Región de Los Lagos (**Figura 1**). Los mayores desembarques (90-95%), se registran entre Valparaíso y Biobío (San Antonio, Talcahuano y Coronel). La actividad pesquera opera en profundidades que no sobrepasan los 50 m y en un margen costero en promedio próximo a las 30 millas náuticas desde la costa.

2.2. Unidades de stock

La unidad de stock corresponde al “grupo de peces que se mantiene temporal o espacialmente aislados unos de otros y que son genéticamente distintos, debido a su aislamiento reproductivo”. Basados en esta definición Galleguillos *et al.* (1994) desarrollaron un estudio de identificación de stock de los recursos sardina común y anchoveta entre las regiones de Valparaíso y La Araucanía durante abril de 1995 y abril 1996 aplicando i) marcadores genéticos; ii) marcadores biológicos; iii) morfología corporal; iv) fauna parasitaria. Estos autores establecieron que no hay evidencias para adoptar la existencia de subunidades en el área de análisis. Consecuentemente con lo anterior y extendiendo el análisis a la Región de Los Lagos, en este estudio se trabaja la hipótesis de una unidad de stock entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos en donde se desarrolla la pesquería.

2.3. Pesquería

Durante la década de los noventa, la flota cerquera de la zona centro-sur incrementó significativamente las capturas de sardina común, observándose dos importantes máximos en el año 1991 y 1999, cuando sobrepasa las 400 mil toneladas extraídas. Sin embargo, en los años 1993 y 1995 se registró un fuerte descenso probablemente debido a fallas sucesivas en los reclutamientos. Durante el período 1995 al 2000, la extracción de pequeños pelágicos estuvo marcada por condiciones ambientales “El Niño” 1997-1998 que se tradujo en alteraciones de las comunidades costeras pelágicas, especialmente sobre el jurel, observán-

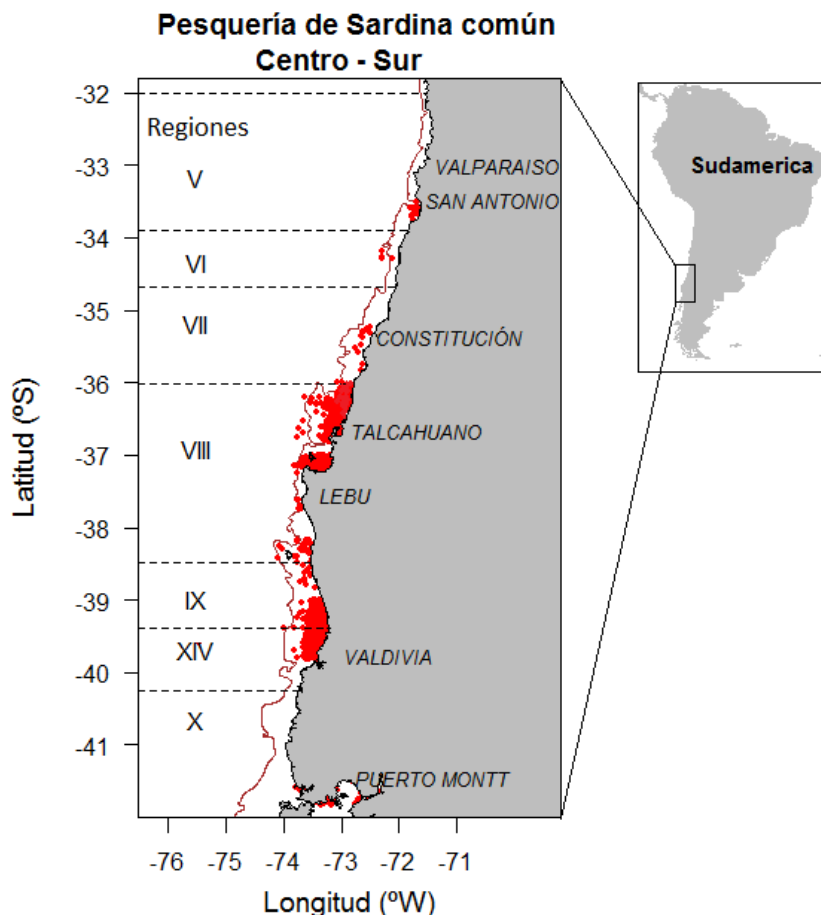


Figura 1. Distribución espacial de datos provenientes del muestreo biológico realizado por IFOP para el monitoreo de la pesquería de sardina común. La línea color café corresponde a la isóbata de los 200 m.

dose una alta e inusual presencia de ejemplares de tallas pequeñas en la pesquería centro-sur. Este hecho generó la distorsión de los desembarques de sardina y anchoveta durante los años 1999-2001, impulsado por evadir multas y declarar menos jurel (Aranís 2011). Existen antecedentes que señalan que los desembarques del primer semestre 1999 y 2000 resultan ser muy altos para lo que en ese entonces se supone era la población de anchoveta y sardina común. Por lo tanto, la serie de desembarques anuales oficiales fue corregida por investigadores de IFOP, considerando los niveles de sub-reportes de jurel durante los años 1998 - 2001, que indican que del desembarque total informado como sardina común, menos del 27 % correspondía efectivamente a este recurso (**Figura 2**).

El año 2000 la pesquería se establece en Régimen de Plena Explotación, por lo cual se aplica la medida de administración pesquera denominada Límite Máximo de Captura por Armador y corresponde fijar Cuotas Globales Anuales de Captura. Durante el período 2001 - 2005, los desembarques se mantienen en torno a las 300 mil toneladas (**Figura 3**). A partir del 2005 comienza un período favorable para la condición de sardina común, ingresando a un proceso de expansión poblacional. Esta condición permite establecer las cuotas iniciales más altas de la serie (605 mil t), generando niveles de desembarque promedio en torno a las 700 mil toneladas durante el período 2006 - 2012. Los años 2001, 2002, 2006, 2008, 2014 y 2017 a 2019, el desembarque artesanal superó los niveles de cuota establecidas. Durante el 2017 el desembarque

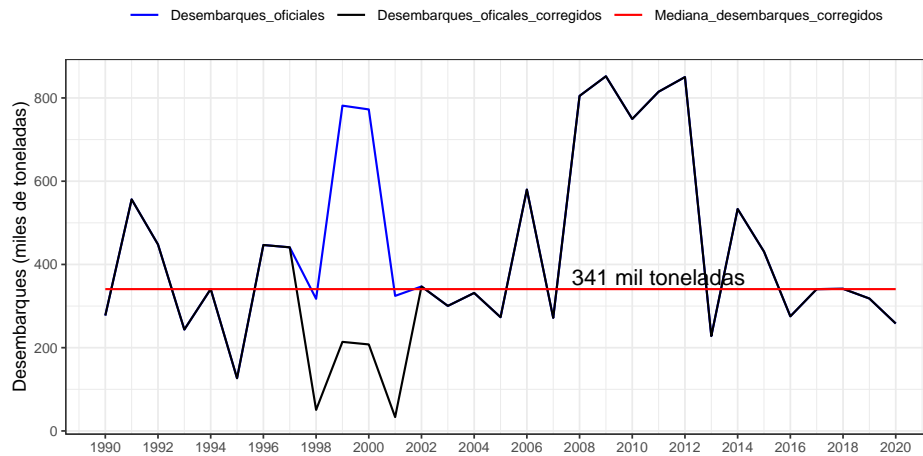


Figura 2. Desembarques (t) oficiales y corregidos de sardina común centro-sur.

artesanal superó en 60 mil toneladas el nivel de cuota establecida, el 2018 y 2019 fue superior en más de 100 t, mientras que el desembarque industrial estuvo por debajo de la cuota establecida (**Figura 3**).

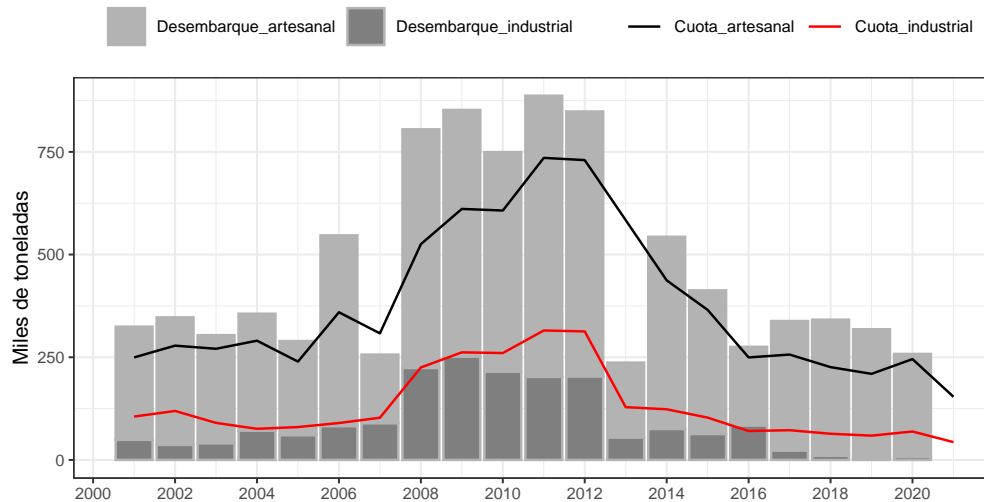


Figura 3. Relación de desembarques y cuotas anuales de sardina común por tipo de flota.

El desembarque de sardina común se ha caracterizado por presentar un comportamiento estacional, donde cerca del 76 % de la captura total anual se obtiene al primer semestre de cada año, con máximos entre marzo y abril (**Figura 4**). Esta estacionalidad está altamente influenciada por el reclutamiento, lo que incide en un aumento de la abundancia y disponibilidad de agregaciones de alta densidad en zonas costeras. Producto de esta alta dependencia, la pesquería ha estado sustentada en más del 80 % por ejemplares juveniles y reclutas (**Figura 5**). Esto se ve reflejado en una correlación positiva entre la biomasa acústica de enero (crucero de verano) que mide el pulso del reclutamiento anual y los desembarques registrados al primer semestre (**Figura 6**).

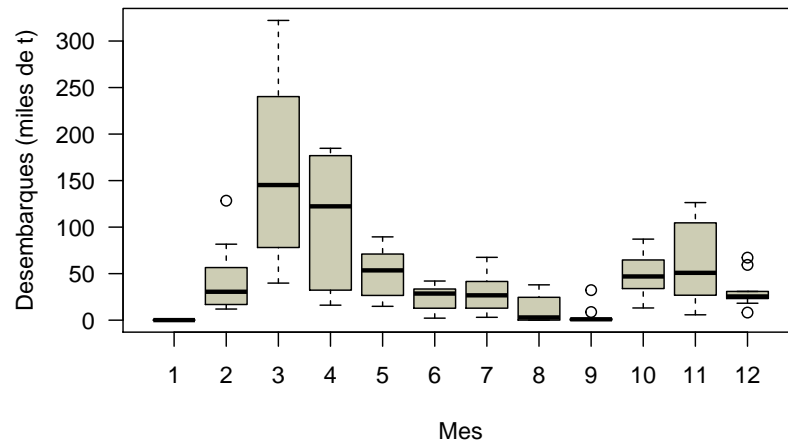


Figura 4. Capturas mensuales de sardina común realizadas entre 2007-2016, registradas por SER-NAPESCA en la zona centro-sur.

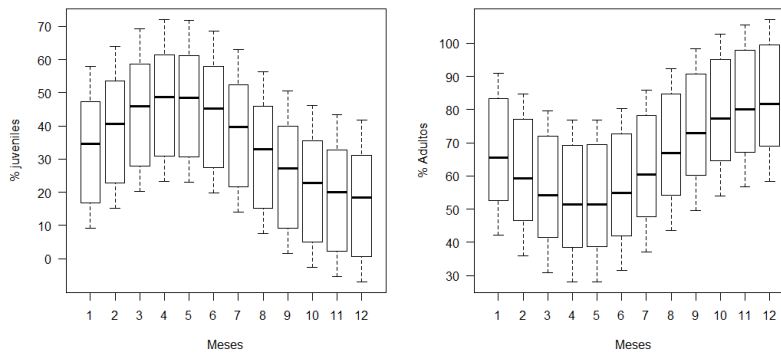


Figura 5. Patrón histórico de la proporción de juveniles (<11,5 cm LT) presentes en los muestreos biológicos de sardina común en la flota total centro-sur.

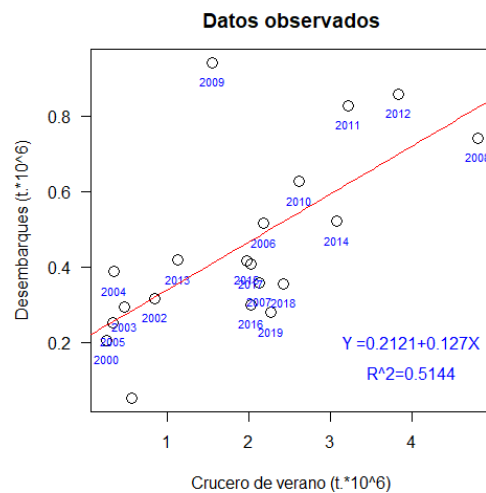


Figura 6. Relación entre desembarques registrados durante el primer semestre de cada año versus la biomasa acústica de verano (enero) del mismo año.



2.3. Reclutamiento

Las áreas de reclutamiento se ubican principalmente frente a la Región del Biobío, concentrándose fundamentalmente al norte de Isla Mocha. Las condiciones ambientales que afectan a este proceso se vinculan con ciertas masas de agua, anomalías de las variables (Temperatura, Salinidad, Oxígeno disuelto, gradientes, etc.), intensidad de los vientos y el nivel de los procesos vinculados (índice de surgencia, índices de turbulencia, transporte de Ekman, etc) (Yáñez *et al.* 2005; Castillo *et al.* 2013).

En este sentido, Castillo *et al.* (2013) encontraron una relación negativa entre la densidad de anchoveta y sardina común de la zona centro-sur y el índice de turbulencia (del invierno anterior al reclutamiento), debido a la advección de huevos y larvas lejos de la costa. Además, la intensidad de la surgencia costera frente a Chile centro - sur experimenta una alta variabilidad interanual que está modulado por ENOS. El impacto de ENOS en el sistema de surgencia se relaciona principalmente con teleconexiones atmosféricas (Montecinos & Gómez, 2010). Gómez *et al.* (2012) encontraron que la surgencia impulsada por el viento y El Niño 3.4 se correlaciona significativamente con la clorofila y los reclutamientos. Además, identificaron que cuando la surgencia es débil la clorofila costera es baja, el reclutamiento es bajo y la tasa de supervivencia de reclutas es baja. De este modo, estos autores sugieren que la clorofila costera de primavera es un buen indicador de la abundancia de alimento de sardina común, afectando significativamente la supervivencia de pre-reclutas de sardina común y por consiguiente, la fuerza de los reclutamientos a finales de primavera. Otros autores han encontrado una relación inversa y significativa con la anomalía de la TSM y una relación positiva y significativa con la anomalía de la CHL, ya que se reconoce que la sardina común se alimenta preferentemente sobre presas de menor tamaño asociadas al fitoplancton (Arteaga *et al.* 2014, Cubillos & Arcos 2002, Van der Lingen *et al.* 2009).

Desde el año 2000, la magnitud del reclutamiento anual es estimado a través de la evaluación hidroacústica que se realiza en enero de cada año, cuando se maximiza la presencia de juveniles de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur. A partir del 2003 se replicó la prospección en otoño (mayo) para incrementar la certeza de la estimación haciendo un seguimiento de la evolución del proceso o para capturar un eventual segundo pulso, especialmente en anchoveta. De este modo, ha sido posible establecer una estacionalidad en la composición específica de las biomásas de estas dos especies, en verano la sardina domina respecto a la anchoveta, mientras que en el otoño se presenta un incremento relativo de la anchoveta y una reducción en la sardina junto a cambios en su distribución geográfica (Castillo *et al.* 2013). La serie de biomasa se caracteriza por presentar una menor abundancia promedio durante el otoño respecto de las estimaciones de verano, producto de factores asociados a la pesca y a la menor disponibilidad que experimenta el recurso hacia mitad de año. Sin embargo, la distribución espacial de los últimos años se ha visto alterada producto de “El Niño” 2016, observándose una relación positiva, aunque no significativa, entre ambos cruceros (**Figura 7**).

Se ha observado una gran variabilidad interanual asociada a la fortaleza del pulso de reclutamiento de ambos recursos. A partir del 2005 la biomasa exhibe un importante aumento con un máximo histórico de 4,8 millones de t en el año 2008, el cual se mantiene hasta el verano del 2012 (3,8 millones de t). El período favorable de la sardina iniciado el 2005, coincide con el dominio en la zona de anomalías térmicas superficiales negativas, que se han presentado con intensidad variable (Castillo *et al.* 2012). Esta tendencia cambia el 2013 (1.133.477 t.) representando una reducción superior al 239 % en comparación al verano del 2012; 185 % en relación al 2011 y 131 % respecto al 2010. En relación con la abundancia de ejemplares menores a 11,5 cm, sólo representaron el 42,5 % del total, con un descenso significativo (63,9 %), respecto de los meses de enero y mayo del 2012, períodos en los cuales la participación de reclutas superó el 88 %. Esta condición se revierte el año 2014, con una importante recuperación de la biomasa total estimada

en 3.079.434 t y de la presencia de reclutas con una abundancia de ejemplares menores a 11,5 cm que representó el 96,4 % del total (740 mil millones). Sin embargo, a partir del 2015 las biomases acústicas se mantienen en torno a los 2 millones de t y con disminución de la biomasa de reclutas en el año 2019. El crucero de verano 2020 estimó una disminución de la biomasa total y de reclutas en torno al 50 % y 80 % respectivamente, respecto de las estimadas el año anterior. No obstante, se registra una recuperación de los niveles de biomasa total, retornando a niveles en torno a los 2 millones de t (**Figura 8**).

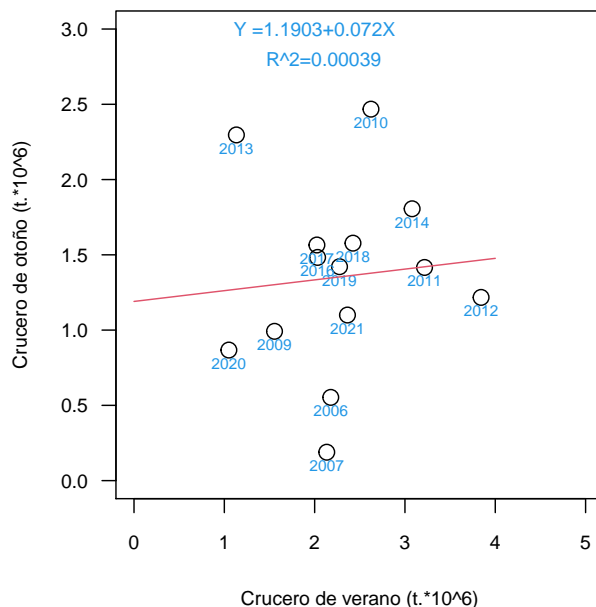


Figura 7. Relación entre la biomasa total del crucero acústico de otoño versus la biomasa total del crucero acústico de verano (enero) del mismo año para sardina común.

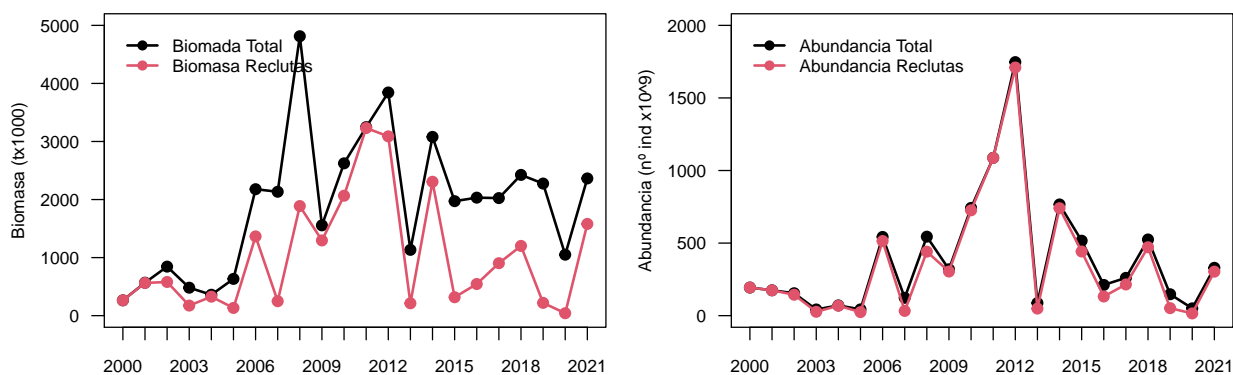


Figura 8. Biomasa (panel izquierdo) y abundancia (panel derecho) total y de reclutas (<11,5 cm) de sardina común centro-sur.

2.4. Reproducción

Los peces pelágicos pequeños adaptan su ciclo reproductivo desovando en zonas protegidas y/o períodos del año favorables para la sobrevivencia y desarrollo de estadíos tempranos (Parrish *et al.* 1983, Hutchings *et al.* 1998, Cubillos *et al.* 2001). El área de desove de sardina común y anchoveta de las regiones de Valparaíso a Los Lagos, se ubica principalmente en la zona de Lebu-Corral, la cual correspondería a una zona de pre-reclutamiento/desove con un alto nivel de retención (**Figura 9**), producto de una alternancia entre convergencias costeras producidas por vientos norte que favorecerían la concentración y retención en la costa y vientos sur que promoverían el enriquecimiento de aguas costeras con eventos de surgencia de moderada intensidad (Cubillos *et al.* 2011, Parada *et al.* 2012, Soto-Mendoza *et al.* 2012).

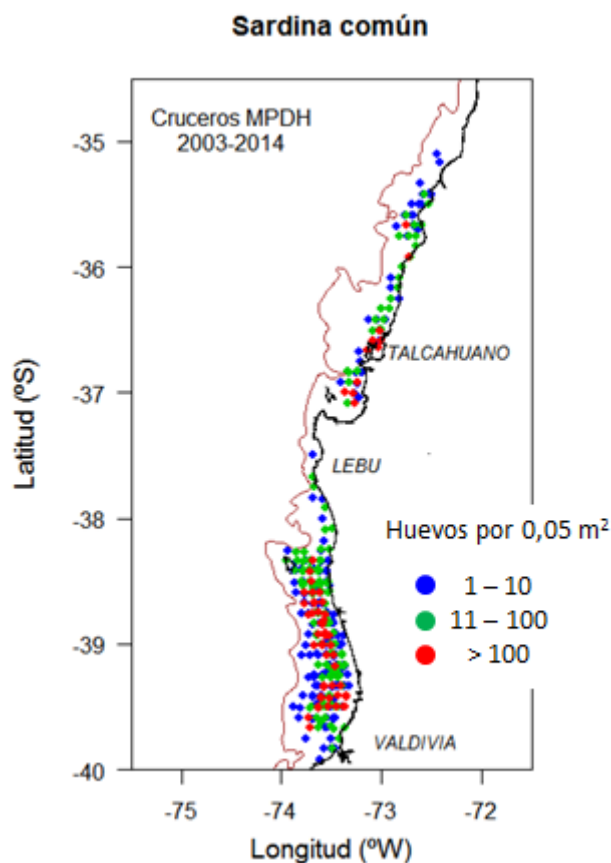


Figura 9. Distribución de huevos recolectados en Cruceros de huevos (MPDH, 2003 - 2014) de sardina común en la Zona Centro-Sur de Chile. La línea café representa isobata de 200 m.

La sardina común presenta un desove parcial o fraccionado, es decir, el total de ovocitos maduros producidos por una hembra son expulsados en grupos o modas sucesivas durante la temporada de desove, registrando actividad reproductiva a lo largo de todo el año, con un período de máxima actividad centrada entre los meses de agosto a octubre, período en que las condiciones oceanográficas exhiben una transición entre un régimen de convergencias costeras (transporte hacia la costa) y un régimen de surgencias moderadas que permiten la concentración y retención de huevos en la costa y la provisión de alimento para la supervivencia de las larvas. El período de inactividad o reposo reproductivo se registra durante los primeros meses del año (enero - mayo) y hacia fines de año (noviembre y diciembre), reflejado en los bajos valores del IGS y PHA mostrados en la **Figura 10**. A través del tiempo, este proceso ha tendido a focalizar su máxi-

ma actividad hacia primavera, centrando el desove entre agosto - noviembre. Por lo tanto, la estacionalidad del proceso reproductivo de esta especie no es estático temporalmente con una fecha de inicio, desarrollo y final predeterminado.

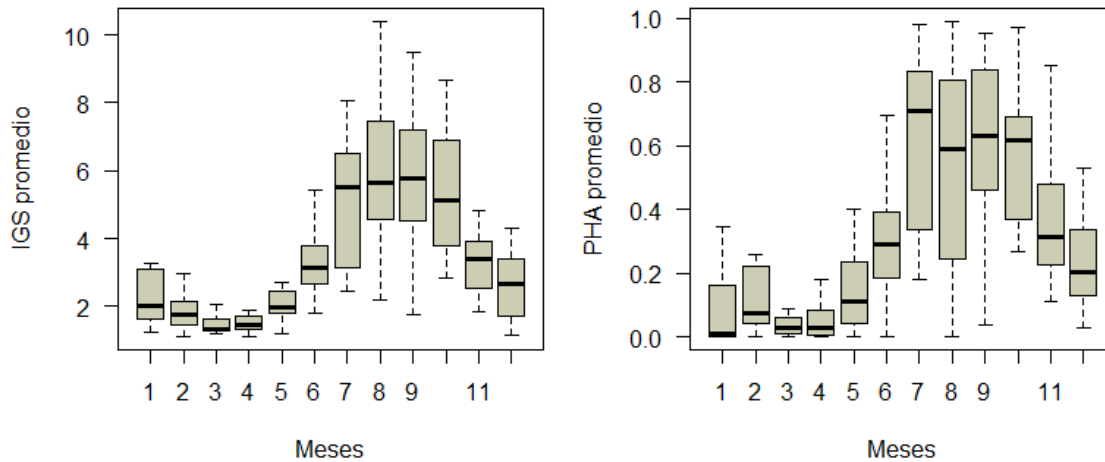


Figura 10. Variación promedio mensual del índice gonadosomático (IGS) y proporción de hembras activas (PHA) de las hembras de sardina común de la zona de San Antonio-Valdivia entre los años 2001 a 2016.

El proceso reproductivo ha sido de mayor extensión, magnitud y anticipación entre julio y principios de agosto durante los años 2011 y 2012 respecto del patrón histórico, explicando una mayor intensidad reproductiva. Sin embargo, el año 2013 a 2016 el adelantamiento se observa hacia fines del mes de junio. La fluctuación de IGS y PHA indica que la época de desove se extendió entre junio y noviembre de 2013 al 2015, concentrándose la máxima actividad reproductiva en julio y octubre. Los cambios en la duración de los períodos de desove podrían estar relacionados con la calidad y cantidad de los alimentos en el verano anterior, que a su vez determina la energía disponible para la reproducción, afectando la calidad de la descendencia (Claramunt *et al.* 2013, Castro *et al.* 2009, 2010). En estos recursos se debe considerar también que la estación reproductiva se encuentra fuertemente influenciada por la longitud de las hembras, así, cambios en la estructura de talla determinan potencialmente cambios intra e interanuales en la duración e intensidad del proceso de desove.

2.6. Evaluación de stock

La evaluación de stock desarrollada por IFOP se encuentra en general acorde con los estándares internacionales vigentes. A su vez, las pesquerías han sido clasificados en grupos de calidad o “*Tiers*” conforme el nivel de conocimiento, cantidad y calidad de la información disponible que aporta la evaluación de stock. Se ha tomado en consideración las recomendaciones emanadas tanto desde los Comités Científico Técnicos como de los lineamientos entregados por el equipo de expertos nacionales e internacionales en el marco del proyecto “Revisión de los puntos biológicos de referencia (Rendimiento Máximo Sostenido) en las pesquerías nacionales” (Payá *et al.* 2014). En el desarrollo de (los) método(s) y modelo(s) empleados se consideran elementos de incertidumbre estructural basados en el nivel de conocimiento y de la información o datos disponible, así como la incertidumbre de estimación generada de su aplicación al conjunto de datos disponibles. Independientemente del nivel del estándar, en base al permanente proceso de mejora se recomendará la realización de estudios, cruceros, investigaciones, monitoreo y otras acciones conducentes



a mejorar el estado de conocimiento del recurso en cuestión y la pesquería, con el fin de allanar las brechas de conocimiento e información conducentes a reducir los niveles de incertidumbre.

El stock de sardina común comenzó a ser evaluado con métodos estructurados por edad. La **Tabla 1** muestra las características que ha tenido la evolución en la modelación de dinámica poblacional en los últimos 18 años. En términos del lenguaje de programación, por más de 10 años, Excel y MATLAB fueron la plataforma en que se implementaron modelos de dinámica en edades en escala anual y semestral, con observaciones en tallas y edades. En el año 2010 se inició la migración de los modelos hacia el lenguaje ADMB (Fournier *et al.* 2012) con lo cual IFOP actualmente utiliza el mismo lenguaje que en la costa oeste de EE.UU, facilitando la revisión por pares desde esa región.

Tabla 1. Evolución de los modelos de evaluación empleados en sardina común centro-sur.

| Años | Modelo | Plataforma | Índices |
|-----------|---|------------|---------------------------|
| <2000 | Producción excedentaria | Excel | CPUE |
| 2000-2005 | Anual edad-estructurado (MAE) | MATLAB | CPUE RECLAS |
| 2005-2010 | Anual edad-estructurado (MAE), Anual talla-estructurado (MAT), Semestral talla-estructurado (MST) | MATLAB | CPUE RECLAS PELACES |
| 2010-2012 | Anual edad-estructurado (MAE) Semestral talla-estructurado (MST) | ADMB | RECLAS PELACES |
| 2012-2013 | Anual edad-estructurado (MAE) | ADMB | RECLAS PELACES MPH |
| 2014-2020 | Anual edad-estructurado (MAE) | ADMB | RECLAS PELACES |

En base al modelo conceptual de la dinámica del stock de sardina común se sustenta el enfoque y modelo de evaluación, que permite asesorar al Comité Científico Técnico de Pesquerías de Pequeños Pelágicos (CCT-PP) en los análisis de la productividad del stock y de sus posibilidades de explotación, considerando los parámetros e indicadores estimados por el modelo de evaluación de sardina común con su incertidumbre asociada.

2.7. Estatus

Considerando que la sardina común constituye una pesquería mixta con anchoveta y que ambas se encuentran en niveles de productividad muy disímiles, resulta complejo alcanzar el máximo rendimiento sostenido simultáneamente para cada una de las especies (**Figura 11**). A partir del año 2018 se observa una recuperación de anchoveta centro-sur desplazándose desde una condición de agotada/colapsada a una condición de plena explotación. Esta recuperación se debe al incremento en los niveles de biomasa en la UPCS, registrado tanto por los cruceros hidroacústicos como en la composición de edad y pesos medios de la flota. Mientras que los bajos niveles de reclutamiento registrados en sardina común durante dos años consecu-

tivos han generado una disminución de los niveles de biomasa desovante, registrándose una condición de sobreexplotación para el año 2021. No obstante, el reclutamiento estimado para el año 2021 de sardina común podría generar una recuperación de los niveles de biomasa desovante durante el 2021/22.

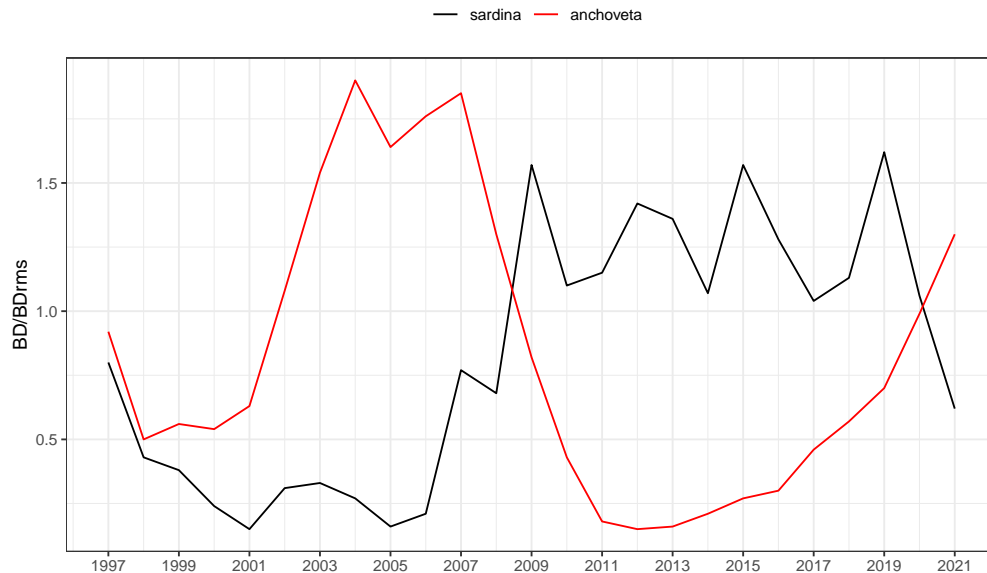


Figura 11. Razón BD/BD_{RMS} de sardina común y anchoveta de las regiones de Valparaíso a Los Lagos.

2.8. Captura Biológicamente Aceptable (CBA)

De acuerdo al ciclo de manejo histórico de esta pesquería, la recomendación de CBA comienza con el cálculo de la CBA inicial que permite al CCT-PP, establecer el estatus y recomendar el rango de CBA para el año siguiente. En enero de cada año, el crucero de evaluación hidroacústico permite estimar la abundancia y biomasa de reclutas (crucero de verano), esta información junto a datos provenientes de la pesquería (del año anterior) es utilizada para la primera revisión de la CBA. En marzo se inicia el período de extracción y en mayo se realiza el segundo crucero de evaluación acústica (crucero de otoño) para actualizar el estatus y revisar una vez más la CBA.

El año 2013 se realizó el establecimiento del nuevo Reglamento (D:S: N° 77, Mayo 2013) dispuesto en la Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA) que establece que las pesquerías deberán alcanzar o mantenerse en torno del Rendimiento Máximo Sostenido (RMS) considerando las características biológicas de los recursos explotados. La nueva LGPA establece que el Comité Científico Técnico será quien recomiende el marco biológico de referencia, estatus de conservación biológica y rango de captura biológicamente aceptable (CBA). Este hecho coincide con la fuerte caída en el desembarque (232 mil t), disminuyendo un 73% respecto al año 2012, producto de una falla del reclutamiento en el 2013.

En consecuencia, considerando la caída del reclutamiento 2013, el CTT-PP recomienda una CBA inicial 2014 de 373 mil toneladas. En marzo del 2014, se re-calculó la CBA con la información entregada por el crucero de evaluación hidroacústica de enero, que arrojó un incremento de la biomasa acústica, permitiendo aumentar la CBA a 572 mil toneladas (t) para el mismo año. Del desembarque total registrado el 2014 (543



mil t) un 77 % fue capturado entre los meses de enero y junio.

Para el año 2015 se recomendó una CBA inicial de 323 mil t, en marzo del 2015 se re-calculó con información del crucero de enero 2015 que arrojó una disminución en la presencia de reclutas por lo tanto la CBA se incrementa levemente a 356 mil t. En junio 2015 se re-calcula nuevamente con información del crucero de mayo 2015 que arrojó un aumento de la biomasa acústica permitiendo un incremento en la CBA 2015 a 478 mil t. Del desembarque total registrado el 2015 (435 mil t) un 65 % fue capturado entre los meses de enero-junio.

Debido a la alta incertidumbre en el nivel del reclutamiento 2016, la CBA inicial 2016 recomendada por el CCT-PP bajo un enfoque precautorio fue de 286 mil t, la que fue incrementada luego de la actualización con información del crucero de enero 2016 a 326 mil t. Sin embargo, los desembarques registrados para el año 2016 sólo alcanzaron las 280 mil toneladas, con un 52 % capturado entre los meses de enero-junio (**Tabla 2**). Esta disminución en las capturas se asocia a la presencia del evento “El Niño 2015-2016” que afectaría a la distribución relativa del stock. Aranís *et al.* (2016) señalaron que el recurso no estaría accesible a la flota artesanal de la Región del Biobío provocando una baja importante en las capturas y rendimientos de pesca. Continuando con el enfoque precautorio, la recomendación para la CBA inicial 2017 fue de 273 mil toneladas, la cual fue incrementada luego de la actualización con información del crucero de verano 2017 a 310 mil t y luego con información del crucero de otoño 2017 a 336 mil t. Para el año 2018, la CBA inicial recomendada incorpora un 4 % de descarte y, por lo tanto, queda establecida en 296 mil t. Luego de la primera actualización de marzo se incrementa la cuota a 321 mil t. Para el año 2019 la CBA inicial recomendada incorpora un 2 % de descarte, estableciéndose en 274 mil t, la primera actualización de marzo se incrementa la cuota a 335 mil t y en agosto se incrementa a 337 mil t. Durante el 2019 se capturó un 95 % de la CBA recomendada en agosto 2019.

Para el año 2020 la CBA inicial recomendada incorpora un 2 % de descarte, estableciéndose en 321 mil t, considerando por primera vez una probabilidad de sobrepasar el objetivo de manejo del 40 % (lo general era utilizar un 30 % de probabilidad). En la primera y segunda actualización de marzo y julio los resultados de la evaluación de stock arrojaron menores estimados de captura debido a la disminución de los reclutamientos de los últimos años y de las biomásas registradas por los cruceros acústicos. Desde un punto de vista práctico y administrativo es imposible disminuir la cuota asignada, aunque se cuente con información actualizada y estimados de estatus y CBA más confiables, esto debido a que por lo general a mitad de año gran parte de la cuota ha sido consumida. Ante esta situación el CCT-PP ha recomendado mantener una situación de “statu quo” cada vez que se ha presentado una disminución de la CBA en el segundo y/o tercer hito del ciclo de manejo. Durante el año 2020 se capturó un 80 % de la CBA recomendada, generando un remanente de 63 mil toneladas aproximadamente. Esta reducción en los niveles de captura al parecer tiene relación con la disminución de los niveles de biomasa de sardina común (condición de sobreexplotación año biológico 2020/21, causado por los bajos niveles de reclutamiento 2019 y 2020), como a la condición de pandemia que generó una disminución del esfuerzo pesquero en la zona centro-sur de Chile.

Debido a la alta incertidumbre en el nivel del reclutamiento 2021, dada la condición de sobreexplotación proyectada para el año 2020/21, la CBA inicial 2021 recomendada por el CCT-PP bajo un enfoque precautorio fue de 201 mil t, la cual fue incrementada luego de la actualización con información del crucero de enero 2021 a 251 mil toneladas (**Tabla 2**). El desembarque registrado por Sernapesca acumulado a junio 2021 es de 306 mil toneladas, es decir, 1,22 veces la CBA recomendada para el año calendario 2021.

Respecto los desembarques mensuales registrados por SERNAPESCA durante el primer semestre entre los años 2015 al 2020 se reportan capturas en torno a las 231 mil toneladas. No obstante, para el año 2021,



las capturas registradas durante el primer semestre se incrementaron un 32 % respecto al promedio (231 mil t en promedio) (**Tabla 3**). Este incremento en los desembarques registrados durante el primer semestre del año 2021 tiene relación con la autorización de capturar los remanentes no consumidos de la cuota anual del año 2020 (http://www.sernapesca.cl/sites/default/files/res.ex_.182-2021_0.pdf). De acuerdo a los datos publicados por SERNAPESCA correspondiente al control Cuota remanente de anchoveta y sardina común de la flota artesanal de la V-XIV Regiones (<http://www.sernapesca.cl/informacion-utilidad/consumo-de-cuotas>), la cuota remanente capturada durante el primer semestre del año 2021 de sardina común es de 30.600 t.

Tabla 2. Capturas Biológicamente Aceptables (CBA) recomendadas por el CCT-PP en las distintas etapas de establecimiento de CBA y estatus de sardina común y el Desembarque registrado.

| Año | CBA inicial (miles de t) | 1era revisión CBA (miles de t) | 2da revisión CBA (miles de t) | Desembarques (miles de t) |
|------|-----------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| 2014 | 373 | 572 | - | 543 |
| 2015 | 323 | 356 | 478 | 435 |
| 2016 | 286 | 326 | 326 | 280 |
| 2017 | 273 | 310 | 336 | 340 |
| 2018 | 296 | 321 | - | 341 |
| 2019 | 274 | 335 | 337 | 318 |
| 2020 | 321 | 321 | 321 | 258 |
| 2021 | 201 | 251 | - | 306* |

- *306 mil toneladas corresponde al desembarque acumulado a junio 2021

Tabla 3. Desembarques mensuales de sardina común registrados por SERNAPESCA entre los años 2015 al 2021.

| Meses | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Enero | 365 | 240 | 181 | 7 | 55 | 0 | 6 |
| Febrero | 16.832 | 29.430 | 20.588 | 15.699 | 13.245 | 5.302 | 4.024 |
| Marzo | 78.093 | 39.823 | 166.107 | 127.241 | 107.962 | 33.431 | 182.026 |
| Abril | 102.505 | 16.125 | 34.003 | 75.346 | 64.807 | 103.728 | 95.004 |
| Mayo | 71.075 | 26.582 | 30.823 | 31.767 | 32.028 | 37.170 | 20.422 |
| Junio | 12.835 | 33.496 | 12.988 | 22.893 | 14.904 | 8.620 | 4.924 |
| Julio | 12.885 | 20.550 | 12.875 | 1.280 | 6.807 | 4.272 | |
| Agosto | 4.570 | 75 | 89 | 48 | 6 | 12 | |
| Septiembre | 34 | 209 | 13 | 162 | 14 | 2 | |
| Octubre | 33.955 | 28.423 | 20.616 | 13.483 | 1.019 | 8.203 | |
| Noviembre | 79.477 | 59.980 | 28.541 | 46.060 | 47.575 | 30.345 | |
| Diciembre | 23.237 | 25.488 | 13.860 | 7.522 | 29.704 | 27.004 | |
| TOTAL | 435.863 | 280.421 | 340.684 | 341.508 | 318.126 | 258.089 | 306.406 |
| Total Semestre 1 | 281.705 | 145.696 | 264.690 | 272.953 | 233.001 | 188.251 | 306.406 |
| Total Semestre 2 | 154.158 | 134.725 | 75.994 | 68.555 | 85.125 | 69.838 | - |



3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

3.1. Objetivo específico 1:

“Implementar procedimientos de evaluación de stock basados en protocolos científicos para la determinación del estatus de sardina común, con arreglo al nivel de información, conocimiento e incertidumbre correspondiente, conforme a los estándares actuales en ciencia pesquera.”

3.1.1. Modelo Conceptual

La conceptualización del modelo biológico considera los siguientes componentes de la dinámica poblacional:

- Estructura geográfica: Se asume que la población de sardina común entre las Regiones de Valparaíso y Biobío constituye una unidad de stock. Se asume un stock homogéneo al interior de la unidad de pesquería, donde el conjunto de individuos está sujeto a la misma probabilidad de crecimiento y mortalidad, y donde la migración no es importante.
- Reproducción: Se asume que los individuos del stock tienen un evento reproductivo discreto, que se representa a comienzos de la estación reproductiva y que con propósitos prácticos ocurre en agosto.
- Reclutamiento: El reclutamiento ocurre a la forma de un pulso de abundancia en enero de cada año, 5 meses después del evento reproductivo.
- Tasa de mortalidad natural: La tasa de mortalidad natural se asume invariante y se considera $M=1,0$ por año para sardina común.
- Dinámica del crecimiento: El crecimiento intra-anual es recogido en dos matrices de pesos medios a la edad, las que corresponden respectivamente a las estimaciones a mitad de año (enero) luego de la asignación de la edad, y las estimaciones de pesos iniciales del año (julio).

El modelo de evaluación de stock de sardina común se basa en un análisis estadístico de la dinámica de estructuras de edad anual que incorpora información biológica y pesquera agregada en año biológico. La información que ingresa al modelo consiste en los desembarques totales obtenidos de los registros oficiales de SERNAPESCA los cuales son convertidos a temporada de pesca considerando la estacionalidad de la pesquería, los datos de composición de edad anual y pesos medios a la edad de la flota son proporcionados por el programa de monitoreo de las pesquerías de peces pelágicos, mientras que las evaluaciones hidroacústicas de verano y otoño proporcionan información de biomasa de reclutas en verano y biomasa vulnerable en otoño junto con sus respectivas composiciones de edad. 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) (**Figura 12**).

En la implementación del procedimiento de evaluación de stock se utilizan protocolos científicos basados en la determinación de un sistema de niveles o “tiers” que permiten clasificar la información disponible de las especies y su pesquería, los cuales se han convertido en una herramienta de uso común en la asesoría orientada al manejo pesquero en la actualidad. Para estimar el RMS se utiliza la estrategia de niveles y de acuerdo con la clasificación del estándar de información se definen los PBR o “proxy” que serán usados para determinar el estatus del recurso. La definición de los procedimientos de cálculo de los PBR y del marco de referencia especie específicos se basan en el estudio “Revisión de los puntos Biológicos de referencia (Rendimiento Máximo Sostenible) en las pesquerías nacionales” (Paya *et al.* 2014), en cuyo primer taller, se desarrolló en conjunto con expertos internacionales, un sistema de tres niveles para derivar al RMS

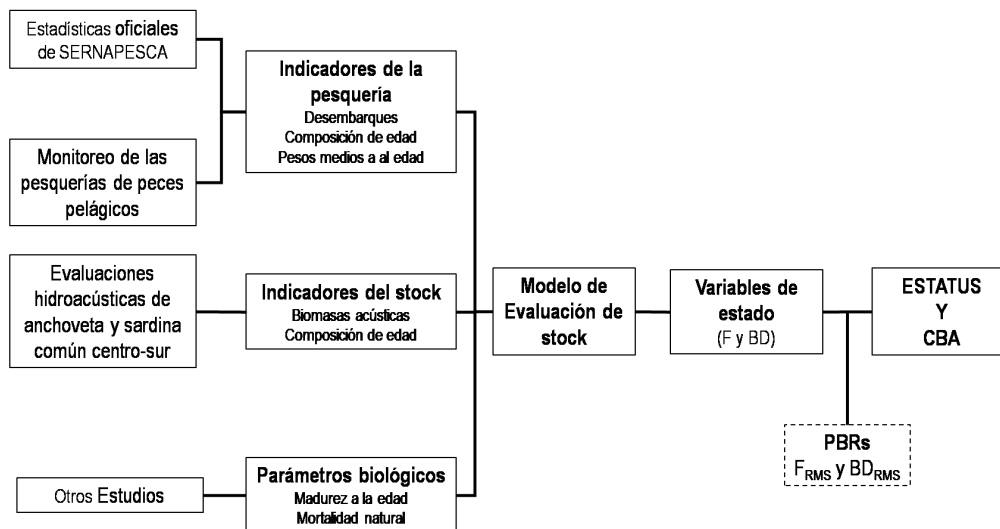


Figura 12. Procedimiento de evaluación de stock de sardina común centro-sur.

específico para las pesquerías en Chile (**Figura 13**). Además, para determinar el estatus de los recursos selectos, se considera lo establecido por el Comité Científico Técnico de Pelágicos Pequeños (CCT-PP) sobre los requerimientos técnicos que define los estándares de análisis y evaluación para las pesquerías analizadas, conforme a los niveles de conocimiento, información y calidad de los datos disponibles para esos fines.

Al respecto, las anchovetas y sardinas son especies con una mortalidad natural (M) alta (viven durante un período máximo de 4-5 años), crecen rápido y maduran tempranamente. El reclutamiento está altamente influenciado por el ambiente. El modelo de evaluación de stock tiene una frecuencia temporal anual. Tanto el modelo y los datos son estructurados a la edad. Se considera una flota comercial en el modelo de evaluación y el patrón de selectividad es asumido constante a través de los años. El modelo de evaluación de stock no incluye una relación S-R, sino reclutamientos aleatorios. Estos antecedentes permiten clasificar a anchoveta y sardina común centro-sur en el Tier 1b.

3.1.2. Datos de entrada al modelo de evaluación de stock

A continuación, se detalla y fundamenta el conjunto de datos a emplear para la estimación de los índices de abundancia, así como su forma de utilización (ejemplo, indicadores absolutos o relativos). Además, se informa la incertidumbre asociada a los indicadores de abundancia propuestos para utilizar en la evaluación de sardina común.

Desembarques:

Corresponde a la extracción registrada en puerto, independiente de la zona de procedencia. Tiene valor en definir la importancia relativa de los distintos puertos de descarga, por lo tanto, es de mayor interés administrativo y/o comercial de la actividad. Su propósito es cuantificar los volúmenes, totales y por especie, que efectivamente se reciben en la descarga o desembarque. Las estadísticas oficiales de los desembarques son sistematizadas por el Servicio Nacional de Pesca, sobre una base mensual, por tipo de flota, puerto de desembarque y especie objetivo. Cabe señalar que en la pesquería pelágica el concepto de captura es igual al del desembarque más descarte. Para efecto de la evaluación se utiliza la totalidad del desembarque

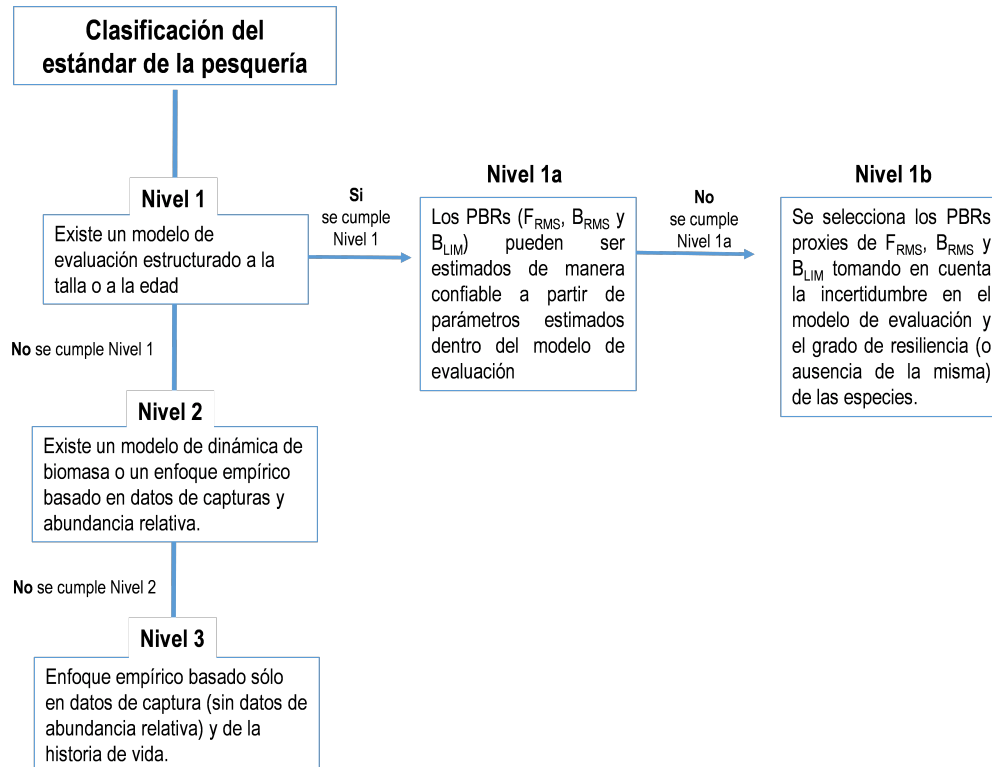


Figura 13. Sistema de niveles para la determinación de los PBRs de acuerdo a la cantidad, tipo y la calidad de la información disponible y métodos de evaluación de stock empleados en cada pesquería.

por especie que ocurre en la unidad de pesquería, comenzando la serie desde el año 1990 hasta 2021. La evaluación de stock es realizada en base al año biológico (de julio a junio de cada año), y la serie de desembarques anuales es convertida a temporada de pesca considerando la estacionalidad de la pesquería y la serie oficial de desembarques anuales antes descrita.

Sobre-reportes:

Existen algunos antecedentes que señalan que los desembarques del primer semestre de los años 1999 y 2000 resultan ser muy altos para lo que en ese entonces se supone era la población de anchoveta y sardina común. Arcos *et al.* (2004) postularon que las condiciones ambientales pre El Niño y El Niño produjeron una alteración en la distribución espacial de jurel, atrapando a los juveniles de la especie en la zona centro-sur, generando la distorsión de los desembarques en los pequeños pelágicos, impulsada por evadir multas y declarar menos jurel (Aranís, 2011). Basados en estos antecedentes, las series de desembarques anuales oficiales fueron corregidos por investigadores de IFOP. Se realizó un análisis preliminar utilizando la base de información de “Muestreo de Proporción de especies” de IFOP, para comparar los datos de composición de especies desembarcadas, la cual consiste en la selección de una muestra de la captura de un contenedor (caja o balde), llenado en distintos momentos del proceso de vaciado de la captura y luego se pesa y cuenta la fauna diferenciada por especie. Posteriormente, se determina la “intencionalidad” del viaje de pesca, basada en las proporciones de captura, tomando el criterio de especie objetivo a la que representa más del 50 % en peso de la muestra de proporción. En el caso de existir más de dos especies, se considera como objetivo la de mayor contribución, siendo clasificadas las restantes como fauna acompañante. Final-



mente, se obtiene la composición original para jurel, sardina y anchoveta registrada de los desembarques, contrastado con las proporciones re-estimadas obtenidas de los muestreos pelágicos que se practicaron en ese período (1998-2001).

Sub-reportes:

El año 2016 la Pontificia Universidad Católica de Chile desarrolló un proyecto orientado a la corrección de las capturas totales históricas de la pesquería de sardina común y anchoveta V-X Regiones (Proyecto CUI 2015-72-DAP-27) y recientemente IFOP realizó un estudio de remociones totales en la flota artesanal que opera con red de cerco entre la Región de Valparaíso y la Región de los Ríos orientando sus capturas a pequeños pelágicos (Vega *et al.* 2018). Para propósitos de la evaluación de stock, esta información será analizada en el transcurso de este proyecto, con el objeto de definir la metodología a utilizar para la corrección de las capturas y de este modo disminuir la incertidumbre respecto al nivel real de captura de estos recursos. Al respecto, actualmente se están desarrollando reuniones de trabajo colaborativas entre los equipos técnicos de seguimiento y evaluación de stock de IFOP, INPESCA y SUBPESCA, para trabajar en una propuesta de desembarques corregidos para anchoveta y sardina común de la zona centro-sur. Adicionalmente, en **ANEXO I** de este informe se presenta el Programa de mejoramiento continuo que incluirá en las próximas asesorías un análisis de sensibilidad utilizando la serie de captura corregida del Wiff *et al* (2017), como análisis preliminar para evaluar el efecto en las tendencias y magnitudes poblacionales de anchoveta.

Descarte:

La pesquería de sardina común y anchoveta en la UPCS, se considera de carácter mixta, es efectuada mayoritariamente con cerco y destinada principalmente a la reducción. Por lo tanto, tendrían bajas tasas de descarte. Sin embargo, en este caso, junto con el dispar estado de explotación de cada recurso y con el establecimiento de cuotas significativamente diferentes, puede constituir un fuerte incentivo en los usuarios para descartar el recurso limitante y así poder completar la cuota de captura asignada al recurso principal. Para abordar esta problemática, a partir del 2014 se desarrolló el Programa de Observadores Científicos que estudió el descarte y captura incidental de aves, mamíferos y tortugas marinas. Dicho programa se desarrolló en las flotas cerqueras artesanales e industrial de peces pelágicos de sardina común (*Strangomera bentincki*), anchoveta (*Engraulis ringens*) y jurel (*Trachurus murphyi*) en la UPCS y norte de Chile (Arica y Parinacota a Iquique). El levantamiento de información base para los análisis provino de la observación directa realizada a bordo por observadores científicos, en complemento con información entregada por los capitanes y patrones de pesca a través de una bitácora de autorreporte. En las bitácoras los capitanes registran la información de capturas totales por lance, el descarte, la pesca incidental y las causas del descarte.

A partir de esta información, Vega *et al.* (2017, 2018, 2019 y 2020) realizaron la estimación de captura total, estimación de descarte, proporción de captura retenida y descartada, determinación de causas de descarte, características biológicas de las especies objetivo y fauna acompañante, junto a información de captura de pesca incidental y mortalidad de aves, mamíferos y tortugas marinas en las flotas cerqueras artesanales e industriales en las diferentes zonas de operación. La estimación de capturas a bordo de embarcaciones cerqueras artesanales e industriales, se realizó mediante la estimación del patrón o capitán de pesca, a través de la lectura de equipos de detección, en conjunto con una estimación visual en el fin del virado de la operación de pesca, permitiendo la estimación del descarte, pues se realiza con la captura en el agua.



El Artículo 7°B ¹ de la actual Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA, N° 18.892) indica que no podrá realizarse el descarte de individuos de una especie objetivo, cualquiera sea su régimen de acceso, y su fauna acompañante, salvo que i) se haya fijado una cuota global anual de captura para la especie objetivo y, ii) en el proceso de establecimiento de la cuota global anual de captura se haya considerado el descarte.

En este sentido, Zúñiga *et al* (2018b) exponen algunos escenarios posibles para incorporar el descarte en el modelo de evaluación de stock, que potencialmente representan fuentes de mortalidad por pesca a la fecha no documentada. Estos escenarios fueron revisados por el CCT-PP en la sesión de octubre 2017 (Acta 06/2017 ²) donde fue seleccionado el escenario que considera un 4 % de descarte para el período 2000/01 - 2015/16, un 2 % de descarte para los años siguientes.

En este informe se actualiza el descarte correspondiente a los años biológicos 2016/2017, 2017/18, 2018/19 y 2019/20, considerando que el modelo de evaluación de stock de sardina común de la zona centro-sur utiliza información en año biológico (Zúñiga *et al.* 2020 y 2021), por lo tanto, se requieren datos de descarte semestrales para la flota total para ser utilizados en la corrección del desembarque en año biológico (**Tabla 4**). Para los años en que no se cuente con información se utilizará un supuesto que fue acordado en la primera sesión del CCT-PP (Acta No1 2021, https://www.subpesca.cl/portal/616/articles-110238_documento.pdf) en 4 % para sardina común. Estos porcentajes serán utilizados para corregir el desembarque cuando no se tenga información del descarte y para asumir un porcentaje de descarte proyectado para incorporar en la proyección de la CBA (**Tabla 5**). Los supuestos utilizados para anchoveta se describen a continuación:

Supuestos para asesoría de marzo y julio 2021 (2do y 3er Hito CBA 2021):

- El supuesto 1 de descarte propuesto para la corrección del desembarque 2020/21 para flota total y zona total se obtiene del promedio de los años biológicos 2017/18 - 2019/20 (**Tabla 6**).
- El supuesto 2 de descarte propuesto para la proyección de la CBA 2021/2022 para la flota total y zona total se obtiene del promedio de los años biológicos 2017/18 - 2019/20 (**Tabla 6**).

¹<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=13315>

²http://www.subpesca.cl/portal/616/articles-98715_documento.pdf



Tabla 4. Estimaciones de captura total (CT), retenida (CR) y descartada (CD) con sus respectivos coeficientes de variación (CV_{CT} , CV_{CR} , CV_{CD}), porcentaje de descarte, tamaños de muestra de los viajes muestreados y totales y porcentaje de cobertura para los años 2017 al 2019 por semestre y flota para la pesquería de **Sardina común de la zona centro-sur**.

| Año | Semestre | Flota | Zona | Captura total (t) | CV_{CT} % | Captura retenida (t) | CV_{CR} % | Captura descartada (t) | CV_{CD} % | % descarte | n_h viajes muestreados | N_h viajes totales | % cobertura |
|------------|-----------------------|------------|-----------------------|-------------------------|-------------|----------------------------|-------------|------------------------------|-------------|---------------|--------------------------------|----------------------------|----------------|
| 2017 | 1 | Artesanal | Valparaíso | 2.809 | 37,7 | 2.771 | 38,0 | 38 | 94,0 | 1,3 | 13 | 203 | 6,4 |
| | | | Biobío | 213.019 | 7,6 | 211.034 | 7,6 | 1.985 | 77,2 | 0,9 | 47 | 3.970 | 1,2 |
| | | Industrial | Los Ríos | | | | | | | | 7 | 746 | 0,9 |
| | Valparaíso - Los Ríos | | | | | | | | | 5 | 35 | 14,3 | |
| | 2 | Artesanal | Valparaíso | | | | | | | 3 | 20 | 15,0 | |
| | | | Biobío | 49.207 | 22,2 | 44.759 | 25,5 | 4.449 | 92,7 | 9 | 11 | 1.305 | 0,8 |
| Los Ríos | | 23.968 | 13,6 | 23.219 | 13,1 | 749 | 39,8 | 3,1 | 16 | 437 | 3,7 | | |
| Industrial | Valparaíso - Los Ríos | | | | | | | | 6 | 30 | 20,0 | | |
| 2018 | 1 | Artesanal | Valparaíso | | | | | | | | 4 | 129 | 3,1 |
| | | | Biobío | 230.138 | 11,1 | 212.585 | 11,3 | 17.554 | 56,0 | 7,6 | 40 | 3.396 | 1,2 |
| | | Los Ríos | 15.992 | 19,8 | 15.443 | 19,7 | 550 | 38,7 | 3,4 | 11 | 468 | 2,4 | |
| | 2 | Industrial | Valparaíso - Los Ríos | | | | | | | | 2 | 20 | 10,0 |
| | | | Valparaíso | | | | | | | | 0 | 87 | 0,0 |
| | | Artesanal | Biobío | 35.719 | 17,3 | 33.151 | 15,8 | 2.569 | 88,7 | 7,2 | 26 | 639 | 4,1 |
| Los Ríos | 10.607 | 11,9 | 10.340 | 11,9 | 267 | 96,2 | 2,5 | 14 | 187 | 7,5 | | | |
| Industrial | Valparaíso - Los Ríos | | | | | | | | 0 | 4 | 0 | | |
| 2019 | 1 | Artesanal | Valparaíso | | | | | | | | 0 | 277 | 0,0 |
| | | | Biobío | 101.285 | 18,0 | 96.739 | 19,0 | 4.546 | 79,1 | 4,5 | 34 | 3.864 | 0,9 |
| | | Los Ríos | 42.344 | 9,1 | 35.422 | 6,6 | 6.922 | 34,1 | 16,3 | 24 | 558 | 4,3 | |
| | 2 | Industrial | Valparaíso - Los Ríos | | | | | | | | 0 | 47 | 0,0 |
| | | | Valparaíso | | | | | | | | 24 | 1.542 | 1,6 |
| | | Artesanal | Biobío | 25.721 | 23,6 | 25.539 | 23,9 | 183 | 67,9 | 0,7 | 24 | 183 | 8,7 |
| Los Ríos | 10.156 | 13,7 | 9.619 | 12,7 | 537 | 68,0 | 5,3 | 16 | 10 | | | | |
| Industrial | Valparaíso - Los Ríos | | | | | | | | | | | | |
| 2020 | 1 | Artesanal | Valparaíso | | | | | | | | 4 | 30 | 13,3 |
| | | | Biobío | | | | | | | | 0 | 3.968 | |
| | | Los Ríos | | | | | | | | 8 | 562 | 1,4 | |
| | 2 | Industrial | Valparaíso - Los Ríos | | | | | | | | 0 | 2 | 0 |
| | | | Valparaíso | | | | | | | | | | |
| | | Artesanal | Biobío | | | | | | | | | | |
| Los Ríos | | | | | | | | | | | | | |
| Industrial | Valparaíso - Los Ríos | | | | | | | | | | | | |

Tabla 5. Captura total (CT) y descartada (CD) semestral para la zona centro-sur utilizados para obtener el descarte en año biológico (2017/18, 2018/19 y 2019/20). Se considera la sumatoria de las capturas total y descartada de las tres zonas analizadas. Para los años/semestres con asteriscos (*) se realizaron consideraciones particulares que se explican bajo la tabla. **Sardina común centro-sur**.

| Año biológico | Año/Semestre | Captura total (t) | Captura descartada (t) | % descarte |
|---------------|------------------|-------------------|------------------------|------------|
| | 2017,0 | 215.828 | 2.023 | 1 % |
| 2017/2018 | 2017,5* | 73.176 | 5.198 | 7 % |
| | 2018,0 | 246.131 | 18.103 | 7 % |
| 2018/2019 | 2018,5 | 46.326 | 2.835 | 6 % |
| | 2019,0** | 101.285 | 4.546 | 4 % |
| 2019/2020 | 2019,5 | 35.877 | 719 | 2 % |
| | 2020,0*** | 187.748 | 8.224 | 4 % |
| | 2020,5 | | | |

- **2017,5*** = Se utiliza el promedio de la captura total y descartada del segundo semestre 2018 y 2019. El % descarte del segundo semestre 2017 para Región del Biobío no fue considerado por el bajo porcentaje de cobertura (1 %), lo cual genera una sobreestimación del descarte.
- **2019,0**** = Se utiliza sólo captura total y descartada de la Región del Biobío. Alta incertidumbre en la estimación del descarte de



la Región de Los Ríos producto del cierre de plantas. Se considera una condición atípica que puede generar sobreestimación del descarte.

- **2020,0***** = No hay información de descarte por bajos tamaños de muestra por efecto de la pandemia. Se utiliza el promedio de la captura total y descartada del primer semestre 2018 y 2019. El bajo porcentaje de cobertura de muestreo no permite estimar el descarte.

Tabla 6. Porcentajes de descarte estimados para corregir la serie de desembarques de los años biológicos 2017/18, 2018/19 y 2019/20. Supuestos transitorios del porcentaje de descarte utilizado en la corrección del desembarque del último año y proyección de la CBA de **Sardina común centro-sur**.

| Criterio | Año biológico | Captura total (t) | Captura descartada (t) | % descarte |
|---|---------------|-------------------|------------------------|------------|
| Corrección de los desembarques en año biológico | 2017/2018 | 319.306 | 23.301 | 7 % |
| | 2018/2019 | 147.610 | 7.381 | 5 % |
| | 2019/2020 | 223.625 | 8.943 | 4 % |
| Supuestos | | | | |
| 1. Corrección del desembarque | 2020/2021 | Juicio experto | Juicio experto | 4 % |
| 2. Proyección de la CBA | 2021/2022 | Juicio experto | Juicio experto | 4 % |

Seguimiento de la pesquería:

El monitoreo de la pesquería de sardina común entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos es realizado por el Proyecto de Investigación Situación Pesquerías de Peces Pelágicos, que forma parte del Programa de Seguimiento de las Principales Pesquerías Nacionales y es encargado por la Subsecretaría de Pesca a IFOP. Este proyecto permite obtener indicadores como las estructuras de edad/talla y peso medio a la edad, entre otros:

Composición por edad/talla:

Denominada también como estructura de edad, corresponde a la expansión de la captura mediante la clave edad-talla determinada. Así esta composición corresponde a la matriz que representa la distribución de los ejemplares que están presentes en la captura, por grupo de edad y por estrato de tamaño, a través de un diseño de muestreo de otolitos estratificado por clase de tallas. A pesar de que se dispone de una composición por zona, trimestre y flota, para efecto de la evaluación se considera la estimación global para la unidad de pesquería y agregadas entre flotas, estando disponible una serie construida desde el año 1990 hasta junio 2021. Esta información es empleada en el proceso de evaluación de stock a objeto de evaluar los supuestos de la mortalidad por pesca diferenciada por grupos de edad, además de entregar señales de la fuerza de las clases anuales que han atravesado por la pesquería.

La estructura de tallas del desembarque o captura corresponde al número de ejemplares, por rango de talla, capturados por la flota. En términos generales, el diseño de muestreo asociado a la estructura de tallas del desembarque corresponde a un diseño en dos etapas, donde la primera son los viajes y la segunda los ejemplares. También y con menos frecuencia, se lleva a cabo un muestreo en tres etapas, es decir, un muestreo dentro de un viaje, lance y ejemplares. El indicador se obtiene por estratos de zona y mes inicialmente, a través de la ponderación de la estructura de talla con la captura diaria o temporal evaluada de las embarcaciones.

**Pesos a la edad:**

El crecimiento intra-anual de la sardina común es recogido en dos matrices de pesos medios a la edad, las que corresponden respectivamente a las estimaciones a mitad de año (enero) luego de la asignación de la edad, y las estimaciones de pesos iniciales del año (julio) calculadas en base a una media geométrica de la estimación actual y la del año anterior rezagado en un año de edad. El peso medio ($w_{(a,t)}^{med}$) es empleado para generar las estimaciones de desembarques y la biomasa del crucero de verano, mientras el peso inicial ($w_{(a,t)}^{ini}$) es utilizado en las estimaciones de biomasa total, desovante y biomasa del crucero de otoño. Dada la importancia de esta matriz de pesos medios para la definición del estatus de sardina común se realiza una revisión y corrección del método de estimación el cual es presentado como una mejora al caso base de la actual evaluación que consiste en los siguientes pasos.

Paso 1: Cálculo de pesos iniciales para el grupo de edad 0

$$w_{(0,t)}^{ini} = \exp(\ln(w_{(a,t)}^{med}) - 0.5 * (\ln(w_{(a+1,t+1)}^{med}) - \ln(w_{(a,t)}^{med})))$$

Paso 2: Cálculo de pesos iniciales para grupos de edad 1 a 4

$$w_{(a,t)}^{ini} = w_{(a-1,t-1)}^{med} * w_{(a,t)}^{med}$$

Cruceros de evaluación hidroacústica:

La historia de las evaluaciones hidroacústicas comenzó en la primavera de 1995, estableciéndose un programa sistemático desde 1999 realizándose cruceros de evaluación centrados en el periodo estival donde se maximiza la presencia de juveniles. A partir del 2003 se replicó la prospección en otoño para incrementar la certeza de la estimación haciendo un seguimiento de la evolución del proceso, estudiándose además, las asociaciones con las condiciones hidrográficas predominantes. De este modo, ha sido posible establecer una estacionalidad en la composición específica de las biomásas de estas dos especies, donde en verano la sardina domina respecto a la anchoveta, mientras que en el otoño se presenta un incremento relativo de la anchoveta y una reducción en la sardina junto a cambios en su distribución geográfica (Castillo *et al.* 2013).

En este contexto, el presente proyecto considera los resultados de dos cruceros de prospección, el primero a realizar en el verano (2000 - 2020), centrado en el máximo del reclutamiento (enero) y el segundo en otoño (2003-2020), a fin de hacer un seguimiento del evento de verano o capturar un eventual segundo pulso en el otoño (mayo), especialmente en anchoveta. La zona de evaluación hidroacústica corresponde a la delimitada entre los 33°50'S y 41°30'S en la cual se desarrolla la mayor parte de la pesquería. En el área de estudio se realizan transectas diurnas y replicas nocturnas y además, se realizan lances de pesca de media agua y de cerco. La estimación de la abundancia por estructura de talla se realiza en función de subzonas, las cuales son agrupadas de acuerdo a la similitud en las estructuras de tallas observadas. Para cada subzona, se agrupan los lances de pesca determinándose una estructura de tallas común. Se obtiene el aporte en talla y correspondiente peso, derivándose el TS y coeficiente de integración.

La estimación de la abundancia y biomasa de sardina común por subzona queda determinada por el área prospectada en cada subzona, el coeficiente de eointegración a la talla y estimador de razón a la talla. Este último se estima por tres métodos: Hansen & Wolter, Bootstrap, y Variables Regionalizadas. Para transformar la abundancia en biomasa se utilizan los pesos medios a la talla obtenidos de la relación longitud-peso. Las biomásas estimadas a través de los cruceros hidroacústicos son empleadas en el proceso de evaluación de stock como índices de abundancia poblacional (proporcionales a la biomasa) de verano y otoño, respectivamente. La biomasa estimada por el modelo corresponde a aquella fracción de la población sujeta



a la selectividad de los cruceros que son asumidos distintos entre verano y otoño, pero constantes en el tiempo.

La Composición de edad/talla del crucero, denominada también como estructura de edad, corresponde a la expansión de la abundancia mediante la clave edad-talla determinada. A partir de la abundancia en número estimada para cada talla en la evaluación hidroacústica, se expande la abundancia por grupos de edad, haciendo uso de la clave talla edad la cual obedece a la totalidad del área de estudio. La suma de la abundancia por subzona por intervalo de talla, permite construir la estimación total de abundancia para la zona de estudio. La estimación de esta clave talla-edad obedece a un diseño de muestreo estratificado por clase de tallas, dentro de las cuales es estimada una estructura de edad por talla. La abundancia en número por grupo de edad se construye a partir de la clave talla-edad anterior y la abundancia estimada por intervalo de talla. Se obtienen entonces matrices completas las que presentan explícitamente toda la estructura interna de la abundancia en número de individuos por clase de longitud y para cada grupo de edad.

A partir de mayo de 2003, se han realizado evaluaciones acústicas de ambos recursos a través de cruceros de otoño (PELACES). La estimación de abundancia y biomasa por grupo de talla es similar al procedimiento del crucero de verano. Sin embargo, algunos años de las evaluaciones acústicas de otoño, no son muy consistentes en términos del área cubierta y periodo del año en que se realizaban (mayo de 2003, marzo-abril, mayo-junio de 2005 y mayo-junio de 2015), por lo tanto, los cambios en abundancia de estos años podrían estar influenciadas por la disponibilidad del recurso más que por cambios reales en abundancia. En efecto, la época del año en que se realiza la prospección difiere entre años, con desfase de un mes. Asimismo, las áreas prospectadas son diferentes al crucero de verano, y el arte de pesca empleado en los lances también difiere, siendo en este periodo solo captura de cerco. Finalmente, no se dispone de lectura de edades para el periodo 2003 - 2006. De este modo, se realizó la eliminación de los datos de biomasa acústicas del crucero de otoño correspondientes a los años 2003, 2005 y 2015, además de la estructura de edad del año 2015 por las razones antes expuestas para el modelo base actual.

Parámetros de historia de vida:

Para la implementación del procedimiento de evaluación se recoge el conocimiento de estudios científicos y técnicos que reportan información asociada a los parámetros del ciclo vital de la especie, como la mortalidad natural, el crecimiento y madurez, entre otros. De esta forma, el proyecto tiene un rol de integración del conocimiento y utiliza los productos de todos los programas y proyectos de investigación para modelar la dinámica del recurso.

3.1.3. Evaluación de stock

Descripción del modelo base:

El modelo de evaluación de stock de sardina común se basa en el análisis estadístico de la dinámica de estructuras de edad anual y pesos medios a la edad estimados del muestreo de tallas de los desembarques (período 1990 - junio 2021) y de los cruceros acústicos de verano (RECLAS, desde 2001 - 2021) y otoño (PELACES, período desde 2007 hasta 2021), de los índices de biomasa de los cruceros acústicos (biomasa de reclutas en verano, período desde 2000 hasta 2021 y biomasa vulnerable en otoño, desde 2003 al 2021 y los desembarques totales (período 1990 - junio 2021), estos últimos convertidos a temporada de pesca considerando la estacionalidad de la pesquería. Las fuentes de información utilizados en la evaluación de



sardina común se resumen en la **Tabla 7**. Adicionalmente, en la **Sección 3.3.1**. de este informe se detallan los datos y supuestos utilizados en las distintas etapas de estimación de la CBA 2022.

La población de sardina común centro-sur constituye una unidad de stock en la cual las variaciones se explican por capturas, reclutamientos, mortalidad natural y por pesca, la información es agregada en año biológico de manera que los cruceros de verano (enero) representan la situación de la población a mitad del año y los de otoño, a la biomasa poco antes del término del período anual (mayo). Por otra parte, el peso a mitad del año biológico (peso medio) es empleado para generar las estimaciones tanto del crucero de verano como de los desembarques, mientras que el peso calculado a inicios del año biológico (inicios de julio) representaría el peso de la biomasa desovante que ocurre en agosto y los cruceros de otoño que ocurren en mayo (**Tabla 8**). En la actualidad el método ha sido empleado bajo un enfoque en edades agrupado en año biológico y que incorpora los siguientes elementos:

- Modelo de dinámica poblacional estructurada por edad (**Tabla 9**),
- Modelos de las observaciones y penalizaciones a priori que permiten relacionar el modelo de dinámica con las observaciones (**Tabla 10**),
- Identificación de la estructura del error a través de funciones de log-verosimilitud negativas (**Tabla 11**) y
- Proceso de estimación de los parámetros desconocidos del modelo de dinámica a través de un algoritmo que minimiza la función objetivo total, contrastando las observaciones con las estimaciones deducidas del modelo de dinámica (**Tabla 12**).

Tabla 7. Resumen de los datos e información de entrada al modelo de evaluación de stock de sardina común.

| Datos de entrada | Período | Fuente de la información |
|----------------------------------|---|---|
| Desembarques totales anuales | Desde julio 1990- junio 1991 hasta el año biológico julio 2019- junio 2021 | Estadísticas oficiales de desembarques, sistematizadas por el Servicio Nacional de Pesca. |
| Composición de talla/edad | | |
| 1. Flota | Desde julio 1990- junio 1991 hasta el año biológico julio 2020 - junio 2021 | Monitoreo de la pesquería, de sardina común de la V-X Regiones realizado por el Proyecto Investigación Situación Pesquerías de Peces Pelágicos |
| 2. Cruceros de verano | Desde enero 2001 hasta enero 2021 | Evaluaciones hidroacústicas de los stocks |
| 3. Cruceros de otoño | Desde mayo 2007 hasta junio 2021 | |
| Biomasa acústica | | de anchoveta y sardina común entre |
| 1. Cruceros de verano | Desde enero del 2001 hasta enero del 2021 | la V y X regiones. |
| 2. Cruceros de otoño | 2003,2005-2007,2009-2021 | |
| Pesos medios a la edad | Desde julio 1990- junio 1991 hasta el año biológico julio 2020 - junio 2021 | Monitoreo de la pesquería, de sardina común de la V-X Regiones realizado por el Proyecto Investigación Situación Pesquerías de Peces Pelágicos |
| Madurez sexual a la edad | Constante | Aranís <i>et al.</i> (2005) |
| Mortalidad natural | Constante | Cubillos <i>et al.</i> (1998) |



Tabla 8. Resumen de los principales supuestos del modelo de evaluación anual con información a la edad (MAE) asociados a los datos observados.

| Datos observados | Símbolo | Supuestos |
|--|-------------------|--|
| Desembarque total anual | Y_t | Representa a la captura total del período anual julio-junio (año biológico). Se considera continua al interior del año biológico. Desviación estándar supuesto como parte del error de observación $\sigma_f = 0,01$ |
| Biomasa total del crucero de verano (RECLAS) | B_t^{cv} | Representa a la biomasa que ocurre a mitad del año biológico, ($dt^{cv} = 0,5$ del año). Desviación estándar supuesto como parte del error de observación $\sigma_{cv} = 0,3$. |
| Biomasa total del crucero de otoño (PELACES) | B_t^{co} | Representa a la biomasa poco antes del término del período anual, (mayo), ($dt^{co} = 0,83$ del año). Desviación estándar supuesto como parte del error de observación $\sigma_{co} = 0,3$. |
| Proporción de la abundancia a la edad de la flota | $p_{(a,t)}^f$ | Representa la distribución de los ejemplares que están presentes en la captura total por grupo de edad. Tamaño de muestra efectivo supuesto como parte del error de observación $n^f = 8,19$. |
| Proporción de la abundancia a la edad del Crucero verano | $p_{(a,t)}^{cv}$ | Representa la distribución de los ejemplares que están presentes en la captura del crucero de verano (enero) por grupo de edad. Tamaño de muestra efectivo supuesto como parte del error de observación $n^{cv} = 8,8$. |
| Proporción de la abundancia a la edad del Crucero otoño | $p_{(a,t)}^{co}$ | Representa la distribución de los ejemplares que están presentes en la captura del crucero de otoño (mayo) por grupo de edad. Tamaño de muestra efectivo supuesto como parte del error de observación $n^{co} = 8,5$. |
| Peso medio anual | $w_{(a,t)}^{med}$ | Es el peso medio empleado para generar estimaciones de biomasa acústica de verano y desembarques. |
| Peso medio a inicios del año | $w_{(a,t)}^{ini}$ | Representa al Peso a inicios del año biológico (julio) Empleado para generar estimaciones de biomasa total, biomasa acústica de otoño y biomasa desovante. |



Tabla 9. Dinámica básica del Modelo Anual con información en Edades (MAE).

| Variable | Ecuación | Descripción |
|-----------------------------|--|--|
| Reclutamiento anual | $N_{(a=0,t)} = R_0 e^{(\varepsilon_t + 0,5\sigma_R^2)}$ | El reclutamiento se asume a inicios de enero de cada año. |
| Población inicial | $N_{(a=0,t=1)} = R_0 e^{(-aM)}$ $N_{(a>0,t=1)} = N_{(0,a>0)} e^{(\varepsilon_{(a>0)} + 0,5\sigma_R^2)}$ | $\varepsilon \sim N(0, \sigma_R^2)$ $\ln R_0 \sim U[a, b]$ |
| Abundancia Sobrevivencia | $N_{(a,t)} = N_{(a-1,t-1)}$ $S_{(a-1,t-1)} S_{(a,t)} = \exp(-Z_{(a,t)})$ | a es la edad y t es el año $a = [0, 1, 2, 3, 4]$ |
| Mortalidad total | $Z_{(a,t)} = M + F_t s_a^f$ | F_t es el efecto anual de la mortalidad por pesca. F_t tiene variaciones estocásticas entre años y edades, pero estas quedan representadas por el patrón de selectividad edad-específica s_a^f invariable entre años y la mortalidad por pesca anual F_t . La mortalidad natural es constante entre años y edades. |
| Selectividad de la flota | $s_a^f = (1 + \exp[-\ln 19 \frac{(a - A_{(50)}^f)}{\Delta^f}])^{-1}$ | $A_{(50)}^f$ edad al 50 % de la flota Δ^f rango entre la edad al 95 % y 50 % |
| Biomasa total | $B_t = \sum_a N_{(a,t)} w_{(a,t)}^{ini}$ | $w_{(a,t)}^{ini}$ es el peso medio a la edad (a) y a inicios del año (t). |
| Biomasa desovante | $BD_t = \sum_a N_{(a,t)} e^{(-dt Z_{(a,t)})} w_{(a,t)}^{ini} O_a$ | dt es la fracción del año en la cual ocurre el desove ($dt = 0, 16$). $w_{(a,t)}^{ini}$ es el peso medio a la edad a y a inicios del año t . O_a es la ojiva de madurez sexual a la edad |



Tabla 10. Modelo de las observaciones del Modelo Anual con información en Edades (MAE).

| Variable | Ecuación | Descripción |
|--|---|--|
| Captura estimada en número a la edad | $\hat{C}_{a,t} = \frac{F_{a,t}}{Z_{a,t}} N_{a,t} (1 - S_{a,t})$ | $\hat{C}_{a,t}$ captura en número estimada a la edad a y en el año t |
| Desembarques en peso | $\hat{Y}_t = \sum_a \hat{C}_{a,t} w_{a,t}^{med}$ | $w_{a,t}^{med}$ es el peso medio a la edad a y año t. |
| Proporción de la captura a la edad de la flota | $p_{a,t}^f = \frac{\hat{C}_{a,t}}{\sum_a \hat{C}_{a,t}}$ | $\hat{C}_{a,t}$ Captura en número estimada a la edad. |
| Abundancia a la edad disponible al crucero de verano | $\hat{N}_{a,t}^{cv} = N_{a,t} e^{(-dt^{cv} Z_{a,t})} s_a^{cv}$ | dt^{cv} es la fracción del año en la cual se realiza el crucero de verano, ($dt^{cv} = 0, 5$, enero). |
| Selectividad del crucero de verano | $s_a^{cv} = 1 + \exp[-\ln 19((a - A_{50\%}^{cv})/dt^{cv})^{(-1)}]$ | $A_{50\%}^{cv}$ edad al 50 % Δ^{cv} rango entre la edad al 95 % y 50 % |
| Biomasa acústica total del verano | $\hat{B}_t^{cv} = q^{cv} \sum_a \hat{N}_{a,t}^{cv} w_{a,t}^{med}$ | $w_{a,t}^{med}$ es el peso medio a la edad a y año t. q^{cv} es la capturabilidad/ disponibilidad del crucero de verano. |
| Proporción de la abundancia la edad del crucero de verano | $\hat{p}_{a,t}^{cv} = \frac{\hat{N}_{a,t}^{cv}}{\sum_a \hat{N}_{a,t}^{cv}}$ | $\hat{N}_{a,t}^{cv}$ Abundancia estimada a la edad del crucero de verano |
| Abundancia a la edad disponible al crucero de otoño | $N_{a,t}^{co} = N_{a,t} e^{(-dt^{co} Z_{a,t})} s_a^{co}$ | dt^{co} es la fracción del año en la cual se realiza el crucero de otoño ($dt^{co} = 0, 83$, mayo) |
| Selectividad del crucero de otoño | $s_a^{co} = 1 + \exp[-\ln 19(a - A_{50\%}^{co})/dt^{co}]^{(-1)}$ | $A_{50\%}^{co}$ edad al 50 % dt^{co} rango entre la edad al 95 % y 50 % |
| Biomasa acústica total del otoño | $\hat{B}_t^{co} = q^{co} \sum_a \hat{N}_{a,t}^{co} w_{a,t}^{ini}$ | $w_{a,t}^{ini}$ es el peso medio a la edad (a) y a inicios del año biológico (t). q^{co} es la capturabilidad/ disponibilidad del crucero de otoño. |
| Proporción de la abundancia a la edad del crucero de otoño | $\hat{p}_{a,t}^{co} = \frac{N_{a,t}^{co}}{\sum_a \hat{N}_{a,t}^{co}}$ | $\hat{N}_{a,t}^{co}$ Abundancia estimada a la edad del crucero de otoño. |


Tabla 11. Modelo de los errores del Modelo Anual con información en Edades (MAE).

| Variable | Error | Ecuación | Descripción |
|--|-------------|--|--|
| Índice de abundancia crucero de verano | Lognormal | $-l(I^{cv}) = \frac{1}{2\sigma_{cv}^2} \sum_t (\ln \hat{B}_t^{cv} - \ln B_t^{cv})^2 + cte$ | σ_{cv} es la desviación estándar del índice I^{cv} en escala logarítmica. |
| Índice de abundancia crucero de otoño | Lognormal | $-l(I^{co}) = \frac{1}{2\sigma_{co}^2} \sum_t (\ln \hat{B}_t^{co} - \ln B_t^{co})^2 + cte$ | σ_{co} es la desviación estándar del índice I^{co} en escala logarítmica. |
| Desembarque | Lognormal | $-l(Y) = \frac{1}{2\sigma_f^2} \sum_t (\ln \hat{Y}_t - \ln Y_t)^2 + cte$ | σ_f es la desviación estándar del índice Y en escala logarítmica. |
| Proporción de la captura a la edad de la flota | Multinomial | $-l(p^f) = n^f p_{a,t}^f \ln \hat{p}_{a,t}^f$ | $p_{a,t}^f$ corresponde a la captura a la edad de la flota. n^f es el tamaño de muestra efectivo. |
| Proporción de la abundancia a la edad del crucero de verano | Multinomial | $-l(p^{cv}) = n^{cv} p_{a,t}^{cv} \ln \hat{p}_{a,t}^{cv}$ | $p_{a,t}^{cv}$ corresponde a la captura a la edad del crucero de verano. n^{cv} es el tamaño de muestra efectivo. |
| Proporción de la abundancia a la edad del crucero de otoño | Multinomial | $-l(p^{co}) = n^{co} p_{a,t}^{co} \ln \hat{p}_{a,t}^{co}$ | $p_{a,t}^{co}$ corresponde a la captura a la edad del crucero de otoño. n^{co} es el tamaño de muestra efectivo. |
| Prior | | | |
| Desvíos del reclutamiento | Lognormal | $-l(R) = \frac{1}{2\sigma_R^2} \sum_t \varepsilon_t^2 + cte$ | ε_t desvíos del reclutamiento σ_R es la desviación estándar de los reclutamientos |
| Capturabilidad de los cruceros | Lognormal | $-l(q^{cv}) = \frac{1}{2\sigma_{q^{cv}}^2} \ln(q^{cv})^2 + cte$ $-l(q^{co}) = \frac{1}{2\sigma_{q^{co}}^2} \ln(q^{co})^2 + cte$ | $\sigma_{q^{cv}}$ es la desviación estándar de la capturabilidad del crucero de verano. $\sigma_{q^{co}}$ es la desviación estándar de la capturabilidad del crucero de otoño. |
| Mortalidad por pesca | Lognormal | $-l(F_{1991,1992}) = 1000 * ((\log F_{1991} - \bar{F})^2 + (\log F_{1992} - \bar{F})^2)$ | En esos años hubo estimaciones muy bajas de reclutamiento y del stock desovante asociados con estos altos niveles de $F_{1991,1992}$, producto de que para esos años existe poca información a parte de la estructura de edad para la captura. Por lo tanto, para corregir estos niveles de F se le agrega una penalización a la función objetivo |
| Función objetivo | | $-l(I^{cv}) - l(I^{co}) - l(Y) - l(p^f) - l(p^{cv}) - l(p^{co}) - l(R) - l(q^{cv}) - l(q^{co}) - l(F_{1991,1992})$ | |


Tabla 12. Parámetros y prioris empleadas en el Modelo Anual con información en Edades (MAE).

| Parámetro | N de parámetros | Prior | Descripción |
|--|-----------------|---|---|
| Mortalidad natural | 1 | $M = 1, 0$ (fijo) | La mortalidad natural se asume constante entre años y edades. |
| Mortalidad por pesca | 31 | $\ln F \sim U[-6; 1, 6]$ | F_t representa el efecto anual de la mortalidad por pesca. |
| Selectividad de la flota | 2 | $\ln A_{50\%}^f \sim U[-1; 2]$ $\ln \Delta^f \sim U[-4; 0, 6]$ | Se asume el patrón de selectividad $S_a^{f,cv,co}$ edad específica invariable entre años |
| Selectividad de los cruceros de verano | 2 | $\ln A_{50\%}^{cv} \sim U[-1; 2]$ $\ln \Delta^{cv} \sim U[-4; 0, 6]$ | |
| Selectividad de los cruceros de otoño | 2 | $\ln A_{50\%}^{co} \sim U[-1; 2]$ $\ln \Delta^{co} \sim U[-4; 0, 6]$ | |
| Reclutamiento promedio | 1 | $\ln R_0 \sim U[5; 20]$ | R_0 corresponde al reclutamiento medio, el cual es considerado un parámetro desconocido a estimar, el que es multiplicado por una perturbación anual ε_t . Adicionalmente, en la sección parámetros del código en ADMB se consideran <code>initboundedvector logdesvNo(1,nedades-1,10,10,optdevNo)</code> <code>initboundeddevvector logdesvRt(1,nanos,-10,10,optdevR)</code> |
| Desvíos de reclutamiento ε_t | 31 | $\ln \varepsilon_t \sim N[0; \sigma_R^2]$ | |
| Estructura etaria inicial ε_t | 5 | $\ln \varepsilon_a \sim N[0; \sigma_R^2]$ | |
| Capturabilidad de los cruceros Desviación estándar de los desvíos de reclutamientos, estructura etaria inicial y capturabilidad de cruceros | 2 | $\ln q^{cv} \sim N[0; \sigma_{q^{cv}}^2]$ (verano) $\ln q^{co} \sim N[0; \sigma_{q^{co}}^2]$ (otoño) $\sigma_R = 0, 6$ $\sigma_{q^{cv}} = 100.2(verano)$ $\sigma_{q^{co}} = 100.6(otoño)$ | La capturabilidad del crucero de otoño y verano es un parámetro que puede ser estimado libremente por el modelo |

Tamaños de muestra

De manera similar a los coeficientes de variación empleados para ponderar los índices de abundancia y desembarques entre sus estimadores de verosimilitud, el tamaño de muestra corresponde a una expresión proporcional a la incertidumbre que tienen las composiciones de tallas/edades de las capturas empleadas en la evaluación de stock. De acuerdo a Francis (2011), los datos de composición de edad corresponderían a medidas indirectas de la escala poblacional ya que requiere conocer los mecanismos de selección de la pesquería y la estructura por edades de la población. Por lo tanto, son mucho menos informativos acerca del tamaño de la población y requiere supuestos fuertes para obtener esa información. A pesar de lo anterior, los datos de composición a la edad a menudo son más informativos que los índices de abundancia. Por lo tanto, es importante asegurarnos que la dinámica de la población esté influenciada por los datos más confiables. Un factor relevante es el ponderador asociado con las composiciones de edades de la flota y los cruceros acústicos de verano y otoño. Estos ponderadores son asociados con el tamaño de muestra



efectivo dado que la función de probabilidad empleada es multinomial.

En la asesoría realizada en marzo de 2017 (Zúñiga, 2017), se estimó un tamaño de muestra considerando las recomendaciones emanadas del workshop sobre ponderadores de las fuentes de información en evaluación de stock, realizados por Center for the Advancement of Population Assessment Methodology (CAPAM, 2015: https://www.nwfsc.noaa.gov/news/features/data_source_workshop). Se compararon dos metodologías para estimar el tamaño de muestra para la flota y cruceros de verano y otoño, el método T.A 1.8, indicada por Francis (2011) y el proceso iterativo recomendado por McAllister & Ianelli (1997) considerando el promedio armónico (**Tabla 13**). Ambos procesos inician con un valor arbitrario de tamaños de muestra, comenzando con el valor empleado por defecto de la asesoría de septiembre 2016 (Canales & Zúñiga, 2016), $nm=38$ para la flota y $nm=10$ para el crucero de verano y $nm=7,8$ para el crucero de otoño, para luego de repetidos ajustes del modelo, llegar a valores estables que son los propuestos en esta evaluación de stock. Estas estimaciones son verificadas cuando en el modelo se van integrando nuevas composiciones de edades/tallas y/o cuando se realizan cambios en los supuestos del modelo.

Tabla 13. Estimadores de tamaños de muestra empleados en el análisis.

| Fuente | Estimador |
|--|---|
| McAllister & Ianelli (1997), donde p_a es la proporción de la captura a la edad | $\frac{\sum_a \hat{p}_{(y,a)}(1-\hat{p}_{(y,a)})}{\sum_a (p_{(y,a)} - \hat{p}_{(y,a)})^2}$ |
| Francis (2011), donde n_1 es el tamaño de muestra inicial, O y E corresponden a la edad (a) promedio observada y estimada (TA 1,8) | $n_1 var \left[\frac{(\bar{O}_y - \bar{E}_y)}{\left(\frac{\sum_a a^2 \hat{p}_{(y,a)} - \bar{E}_y^2}{n_1} \right)^{0.5}} \right]^{-1}$ |

Coeficiente de variación

Son empleados en los distintos índices de abundancia y capturas, miden el nivel de desviación que el analista supone tienen los datos respecto del valor central verdadero como parte del error de observación. El coeficiente de variación tiene relevancia en las estimaciones pues es inversamente proporcional con el peso que tiene una determinada fuente de datos en la verosimilitud total. Comúnmente se asignan bajos niveles de incertidumbre a los desembarques y mayores a los cruceros, esto por el hecho que los desembarques son mediciones directamente asociadas con la mortalidad por pesca, mientras las estimaciones de biomasa de cruceros están sujetos a variados criterios y consideraciones en sus estimaciones de una población “no observable”, lo que en definitiva insta a suponer que ellos tienen mayor incertidumbre y/o son tratados como medidas relativas de abundancia.

Al respecto, el peso relativo designado a la estimación de captura total al ajustar el modelo de evaluación fue debatido durante el taller de revisión por pares de sardina común, donde se consideró que la limitación sobre los F efectivamente utilizada fue débil ($CV=10\%$). Se sugiere un $CV=1\%$ asumiendo que las capturas son conocidas exactamente (ver **Tabla 8**). Esto se justifica debido a que existe poca o ninguna información en los datos y estructura del modelo para estimar la captura total, el modelo se ajusta asumiendo que las capturas se conocen exactamente o con altos niveles de precisión. Bajo este supuesto, las estimaciones de abundancia “N” del modelo y los parámetros de separabilidad permitirían determinar F anual. Sin embargo, para la ecuación de Baranov, no existe una solución analítica para los valores de F, por lo tanto, se deben



tratar como parámetros estimables, pero altamente limitados (CV bajos) de tal manera que las capturas totales se puedan estimar de manera muy precisa.

En relación a las biomásas estimadas en los cruceros acústicos y cruceros de huevos, Francis (2011) propone la idea de aproximarse de manera gradual a una medida del error, comenzando con un suavizador de los datos, es decir, un análisis exploratorio que considere aquel coeficiente de variación teórico que resulta de aplicar el “mejor” modelo de tendencia central a los datos aislados. Este primer procedimiento no depende del modelo de evaluación de stock sino de la variabilidad de los datos. Este procedimiento fue aplicado a las biomásas estimadas en los cruceros acústicos y cruceros de huevos. Se ajustó polinomios locales propuesto por Cleveland (1992), mediante la función “loess” del paquete “modreg” en R Project. La estimación de la tendencia central de los cruceros generó valores de CV=0,73 para el crucero de verano y un CV=0,53 para el crucero de otoño.

En la revisión por pares de sardina se cuestionó este análisis, señalando que el supuesto en que se basa este enfoque es razonable para especies de larga vida donde el índice de abundancia está integrado a través de un número de cohortes. El alto CV estimado para el crucero de verano es producto principalmente de que las abundancias medidas son dominadas por los reclutamientos más recientes que son altamente variables. Además, considerar CVs tan altos evitaría su uso como índice de abundancia en la evaluación. Los CVs (estadísticos) estimados para los cruceros acústicos de verano y otoño en base a los estimados de varianza de biomasa por talla y zona reportados en los informes acústicos se encuentran en el orden de 15-20 % (**Tabla 14**). Sin embargo, el modelo base actual asume un CV = 0,3 para los cruceros acústicos de verano y otoño (ver **Tabla 8**).

Tabla 14. Estimaciones de las biomásas acústicas de verano y otoño y los CVs estadísticos estimados en cada uno de ellos.

| Años | C. Verano (t) | CV % | C. Otoño (t) | CV % |
|------|---------------|------|--------------|------|
| 2000 | 252.601 | - | 0 | - |
| 2001 | 567.819 | 16 | 0 | - |
| 2002 | 844.713 | 16 | 0 | - |
| 2003 | 477.998 | 16 | 173.520 | - |
| 2004 | 351.125 | 12 | 0 | - |
| 2005 | 339.783 | 15 | 1.456.880 | - |
| 2006 | 2.178.397 | 8 | 552.880 | - |
| 2007 | 2.134.042 | 14 | 188.675 | 13 |
| 2008 | 4.813.140 | 14 | 0 | - |
| 2009 | 1.555.620 | 20 | 991.730 | 11 |
| 2010 | 2.623.565 | 7 | 2.467.720 | 17 |
| 2011 | 3.216.857 | 11 | 1.416.034 | 29 |
| 2012 | 3.843.000 | 15 | 1.217.170 | 12 |
| 2013 | 1.133.480 | 10 | 2.296.490 | 20 |
| 2014 | 3.079.434 | 6 | 1.805.815 | 12 |
| 2015 | 1.972.148 | 21 | 2.440.448 | 25 |
| 2016 | 2.032.684 | 5 | 1.482.799 | 10 |
| 2017 | 2.025.002 | 15 | 1.565.315 | 17 |
| 2018 | 2.424.330 | 13 | 1.577.507 | 7 |
| 2019 | 2.275.425 | 5 | 1.421.176 | 8 |
| 2020 | 1.050.175 | 7 | 867.257 | 4 |
| 2021 | 2.363.380 | 4 | 1.100.020 | 7 |



Penalizaciones

Con el objeto de obtener valores biológicamente aceptables, a menudo se emplean penalizaciones a ciertas estimaciones o parámetros. En el modelo de evaluación empleado hasta febrero de 2014, las estimaciones de las tasas de mortalidad por pesca en 1991 y 1992 son muy altas. El revisor de RPP señala que dichas estimaciones altas parecen ser incoherentes con la información disponible de la pesquería. En esos años hubo estimaciones muy bajas de reclutamiento y del stock desovante asociados con estos altos niveles de F , producto de que para esos años existe poca información aparte de la estructura de edad para la captura. Por lo tanto, para corregir estos niveles de F se le agrega una penalización a la función objetivo.

Selectividad

El patrón de explotación de la flota es asintótico y se considera constante entre años tanto a nivel de parámetros de posición (edad al 50 % de explotación) como de dispersión (pendiente de la curvatura). Las justificaciones para este escenario se basan en la poca variabilidad que presentan las composiciones de edades de las capturas y en menor grado en los cruceros, como también a que en esta pesquería no se conocen procesos de escape significativos de individuos longevos fuera de la zona donde opera la pesquería. En el caso de los cruceros de verano y otoño, el patrón de explotación se supone igualmente logístico, pero se estiman independientemente de la flota.

Capturabilidad de los cruceros

Se asume que tanto el crucero de verano como otoño representan una fracción de la biomasa disponible, lo que en otras palabras se traduce en que el índice de proporcionalidad o capturabilidad es estimado en el modelo sujeto a una distribución a priori, establecida sólo respecto del crucero de verano siguiendo una distribución lognormal con media 0 y error estándar 0,2. Lo anterior se justifica dado que el reclutamiento de la sardina común es menos extendido en el tiempo respecto de la anchoveta y se puede medir en un solo crucero, de manera que el crucero de verano reflejaría de mejor forma los niveles de la población dejando el crucero de otoño como índice relativo de los cambios en la fracción disponible para la flota (Castillo *com. pers.*).

Al respecto, en el taller de Revisión Por Pares (RPP) se discutió sobre los problemas asociados con la corrección de orilla, la composición de especies, frecuencia de tallas, cardúmenes no detectados y corrección de superficie y costa, etc, de los cruceros acústicos. Existe la posibilidad de dar lugar a estimaciones considerablemente menores o mayores que la abundancia real del recurso. En base a esto, Polacheck (2014), señala que no existe una razón a priori para asumir que “ q ” en un crucero debería ser más cercano a 1 que en el otro, ni que “ q ” para cualquiera de los cruceros es cercano a 1. Se sugiere asumir un prior no informativo como elección más apropiada para un caso base. De esta forma, en el modelo actual, la capturabilidad de los cruceros acústicos se asume con una distribución a priori lognormal con media 0 y error estándar 100, es decir, se remueve el efecto de esta distribución a priori.

Documentación del modelo de evaluación de stock

El modelo de la dinámica poblacional fue programado en la plataforma AD Model Builder (Fournier *et al.* 2012). Todos los códigos fuente y datos empleados en la evaluación son debidamente documentados e informados detalladamente, incluyendo su versión digital, estableciéndose una numeración específica para cada versión. Cualquier modificación del modelo y/o de su correspondiente código es reportada en el informe respectivo, dejando constancia de las versiones que se emplearon hasta la fecha en que se



emite el informe y definiendo específicamente la versión que se empleará en éste, para fines de revisiones posteriores. Los códigos MAE0920, MAE0321 y MAE0721, fueron compilados en “macOS Big Sur Versión 11,4” y en “ADMB Versión 12,2”. Los parámetros del modelo MAE0721 fueron = 78, Objective function value = 511.567321229920 y Maximum gradient component = 1.14616837066307e-05.

Respecto a la convergencia de los modelos, hemos encontrado diferencias en los modelos compilados en los Software Windows y MAC, principalmente relacionada con las fases de estimación de algunos parámetros, lo cual esperamos resolver en el transcurso de las próximas asesorías.

Considerando los conflictos encontrados por el evaluador externo respecto a la convergencia del modelo MAE0721. Se adjunta la base de datos que considera los códigos .dat y .tpl compilados en Windows y MAC, junto a los reportes (.rep, .std y .par). La diferencia entre los códigos tiene relación con la fase de estimación de los parámetros relacionados con los desvíos del reclutamiento, que en MAC se estiman en fase 2 y en Windows en fase 1. Las diferencias en las fases de estimación no mostraron diferencias entre las salidas de los reportes.

Diagnóstico del modelo de evaluación de stock

Ajuste del modelo a los datos

Corresponde a la presentación gráfica del ajuste del modelo a los datos observados y bondad de ajuste mediante diagrama QQ que permitirá evaluar si los valores estimados se apartan significativamente del supuesto inicial, esto es, que las observaciones con una muestra aleatoria de una distribución log-normal con media y varianza conocida. Si los datos se aproximan significativamente a la relación lineal implica entonces que el supuesto es adecuado para los datos analizados.

Análisis de residuos

Se entregará los residuales frente a los valores predichos para ver si la varianza residual es constante, los residuales del modelo frente a las variables explicativas (año) para determinar si la varianza es homogénea entre los años, un histograma de los residuos para ver si hay normalidad y un diagrama qqplot de los residuos que indica linealidad.

Comparación con evaluaciones anteriores

Se incluirá la comparación de resultados con versiones anteriores u otros modelos para evaluar la consistencia de la evaluación presente (análisis retrospectivo empírico). Sobre la base de estos análisis, se identificarán las oportunidades de mejoras en la implementación del procedimiento de evaluación, los vacíos de conocimiento y de información, entre otros.

Análisis retrospectivo

El análisis retrospectivo es otro diagnóstico que implica correr el modelo eliminando años de datos sucesivos consecutivamente para estimar el sesgo del modelo (Cadrin & Vaughn 1997, Cadigan & Farrell 2005). Se realizó un análisis retrospectivo para probar la consistencia de cada escenario de sensibilidad antes señalado. Este análisis permitirá evaluar la robustez de cada escenario frente a nuevas piezas de información lo que también permitirá validar el escenario “caso base”. Este análisis consiste en una validación cruzada



de naturaleza sistemática en la que es removido secuencialmente el último año de información y se evalúa su impacto en las tendencias poblacionales. Este análisis permite determinar si hubo un patrón consistente de sobreestimación o subestimación en años sucesivos de la biomasa desovante y mortalidad por pesca utilizados en la determinación del estatus de sardina común.

Estadístico Rho: El estadístico rho de Mohn (1999) se ha utilizado comúnmente para medir el patrón retrospectivo. Corresponde a la suma de la diferencia relativa entre los valores de la serie de tiempo reducida estimada por el modelo y los mismos valores estimados de la serie de tiempo completa.

$$\rho = \sum_{y=1}^{npeels} \frac{X_{(Y-y,tip)} - X_{(Y-y,ref)}}{X_{(Y-y,ref)}}$$

Donde X corresponde a alguna variable de la evaluación de stock, tales como BD o F, “ y ” corresponde a los años, “ $npeels$ ” es el número de años que son disminuidos de manera sucesiva, “ Y ” es el último año de la serie de tiempo completa, “ tip ” es la estimación terminal de la serie de tiempo reducida y “ ref ” es la serie de tiempo completa.

Este cálculo será cero cuando la serie de tiempo reducida se encuentre exactamente con la serie de tiempo completa, o cuando las diferencias entre la serie disminuida y la serie completa están en equilibrio tanto positivo como negativo. El rho de Mohn será grande, ya sea positivo o negativo, cuando hay un patrón consistente de cambio en la serie de tiempo reducida respecto a la serie completa.

Perfiles de verosimilitud

Algunos autores señalan que uno de los mejores diagnósticos para evaluar la influencia de los datos en la dinámica estimada por la estructura del modelo es el perfil de verosimilitud de los componentes individuales de datos a través de un parámetro (por ejemplo, el reclutamiento promedio, que escala el reclutamiento) (Maunder 1998, Lee *et al.* 2014, Maunder & Starr 2003, Francis 2011, Francis 2014, Ichinokawaa *et al.* 2014). El uso de perfiles de verosimilitud respecto del parámetro que define la escala de la población es una técnica de reciente uso, y permite realizar un diagnóstico sobre la contribución marginal de cada fuente de datos en la evaluación de la población, así como identificar probables problemas de mala especificación del modelo (Lee *et al.* 2014, Wang *et al.* 2014).

En este trabajo se realiza un análisis de los perfiles de verosimilitud del parámetro que define la escala de la población del modelo MAE para la evaluación de sardina común, con el objeto de evaluar la influencia de las distintas piezas de información y desempeño del modelo. Se implementa una rutina computacional con el objeto de evaluar tanto el desempeño estadístico del modelo MAE como del nivel de información contenida en los datos respecto del parámetro que define la escala poblacional correspondiente al reclutamiento promedio de largo plazo (R_0), el que en el modelo es desconocido y estimado en el proceso de evaluación de stock.

Si las fuentes de datos son consistentes entre ellas, los respectivos perfiles debieran estar próximo entre sí, como también esperar que la diferencia de la log verosimilitud respecto del mínimo se eleve por sobre el criterio estadístico $\chi^2=1,92$. Valores por sobre este criterio indican que dicha fuente de datos contiene información significativa respecto del parámetro R_0 . Asimismo, es esperable que la verosimilitud total y su curvatura esté más influenciada por los datos que por las penalizaciones o distribuciones a priori (supuestos).



3.2. Objetivo específico 2:

“Establecer el estatus actualizado de sardina común, sobre la base de sus principales indicadores estandarizados de estado y flujo, propagando para estos efectos todas las fuentes de incertidumbre subyacente a la pesquería.”

3.2.1. Estatus

Indicadores del estado del stock

El estado del recurso se establece en base a la posición relativa de la biomasa desovante y mortalidad por pesca relacionada a la explotación pesquera v/s Puntos Biológicos de Referencia (PBR) basados en el Rendimiento Máximo Sostenido (RMS). En el contexto de la Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA) se establece que las pesquerías deberán alcanzar o mantenerse en torno del RMS considerando las características biológicas de los recursos explotados. El RMS se produce cuando el stock desovante se reduce notablemente antes que el reclutamiento se vea impactado en promedio, para lo cual exige se estimen los siguientes PBRs:

- Biomasa desovante en el Rendimiento Máximo Sostenible (BD_{RMS}), bajo la cual el recurso califica en sobre-explotación.
- Mortalidad por Pesca en el Rendimiento Máximo Sostenible (F_{RMS}), sobre la cual el recurso califica en sobre-explotación.
- Biomasa desovante límite (B_{LIM}) bajo la cual una pesquería califica de agotada o colapsada.
- Mortalidad por Pesca límite (F_{LIM}) a partir de la cual el recurso califica en sobrepesca. Este estudio se basa en el Marco Biológico de Referencia establecido por el Comité Científico Técnico- Pesquerías de Pequeños Pelágicos (CCT-PP) en base a los avances realizados durante el 2013 y 2014 en la determinación de Puntos Biológicos de Referencia (PBR) y del Rendimiento Máximo Sostenido (RMS) del proyecto “Revisión y estimación de los PBR (Rendimiento Máximo Sostenido) para las principales pesquerías nacionales” (Payá *et al.* 2014), proyecto ejecutado por IFOP que contó con la consultoría de investigadores de prestigio internacional, con los cuales se realizaron tres talleres de trabajo, contando además con la participación de investigadores nacionales.

Puntos Biológicos de Referencia

Estimación de F_{RMS}

Ante la incertidumbre en la relación stock-recluta de los pelágicos pequeños, la determinación de F_{RMS} está basado en el análisis de rendimiento por recluta de dinámica combinada (Beverton & Holt 1957) que describen el cambio de la biomasa de una cohorte o clase anual por efectos de la mortalidad natural y la pesca. La biomasa adulta o desovante por recluta (BDPR) es obtenida en función de la mortalidad por pesca (F), y en esta curva es factible identificar el nivel de referencia biológico 60 %BDPR que se supone debería minimizar el impacto de la pesca sobre el stock, permitiendo el escape en torno al 60 %, respecto del valor que existiría en ausencia de explotación pesquera (**Tabla 15**).



Tabla 15. Dinámica de la abundancia utilizado para estimar la biomasa desovante por recluta y su función objetivo para resolver el parámetro de F_{RMS} .

| Variables | Ecuación | Descripción |
|--------------------------------------|---|---|
| Abundancia a la edad | $N_{a+1} = N_{a-1} \exp(-(s_{a-1}^f F + M))$ $N_{a_m} = \frac{N_{a-1} \exp(-(s_{a-1}^f F + M))}{(1 - \exp(-(s_{a_m}^f F + M)))}$ | N_{a+1} es la abundancia en número a la edad $a + 1$, s_{a-1}^f corresponde a la selectividad edad específica, M es la mortalidad natural y F la mortalidad por pesca. |
| Biomasa desovante por recluta (BDPR) | $BDPR_{F=0} = \sum_{a=0}^t N_a \exp(-dtM) \bar{w}_a^{ini} O_a$ $BDPR_{F_{RMS}} = \sum_{a=0}^t N_a \exp(-dt(s_a^f F_{RMS} + M)) \bar{w}_a^{ini} O_a$ | dt es la fracción del año donde ocurre el desove, O_a es la fracción de peces maduros a la edad y \bar{w}_a^{ini} es el peso medio a la edad al inicio del año biológico. |
| Función objetivo | $f = (\frac{BDPR_{F_{RMS}}}{BDPR_{F=0}} - 0,60)^2$ | Utilizado para resolver el parámetro $F_{RMS} = 60\%BDPR$ |

Estimación de BD_0 , BD_{RMS} y BD_{LIM}

A continuación, se describe el método recomendado por CCT-PP y que acoge lo propuesto en talleres de PBRs para calcular los puntos de referencia proxies BD_0 , BD_{RMS} y BD_{LIM} :

- (1) Encontrar un período histórico (de preferencia largo) en el que la Biomasa Desovante (BD) haya estado aproximadamente en un equilibrio dinámico (es decir, no un equilibrio determinista basado en la relación stock-recluta). La condición base sería tomar la serie temporal histórica completa, a menos que exista una razón clara para tomar algo distinto. Calcular el promedio de BD y la mediana de F estimadas de la evaluación de stock durante el período seleccionado. (nota: la razón para estimar el promedio de BD pero la mediana de F (F_{mh}) es porque la distribución de F se espera que sea cercana a la log-normal mientras que la distribución de BD se espera que sea cercana a la normal; además, el objetivo es encontrar valores únicos de F y BD que se podrían corresponder entre sí (aproximadamente) en equilibrio, por lo que la mediana de F , el cual disminuye efectivamente el peso de la influencia de los valores altos de F en la serie histórica, podría estar asociado a valores altos de BD en equilibrio (y la media a menudo tiende a ser mayor que la mediana).
- (2) Calcular el $\%BDPR$ (F_{mh}) y $\%BDPR$ (F_{RMS}).
- (3) Sustraer el 5% (=0,05) de $\%BDPR$ (F_{mh}) y $\%BDPR$ (F_{RMS}) para obtener una aproximación para el $\%BD$ (donde el $\%BD$ denota BD/BD_0) para el cual F_{mh} y F_{RMS} correspondiente. Como un ejemplo, si $\%BDPR(F_{mh}) = 0,35$, el correspondiente $\%BD(F_{mh})$ es 0,30, y si $\%BDPR(F_{RMS})=0,60$, el correspondiente $\%BD(F_{RMS})$ es 0,55.
- (4) La razón BD promedio / $\%BD$ (F_{mh}) entrega una estimación de BD_0 , y forma la base para el cálculo de BD_{RMS} (paso 5) y BD_{LIM} (paso 6).
- (5) Cálculo de BD_{RMS} (proxy) como $\%BD(F_{RMS}) \times BD$ promedio / $\%BD(F_{mh})$.
- (6) Cálculo de BD_{LIM} (seleccionado como 27,5% BD_0 para todos los stock de sardina y anchoveta) ó 50 % BD_{RMS} .

Diagrama de fases de explotación

El estado del recurso se estableció en base a la posición relativa de la mortalidad por pesca y biomasa desovante versus los puntos biológicos de referencia basado en el rendimiento máximo sostenible (RMS),

tales como, F_{RMS} y BD_{RMS} . De este modo se obtienen los indicadores del estatus (F/F_{RMS} y BD/BD_{RMS}) que permiten construir un diagrama de fase, donde los puntos de referencia biológicos se muestran en las líneas verticales y horizontales en 1. Las líneas verticales indican la biomasa desovante en el rendimiento máximo sostenible (BD_{RMS}), bajo el cual el recurso califica en sobre-explotación y biomasa desovante límite (BD_{LIM}) bajo el cual una pesquería califica de agotada y/o colapsada y la línea horizontal el punto de referencia correspondiente a la mortalidad por pesca en el rendimiento máximo sostenible (F_{RMS}), sobre la cual el recurso califica en sobre-explotación. La **Figura 14** muestra el diagrama de fase definido por el CCT-PP para las pesquerías de pelágicos pequeños.

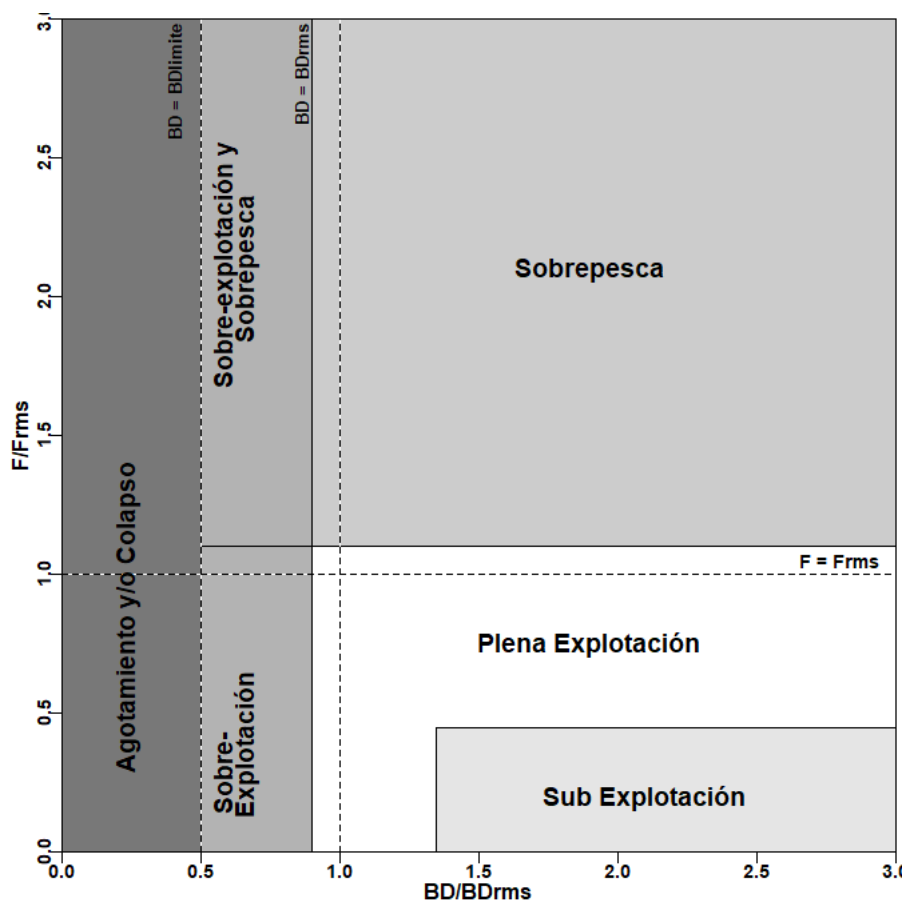


Figura 14. Diagrama de fase definido por el CCT-PP para las pesquerías de pelágicos pequeños.

El estado de la pesquería en Plena Explotación se define en la Ley de Pesca como “un nivel en el que el punto biológico ha alcanzado o está a su máximo rendimiento sostenido”. Debido a la variabilidad natural en las condiciones ecológicas y ambientales, F_{RMS} no es estática, pero fluctuará alrededor de BD_{RMS} . Para reconocer esta variabilidad, una definición operativa para la región de Plena Explotación se define que se extiende a ambos lados de los puntos de referencia de RMS. Adicionalmente, el CCT-PP incorporó el concepto de sobrepesca, precisó algunas definiciones y se pronunció respecto a la zona de plena explotación, según consta en acta N°5 (11 al 14 de noviembre de 2014). Los aspectos más relevantes son los que a continuación se describen:

- **Sobrepesca:** Este Comité consideró necesario diferenciar al interior de la zona de sobreexplotación definida por la LGPA, el área de sobrepesca, con el objeto de aplicar las medidas de Administración más acordes con dicha condición. En tal sentido, la sobrepesca ocurriría cuando la mortalidad por



pesca F (variable de flujo y de control) exceda un valor considerado umbral o límite, que en este caso corresponde al valor superior en mortalidad por pesca (valor relativo al objetivo), de la zona de plena explotación.

- **Sobreexplotado:** En correspondencia con la definición anterior, la sobreexplotación ocurriría cuando la biomasa (variable de estado) cae bajo un valor umbral o límite, correspondiendo éste al valor inferior en biomasa (valor relativo al objetivo) de la zona de plena explotación.
- **Rango de Plena Explotación:** El CCT-PP recomendó por consenso los siguientes rangos que definen la condición de Plena Explotación de los recursos pelágicos, considerando los siguientes límites en biomasa y el correspondiente par ordenado en mortalidad por pesca:
 - a) **Límite bajo el objetivo de manejo** = 10 % Bajo BD_{RMS} : Este criterio tiene como propósito el establecimiento de una banda estrecha en torno al RMS, que genere un área no deseada pequeña que en lo posible sea menor o igual al área de incertidumbre total del sistema, donde la biomasa está bajo la biomasa objetivo y a su vez, la mortalidad por pesca es mayor a la mortalidad por pesca objetivo. En consecuencia, el CCT-PP considera las numerosas recomendaciones en ciencia pesquera, respecto al riesgo de llevar a los stocks a una condición de sobreexplotación cuando se utiliza el RMS como objetivo de manejo, utiliza el concepto conforme al marco legal vigente y simultáneamente lo deja operando en la práctica, como un punto biológico de referencia límite.
 - b) **Límite sobre el objetivo de manejo** = 75 % BD_0 (o 35 % sobre BD_{RMS}): Para estos efectos el Comité rescató elementos del enfoque ecosistémico en especies de forraje, planteado recientemente por Pickitch *et al.* (2012).

3.3. Objetivo específico 3:

“Determinar niveles de Captura Biológicamente Aceptable (CBA) que lleven y/o mantenga la pesquería en torno al Rendimiento Máximo Sostenible (RMS), a partir de un análisis de riesgo en condiciones de incertidumbre de no alcanzar los objetivos de conservación y sostenibilidad conforme lo establece la LGPA y contenidos en el Plan de Manejo y/o en el Programa de Recuperación respectivo, según corresponda.”

3.3.1. Captura biológicamente aceptable (CBA)

Descripción del proceso de cálculo de CBA para cada etapa del procedimiento de manejo:

La pesquería de sardina común ha sido manejada históricamente de manera monoespecífica, considerando la incertidumbre asociada a la evaluación de stock. El objetivo de conservación para ésta pesquería establece un nivel de biomasa reproductiva o desovante equivalente al 55 % BD_0 del stock desovante en estado virginal (sin explotación), con una estrategia de explotación que consiste en aplicar una tasa de explotación constante, equivalente a la mortalidad por pesca F que determina el 55 % BD_0 , definidas como $F60\%BDPR$ establecido por el Comité Científico Técnico Pesquerías de Pequeños Pelágicos (CCT-PP) para resguardar la incertidumbre en el éxito de la clase anual que reclutaría a la pesquería (Informe Técnico CCT-PP N°01/2015 ³).

De acuerdo al ciclo de manejo histórico de esta pesquería (**Figura 15**), la recomendación de CBA comienza después de la veda reproductiva, donde se reporta la CBA inicial, y que permitirá al CCT-PP establecer el

³http://www.subpesca.cl/portal/616/articles-87217_documento.pdf

estatus y recomendar el rango de CBA para el año siguiente. En enero de cada año, el crucero de evaluación hidroacústico permite estimar la abundancia y biomasa de reclutas (crucero de verano, RECLAS), esta información junto a datos provenientes de la pesquería es utilizada para la primera revisión de la CBA. En marzo se inicia el período de extracción y en mayo se realiza el segundo crucero de evaluación acústica (crucero de otoño, PELACES) para actualizar el estatus y revisar una vez más la CBA.

La **Tabla 16** detalla la información disponible en cada etapa de cálculo de CBA 2022, destacando que en la primera etapa de estimación (CBA inicial) no se cuenta con información actualizada de los años biológicos 2021-2022 y 2022-2023, por lo tanto, la población debe ser proyectada dos años biológicos hacia el futuro (a inicios de julio de un año a junio del año siguiente) para realizar el cálculo de la CBA 2022 en año calendario. En la segunda etapa (1era revisión) contamos con información parcial del año biológico 2021-2022 y en la tercera etapa (2da revisión) con información casi completa del año biológico 2021-2022. Sin embargo, para realizar el cálculo de la CBA 2022 en año calendario, en ambas etapas es necesario proyectar un año biológico hacia el futuro (2022-2023).

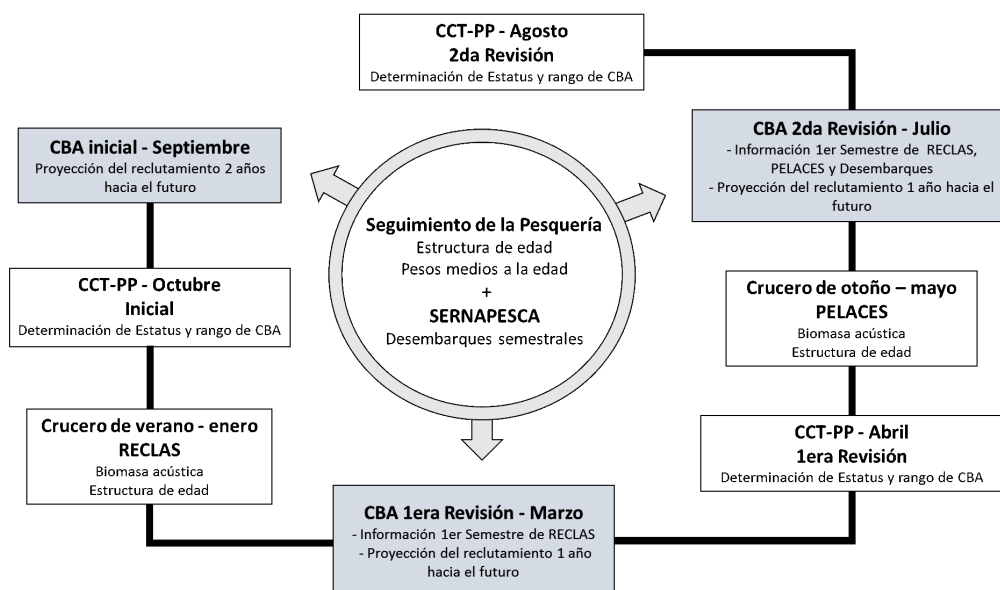


Figura 15. Procedimiento de manejo actual para sardina común centro-sur.

El proceso de cálculo de la CBA 2022 para las tres etapas del ciclo de manejo de sardina común (**Tabla 17**) consistirá en los siguientes pasos:

Paso 1: Estimación de la captura proyectada (Y_{pRMS}) en año biológico aplicando los siguientes supuestos:

- Escenarios de reclutamiento proyectado
- Supuesto de pesos medios igual al promedio de los últimos 5 años de la serie
- Mortalidad por pesca igual a F_{RMS}

Paso 2: Estimación de la captura (Y_{RMS}) del año biológico actual aplicando los siguientes supuestos:

- Reclutamiento actualizado en asesoría de marzo o julio.
- Pesos medios igual al promedio de los últimos 5 años (asesoría de marzo) o pesos medios actualizados (asesoría de julio).
- Mortalidad por pesca equivalente al supuesto de captura igual a CBA inicial (asesoría de marzo) o mortalidad por pesca equivalente a la captura actualizada (asesoría de julio).

**Tabla 16.** Información relevante para el cálculo de CBA 2022 en cada una de las etapas de estimación.

| Datos de entrada al modelo | CBA INICIAL Septiembre 2021 | 1ERA REVISIÓN Marzo 2022 | 2DA REVISIÓN Julio 2022 |
|---|---|--|----------------------------------|
| Desembarques | Julio 1991 - junio 2021 | Julio 1991- junio 2021 + Supuesto de captura 2021/2022 | Julio 1991 - a junio 2022 |
| Biomasa acústica Crucero de verano | 2000 – 2021 | 2000 – 2022 | 2000 – 2022 |
| Biomasa acústica Crucero de otoño | 2003 – 2021 | 2003 – 2021 | 2003 – 2022 |
| Composición de edad Flota | Julio 1991 - junio 2021 | Julio 1991 - junio 2021 | Julio 1991 - mayo 2022 |
| Composición de edad Cruceros de verano | 2001 – 2021 | 2001 – 2022 | 2001 – 2022 |
| Composición de edad Cruceros de otoño | 2007 – 2021 | 2007 – 2021 | 2007 – 2022 |
| Pesos medios a la edad | Julio 1991 - junio 2021 | Julio 1990 - junio 2021 Promedio de los últimos 5 años de la serie histórica para julio 2021-junio 2022 | Julio 1990 - mayo 2022 |
| Madurez sexual a la edad | Constante | Constante | Constante |
| Mortalidad natural | Constante | Constante | Constante |
| Proyección del reclutamiento | 2 años biológicos (años 2021/22 y 2022/23) | 1 año biológico (año 2022/23) | 1 año biológico (año 2022/23) |

Paso 3: Estimación de la Captura Biológicamente Aceptable (CBA) en año calendario aplicando los siguientes supuestos.

- Proporción de captura semestral (ps_1 , primer semestre y ps_2 , segundo semestre).
- Probabilidad que la captura exceda el objetivo de manejo $F_{RMS}=F60\%BDPR$.
- Porcentaje de resguardo de la Captura al RMS.

Tabla 17. Métodos de estimación de la CBA 2022 para las tres etapas del ciclo de manejo de sardina común.

| Mes de Asesoría | Etapas de cálculo | Métodos de estimación |
|-----------------|----------------------|---|
| Septiembre 2021 | $CBA_{inicial}$ | $p_{s1} * Y_{PRMS(t+1)} + p_{s2} * Y_{PRMS(t+2)}$ |
| Marzo 2022 | $CBA_{1eraRevisión}$ | $p_{s1} * Y_{RMS(t)} + p_{s2} * Y_{PRMS(t+1)}$ |
| Julio 2022 | $CBA_{2daRevisión}$ | $p_{s1} * Y_{RMS(t)} + p_{s2} * Y_{PRMS(t+1)}$ |

Paso 1: Captura proyectada (Y_{PRMS}) en año biológico aplicando F_{RMS}

Escenarios de proyección basada en distintos niveles de reclutamiento

Se realiza un análisis de quiebres que consiste en un análisis estadístico que permite detectar cambios en la serie histórica de los reclutamientos estimados por el modelo de evaluación de stock. Para ello se realizó un análisis de cambios estructurales en series de tiempo (también conocido como detección de puntos de

quiebre) implementado en la librería “strucchange” del software R, <https://cran.r-project.org/web/packages/strucchange/strucchange.pdf>.

```
library(strucchange)
bp.nile <- breakpoints(Reclutamientos ~ 1)
fm1 <- lm(Reclutamientos ~ breakfactor(bp.nile, breaks = 2))
puntos_quiebres<-fitted(fm1)
```

La **Figura 16** muestra tres niveles de reclutamiento detectados por el análisis de quiebres de la serie histórica: a) un escenario desfavorable que consiste en el reclutamiento promedio del período 1991-2007 (114 mil millones de ind.), b) un escenario favorable que corresponde al promedio de los reclutamientos del período 2008 - 2012 (409 mil millones de ind.) y un escenario que representa el período reciente entre el 2013-2021 (180 mil millones de ind.).

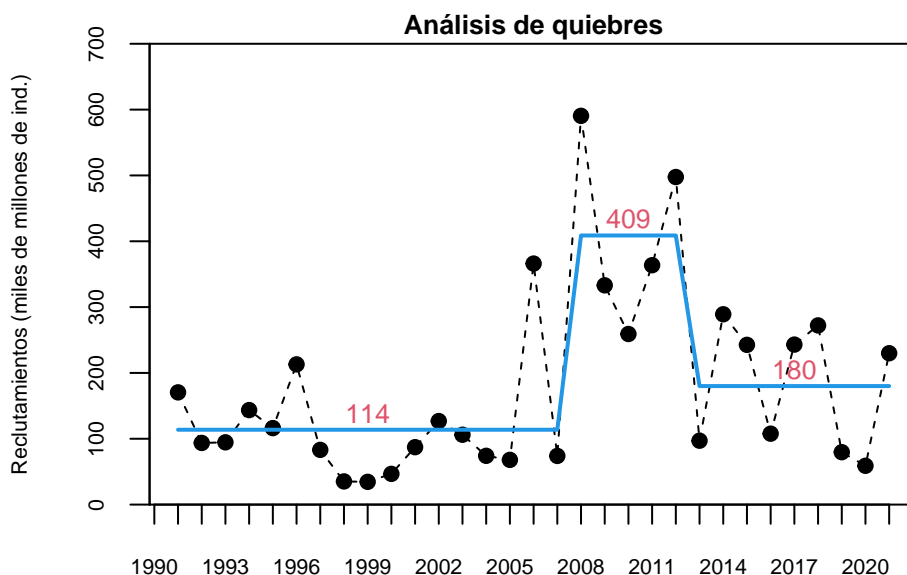


Figura 16. Análisis de quiebres de la serie histórica de los reclutamientos de sardina común.

Supuesto de pesos medios a la edad utilizado en la proyección

En relación a los pesos medios a la edad utilizados en la proyección del stock y cálculo de CBA, se utiliza el promedio de los últimos 5 años (**Figura 17**). Este supuesto fue acordado con el CCT-PP en la sesión 02/2019 ⁴.

⁴http://www.subpesca.cl/portal/616/articles-105403_documento.pdf

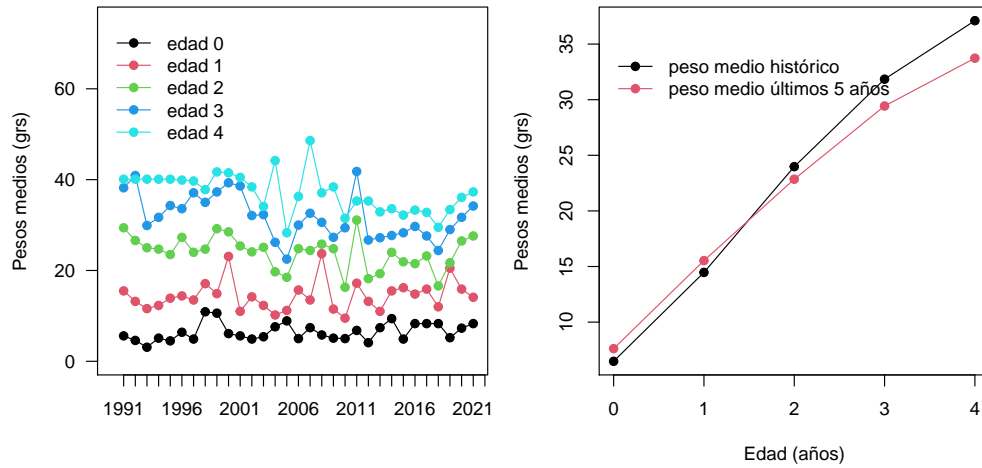


Figura 17. a) Variabilidad de los pesos medios de cada grupo de edad (edad 0 a 4) y b) comparación del supuesto de pesos medios igual al promedio histórico vs peso promedio de los últimos 5 años de la serie.

Los pasos siguientes son proyectar la población para la estimación de la Captura en número y peso con una estrategia de explotación que consiste en aplicar una tasa de explotación constante, equivalente a la mortalidad por pesca F_{RMS} en año biológico (**Tabla 18**).

Tabla 18. Proceso de estimación de la Captura ($Y_{p_{RMS}}$) proyectada en año biológico aplicando F_{RMS} .

| Descripción | Ecuación |
|--|---|
| Condición de partida para la proyección | $N_p = N_{naños}, S_p = S_{naños}$ |
| Escenario de reclutamientos: R reclutamiento promedio de los años iniciales entre los años 1991-2007, n es el número de años iniciales | $Rp_{(a=0)} = \frac{\sum R_{(1991-2007)}}{n_{(1991-2007)}}$ |
| Escenario de reclutamiento: R reclutamiento promedio entre los años 2008-2012, n es el número de años del período | $Rp_{(a=0)} = \frac{\sum R_{(2008-2012)}}{n_{(2008-2012)}}$ |
| Escenario de reclutamientos: R reclutamiento promedio entre los años 2013 - año actual, n es el número de años del período | $Rp_{(a=0)} = \frac{\sum R_{(2013-añoactual)}}{n_{(2013-añoactual)}}$ |
| Mortalidad por pesca y total al RMS | $F_{RMS} = sel_{naños} F_{60}(\%BDPR),$ $Z_{RMS} = F_{RMS} + M, S_p = exp(-Z_{RMS})$ |
| Dinámica de la abundancia proyectada | $Np_{(a=0)} = Rp, Np_{(a+1)} = Np_{(a-1)} S_p,$ $Np_{(a=4)} = Np_{(a-1)} S_p + Np_{(a=4)} S_p$ |
| Captura en número proyectada | $Cp_{RMS} =$ $F_{RMS} / Z_{RMS} * Np(1 - exp(-Z_{RMS}))$ |
| Captura en peso proyectada | $Yp_{RMS} = \sum Cp_{RMS} * w_{5años}^{med}$ |

Donde, $N_{naños}$ es la abundancia a la edad del último año de evaluación, $S_{naños}$ es la sobrevivencia del último año de evaluación, R_p corresponde al reclutamiento proyectado al año t , $sel_{naños}$ es la selectividad edad específica del último año de evaluación, F_{60} corresponde a la mortalidad por pesca que determina el 55%BD0 establecido por el (CCT-PP), Z_{RMS} es la mortalidad total al RMS, M es la mortalidad natural, $Np_{(a=0)}$ es el reclutamiento proyectado,

$N_{p(a+1)}$ es la abundancia en número a la edad $a+1$, C_{pRMS} es la captura proyectada en número, Y_{pRMS} es la captura en peso proyectada y $w_{5años}^{med}$ corresponde al peso promedio de los últimos 5 años.

Paso 2: Captura del año actual (Y_{RMS}) aplicando F_{RMS}

Esta captura es estimada en la 1era y 2da revisión de CBA (asesorías de marzo y julio), cuando se cuenta con información del año biológico actualizado con las biomásas acústicas de los cruceros de verano y otoño respectivamente y otras fuentes de información.

$$\text{Captura en número del año biológico actual } C_{RMS} = \frac{F_{RMS}}{Z_{RMS}} N_{naños} (1 - \exp(-Z_{RMS}))$$

$$\text{Captura en peso del año biológico actual } Y_{RMS} = \sum C_{RMS} w_{5años}^{med}$$

Paso 3: Estimación de la Captura Biológicamente Aceptable (CBA)

Considerando que el modelo de evaluación de stock de sardina común emplea información agregada en año biológico, la población es proyectada uno o dos años biológicos hacia el futuro (a inicios de julio de un año a junio del año siguiente). Por consiguiente, el cálculo de la captura en año calendario se obtiene como el promedio ponderado según la estacionalidad semestral de la pesquería. El análisis de quiebres de la serie de proporción de desembarques del primer semestre muestra que a partir del 2010 la proporción disminuye en torno al 70 % para el primer semestre (**Figura 18**). De este modo, el cálculo de CBA se obtiene como el promedio ponderado según la estacionalidad semestral de la pesquería del período más reciente en 70 % para el primer semestre y 30 % para el segundo semestre del año calendario. Este supuesto fue acordado con el CCT-PP en la sesión 02/2019 ⁵.

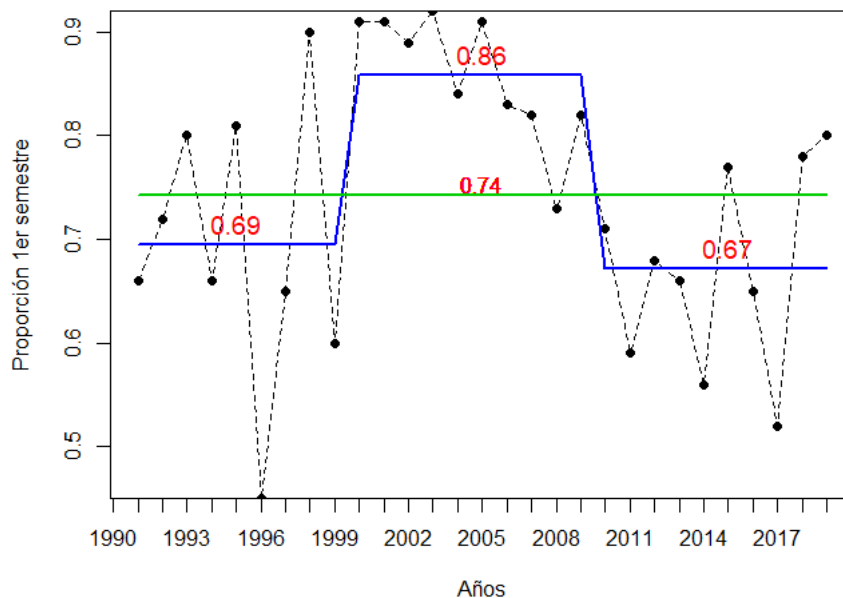


Figura 18. Serie histórica de la proporción de los desembarques durante el primer semestre.

Percentiles de probabilidad de sobrepasar el objetivo de manejo F_{RMS}

Se considera el establecimiento de un percentil entre un 10 % - 50 % de probabilidad de sobrepasar el objetivo de manejo igual a F_{RMS} . El percentil corresponde a una distribución de probabilidad acumulada y representa la probabilidad de estar en sobrepesca (**Figura 19**). El CCT-PP determina el rango de CBA seleccionado el percentil de probabilidad y

⁵http://www.subpesca.cl/portal/616/articles-105403_documento.pdf

escenario de reclutamiento proyectado. Dado la alta incertidumbre existente en el momento de definir la CBA inicial, el CCT-PP selecciona el escenario de reclutamiento más precautorio y un percentil de probabilidad inferior al 50 %. Este percentil de probabilidad es equivalente a un nivel de resguardo que se calcula a partir de la captura estimada para cada percentil de probabilidad y la captura al RMS, de este modo, se tiene un nivel de referencia de cuanto se está resguardando considerando el hito de revisión de CBA o condición del recurso.

$$Resguardo = 1 - \frac{Captura(i)}{Captura_{RMS}}, i = percentil.de.captura(10\%...50\%)$$

Donde la Captura(i) es la captura estimada para cada percentil de probabilidad (10 % - 50 %) y Captura_{RMS} corresponde a la media (50 % probabilidad).

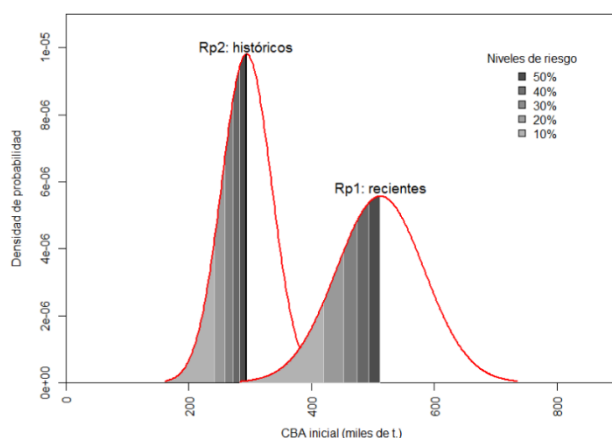


Figura 19. CBA inicial ante percentiles de captura y bajo dos escenarios de reclutamiento.

Paso 4: Incorporación del descarte en la CBA

La actual Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA, N° 18.892) persigue la conservación y el uso sustentable de los recursos pesqueros mediante la aplicación del enfoque precautorio y ecosistémico, garantizando el resguardo de los ecosistemas marinos. En este contexto, el Artículo 7°B de la LGPA indica que no podrá realizarse el descarte de individuos de una especie objetivo, cualquiera sea su régimen de acceso, y su fauna acompañante, salvo que se i) haya fijado una cuota global anual de captura para la especie objetivo y, ii) que en el proceso de establecimiento de la cuota global anual de captura se haya considerado el descarte, entre otras restricciones indicadas por el citado artículo.

Para dar cumplimiento a esta normativa se estima una CBA_{total} que da cuenta de toda la mortalidad por pesca incluido el descarte. El CCT-PP debe establecer el rango de CBA que se construye a partir de una CBA máxima (CBA_{max}), es decir, el rango por ley es $(0,8 * CBA_{max}; CBA_{max})$. Esta CBA_{max} , deberá estimarse a partir de la CBA_{total} descontando el porcentaje de descarte supuesto para el año 2022. La proporción del descarte (pd) supuesto para el año 2022 y que deberá ser descontado de la CBA_{total} para establecer la CBA_{max} .

$$CBA_{max} = CBA_{total} - pd * CBA_{total}$$



3.3.2. Proyección del stock

Se analiza las probables trayectorias de la biomasa desovante como consecuencia de la aplicación de mortalidad por pesca igual a F_{RMS} y dos ponderadores de F_{RMS} igual a 0,9 y 0,7, considerando la incertidumbre del estatus (e.g., matriz de varianza/covarianza de ADMB) y los posibles estados de la naturaleza a futuro (e.g., niveles probables de reclutamiento futuro, escenarios de reclutamiento). Lo anterior permite analizar los niveles de riesgo de no alcanzar el objetivo de manejo BD_{RMS} en el mediano plazo (2 años biológicos hacia el futuro), considerando la incertidumbre del estatus (probabilidad de sobre-explotación y/o colapso) y los probables estados de la naturaleza a futuro.



3.4. Objetivo específico 4:

“Informar el avance del Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad en la Asesoría Científica (PMCCAC) realizado durante el presente estudio, respecto al cumplimiento de recomendaciones formuladas en procesos de RPEI y priorizadas por el CCT, cuando corresponda.”

Se informan los avances alcanzados durante el desarrollo de este estudio, conforme al Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría Científica (PMCCAC), elaborado por recurso y/o pesquería. Este PMCCAC no sólo se enfoca en las brechas de datos, información y conocimiento, sino que incluye la pertinencia, consistencia, calidad y coherencia de éstos con la situación general de la pesquería, acorde con los requerimientos de asesoría solicitados por la administración pesquera. Con esto, se desarrolla un análisis de la incertidumbre involucrada en los datos e información utilizada en la evaluación.

En este sentido, todo lo referido a sistemas o procesos fuera del alcance de este estudio (i.e., información disponible, nivel de conocimiento del recurso, etc.) son consignados para conocimiento y fines de administración pesquera. No obstante, en el ámbito de responsabilidad directa de este estudio, se informa de todas las recomendaciones realizadas en el Taller de Revisión Por Pares Externa e Independiente (RPPEI) con el objetivo de lograr la mejor aplicación del EME, conforme al estándar de análisis de la pesquería. Sobre la base de lo anterior, se incorporan los ajustes necesarios, proponiendo las acciones, actividades, metas, plazos y condiciones que se consideren necesarios para lograr disminuir las brechas identificadas y los requerimientos para alcanzar los estándares de asesoría previamente definidos.

A continuación, se detalla el contenido presentado la **Sección 4.4** de este informe:

- Esquema de trabajo y plan de actividades acordado con SUBPESCA.
- Mejoras realizadas al modelo de evaluación de stock
- Avance en la reducción de brechas.
 - Actividades desarrolladas durante el año 2018
 - Actividades desarrolladas durante el año 2019
 - Actividades desarrolladas durante el año 2020
 - Actividades desarrolladas durante el año 2021
- Recomendaciones realizadas en Revisión por Pares Externa e independiente (RPEI).
- Recomendaciones realizadas en Informe de evaluación técnica de proyectos del programa de investigación básica o permanente para la regulación pesquera y de acuicultura.

4. RESULTADOS

4.1. Objetivo específico 1:

“Implementar procedimientos de evaluación de stock basados en protocolos científicos para la determinación del estatus de sardina común, con arreglo al nivel de información, conocimiento e incertidumbre correspondiente, conforme a los estándares actuales en ciencia pesquera.”

4.1.1. Datos de entrada al modelo de evaluación de stock

El período de análisis de la evaluación de stock comienza en 1990/91 hasta el año 2020/21. A continuación, se detalla los datos actualizados en la asesoría de septiembre 2021. La información es agrupada en año biológico, es decir, el inicio de la serie (1991) contiene los datos registrados entre julio de 1990 a junio de 1991, mientras que el último año (2021), contiene la información registrada durante el año biológico julio 2020 a junio 2021 (**Figura 20**).

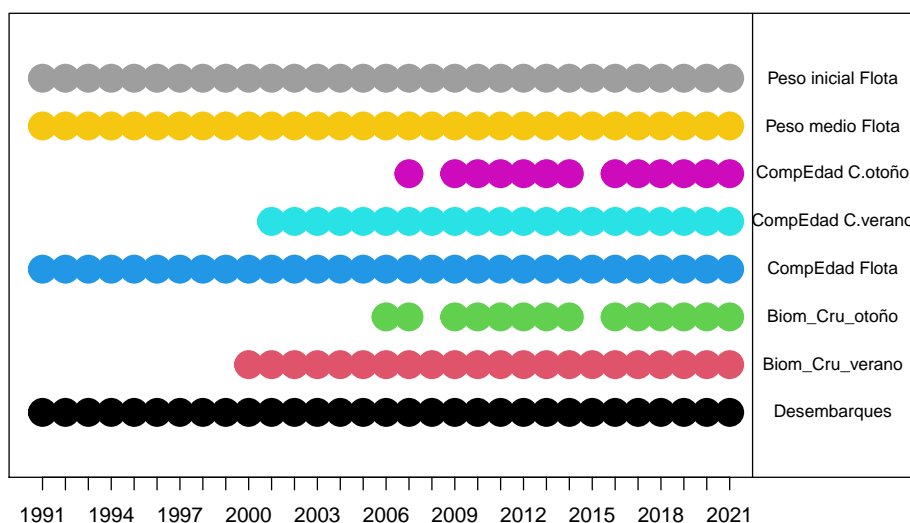


Figura 20. Series de tiempo de los datos de entrada al modelo de evaluación de stock de sardina común de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos. Los datos de desembarques, composición de edad de la flota y pesos medios e inicial, son datos agrupados en año biológico. Los datos de cruceros representa al año calendario.

Datos actualizados

- Biomasa del crucero acústico de otoño 2021 (**Tabla 19**)
- Composición de edad del crucero acústico de otoño 2021
- Biomasa del crucero acústico de enero 2021 (**Tabla 19**)
- Composición de edad del crucero acústico de enero 2021
- Captura 2020/21 sin incorporar descarte (**Tabla 20**)
- Captura 2020/21 con descarte incorporado (**Tabla 20**)
- Composición de edad de la flota 2020/21
- Pesos medios e iniciales 2020/21



Datos supuestos

- *Porcentaje de Descarte 2020/21*: Se asume igual a un 4 % de descarte (acordado en sesión del 25 de febrero del CCT-PP) lo que equivale a una captura descartada de 15.050 t. (**Tabla 20**)

Supuestos de proyección de 2 años biológicos 2021/2022 y 2022/2023

- Escenarios de reclutamiento promedio
- Mortalidad por pesca igual a F_{RMS}
- Pesos igual al promedio últimos 5 años
- Proporción de captura semestral 70/30

Descripción de datos de entrada

Una de las principales características del stock de sardina común es el comportamiento estacional de las capturas, donde cerca del 70 % de la captura total anual se obtiene al primer semestre de cada año, con máximos entre marzo y abril. Esta estacionalidad es altamente influenciada por el pulso de reclutamiento de enero, observándose una fuerte relación entre la biomasa estimada por el crucero de enero y los desembarques. Al respecto, se observa que durante los años 2015 al 2019, las biomásas acústicas de verano se mantuvieron en niveles en torno a los dos millones de toneladas, lo cual se ve reflejado también en una estabilidad en las capturas en torno a las 330 mil toneladas. Por otro lado, las biomásas acústicas estimadas por el crucero de otoño reflejan el efecto de la remoción ejercidas por la pesca y causas naturales, con biomásas en general menores a las estimadas en el crucero de verano, en torno a 1,5 millones de toneladas (**Tabla 19 y Figura 21**).

No obstante, para el año 2020 la biomasa estimada por el crucero acústico de verano se redujo a un millón de toneladas (54 % menor al 2019), la biomasa del crucero de otoño disminuye un 40 % respecto al 2019 y las capturas 2019/20 se redujeron un 9 % respecto al año previo. El desembarque 2020 está en torno a las 258.092 toneladas, equivalente a un 80 % de la CBA 2020 recomendada por el CCT-PP (321.307 toneladas).

La biomasa total estimada por el crucero de enero 2021 retorno a los niveles observados entre el 2013 al 2019 (2,36 millones de t), incrementando un 125 % respecto a lo estimado para el año 2020 (**Tabla 19 y Figura 21**). En el crucero de otoño, se estimó una biomasa de 1,1 millón de t, lo que equivale a un incremento del 26,8 % respecto del año anterior. En relación con la captura 2020/21 se registró un aumento del 43 % respecto del año biológico 2019/20 (**Tabla 20**).



Tabla 19. Índices de abundancia utilizadas en la evaluación de stock de sardina común provenientes de los cruceros de Verano (RECLAS), Otoño (PELACES), crucero de huevos (MPDH).

| Año calendario | Biomasa crucero de verano (toneladas) | Biomasa crucero de otoño (toneladas) | Biomasa desovante MPDH (toneladas) |
|----------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 1991 | | | |
| 1992 | | | |
| 1993 | | | |
| 1994 | | | |
| 1995 | | | |
| 1996 | | | |
| 1997 | | | |
| 1998 | | | |
| 1999 | | | |
| 2000 | 252.601 | | |
| 2001 | 567.819 | | |
| 2002 | 844.713 | | 498.337 |
| 2003 | 477.998 | | |
| 2004 | 351.125 | | 5.186 |
| 2005 | 339.783 | | 125.008 |
| 2006 | 2.178.397 | 552.880 | |
| 2007 | 2.134.043 | 188.675 | 168.611 |
| 2008 | 4.813.144 | | 109.162 |
| 2009 | 1.555.625 | 991.730 | 213.762 |
| 2010 | 2.623.565 | 2.467.720 | 579.715 |
| 2011 | 3.216.857 | 1.416.034 | 649.985 |
| 2012 | 3.843.000 | 1.217.169 | 157.893 |
| 2013 | 1.133.477 | 2.296.489 | 87.575 |
| 2014 | 3.079.434 | 1.805.815 | 83.554 |
| 2015 | 1.972.148 | | |
| 2016 | 2.032.684 | 1.482.799 | |
| 2017 | 2.025.002 | 1.565.315 | |
| 2018 | 2.424.330 | 1.577.507 | |
| 2019 | 2.275.425 | 1.421.176 | |
| 2020 | 1.050.175 | 867.257 | |
| 2021 | 2.363.380 | 1.100.020 | |



Tabla 20. Desembarques en toneladas, porcentaje de descarte supuesto, captura descartada (toneladas) y captura total (toneladas) estimadas en año biológico para sardina común de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos.

| Año | Desembarques (toneladas) | % descarte | Captura descartada (toneladas) | Captura total (toneladas) |
|---------|-----------------------------|------------|-----------------------------------|------------------------------|
| 1990-91 | 494.567 | 0 % | 0 | 494.567 |
| 1991-92 | 514.787 | 0 % | 0 | 514.787 |
| 1992-93 | 250.237 | 0 % | 0 | 250.237 |
| 1993-94 | 358.949 | 0 % | 0 | 358.949 |
| 1994-95 | 361.735 | 0 % | 0 | 120.608 |
| 1995-96 | 120.608 | 0 % | 0 | 361.735 |
| 1996-97 | 552.515 | 0 % | 0 | 552.515 |
| 1997-98 | 73.892 | 0 % | 0 | 73.892 |
| 1998-99 | 212.993 | 0 % | 0 | 212.993 |
| 1999-00 | 205.616 | 0 % | 0 | 205.616 |
| 2000-01 | 50.451 | 4 % | 2.018 | 52.469 |
| 2001-02 | 305.257 | 4 % | 12.210 | 317.467 |
| 2002-03 | 282.360 | 4 % | 11.294 | 293.654 |
| 2003-04 | 372.689 | 4 % | 14.908 | 387.597 |
| 2004-05 | 242.976 | 4 % | 9.719 | 252.695 |
| 2005-06 | 496.438 | 4 % | 19.858 | 516.296 |
| 2006-07 | 344.596 | 4 % | 13.784 | 358.380 |
| 2007-08 | 713.623 | 4 % | 28.545 | 742.168 |
| 2008-09 | 905.818 | 4 % | 36.233 | 942.051 |
| 2009-10 | 603.450 | 4 % | 24.138 | 627.588 |
| 2010-11 | 796.319 | 4 % | 31.853 | 828.172 |
| 2011-12 | 826.505 | 4 % | 33.060 | 859.565 |
| 2012-13 | 402.507 | 4 % | 16.100 | 418.607 |
| 2013-14 | 500.641 | 4 % | 20.026 | 520.667 |
| 2014-15 | 401.201 | 4 % | 16.048 | 417.249 |
| 2015-16 | 289.013 | 4 % | 11.561 | 300.574 |
| 2016-17 | 399.415 | 4 % | 15.977 | 415.391 |
| 2017-18 | 348.574 | 7 % | 24.400 | 372.974 |
| 2018-19 | 301.557 | 5 % | 15.078 | 316.634 |
| 2019-20 | 273.376 | 4 % | 10.935 | 284.311 |
| 2020-21 | 376.245 | 4 % | 15.050 | 391.294 |

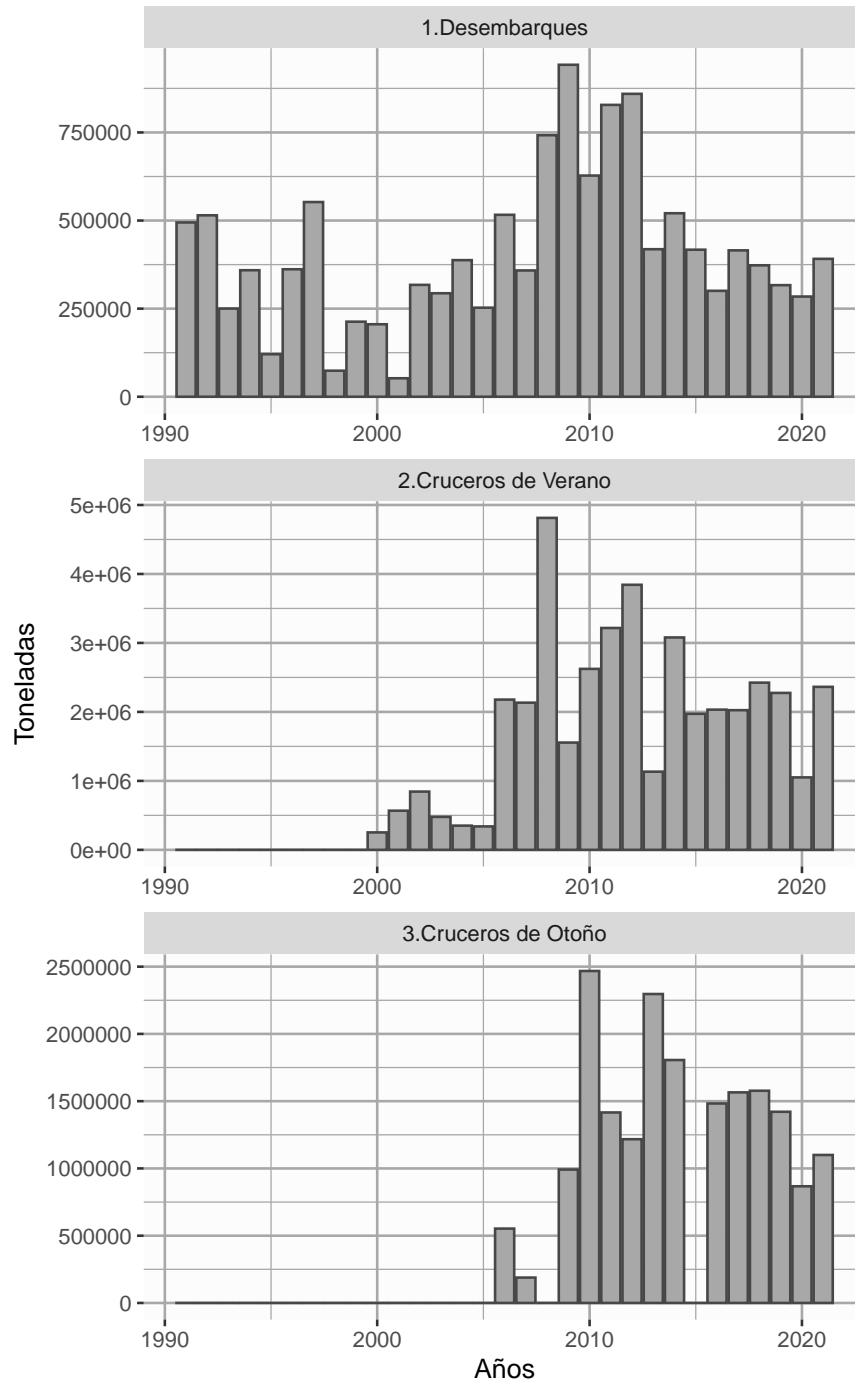


Figura 21. Serie de desembarques y biomazas estimadas por la evaluación hidroacústica de verano y otoño utilizadas como datos de entrada al modelo de evaluación de stock de sardina común de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos. Los datos de desembarques se agrupan en año biológico. Los datos de cruceros representa al año calendario.

Composición de edad y pesos medios

La pesquería de sardina común está sustentada principalmente por la abundancia del grupo de edad 0, con una proporción en torno al 60-70 % de la captura en número de la flota entre San Antonio-Corral. La captura en número a la edad se caracteriza por presentar una alta variabilidad interanual, siendo los años 2007, 2013, 2016, 2019 y 2020 los años con menor proporción de reclutas. Los pesos medios del grupo de edad 0 se encuentra en torno a los 8 grs. Se observa una estabilización de los pesos medios a partir del 2013 para todos los grupos de edad (**Figura 22 y 23**).

En relación de la composición de edad de los cruceros de verano se observa que el grupo de edad 0 representa el 77 % de la captura en número. Por otro lado, en el caso del crucero de otoño, el grupo de edad 0 representa el 67 % de la captura en número (**Figura 24 y 25**).

Los resultados del crucero de verano 2019 y 2020 presentan una disminución en los niveles de abundancia de la fracción recluta, el estimado de biomasa total del crucero de verano 2019 es sostenido por la fracción adulta (edad 1+). Mientras que el estimado 2020 es sostenido por individuos de edad 1+. Esta disminución se confirma al actualizar la composición de edad de la flota 2018/19 y 2019/20 y del crucero de otoño 2019 y 2020. Por lo tanto, la disminución de la biomasa total 2020 estaría fuertemente relacionada a la reducción del número de individuos de los grupos de edad 0 y 1 principalmente.

Los resultados del crucero de verano 2021 muestran un incremento significativo en los niveles de abundancia de la fracción recluta (94 % individuos de edad 0), a diferencia de los dos años previos, la biomasa total del crucero de verano 2021 es sostenido principalmente por la fracción recluta (edad 0), observándose una baja presencia de individuos adultos (edad 1+). Esta importante participación de la fracción recluta continúa en el crucero de otoño, con un 83 % de individuos de edad 0 y una baja presencia de ejemplares adultos (edad 1+).

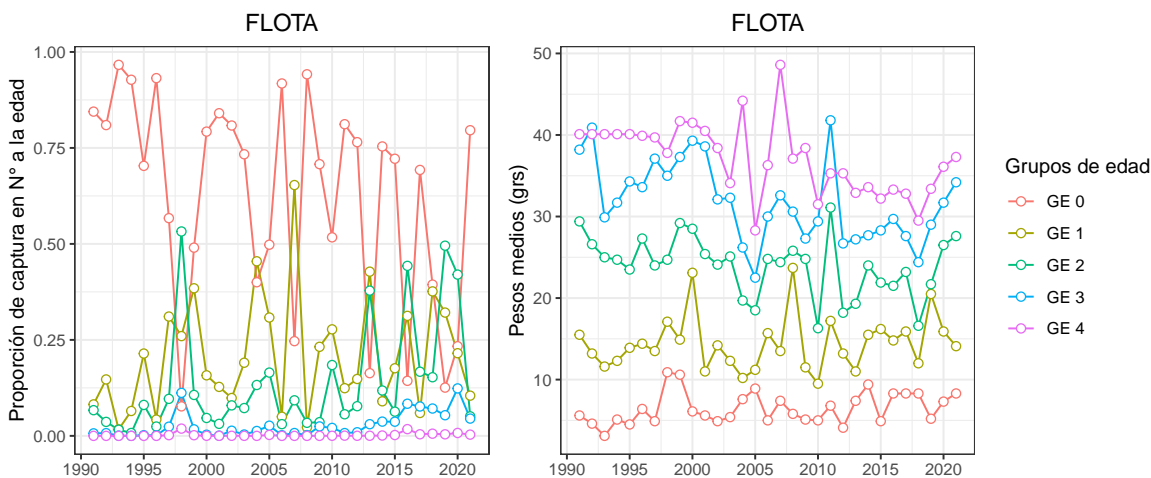


Figura 22. Variabilidad interanual de la proporción de la captura de la flota (panel izquierdo) y pesos medios (panel derecho) de cada grupo de edad (edad 0 a 4) de sardina común de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos.

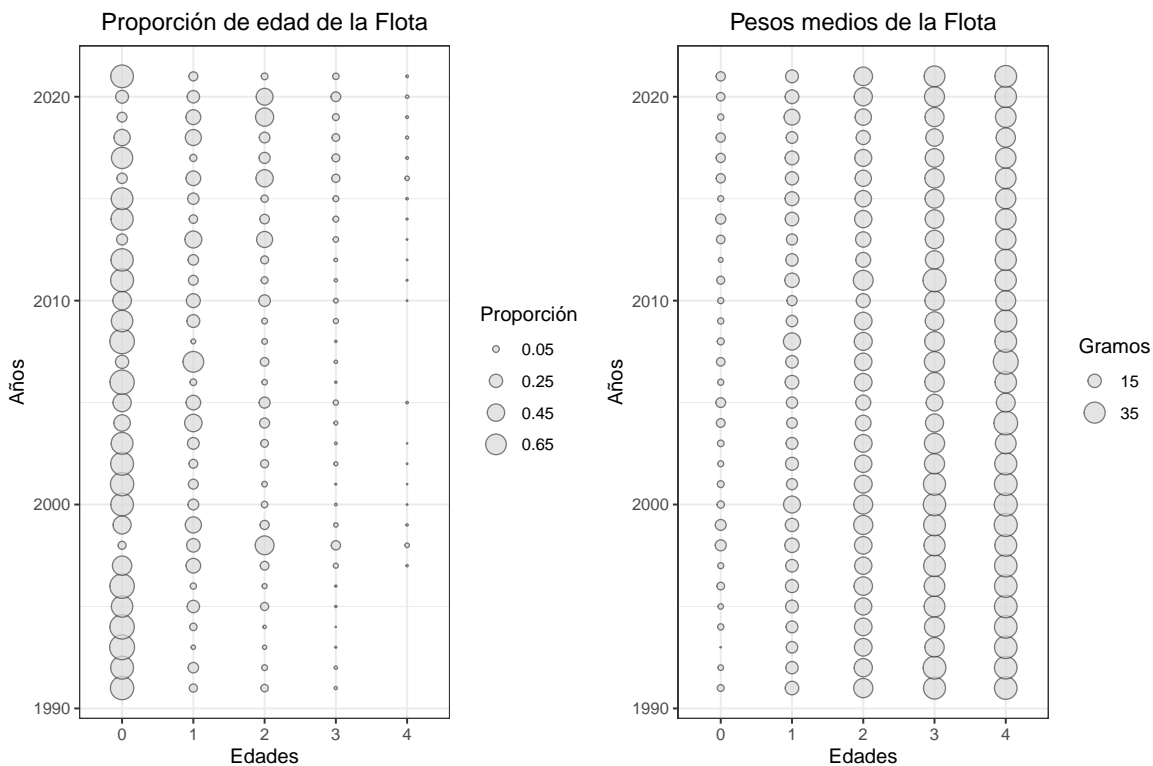


Figura 23. Composición de edad de la captura de la flota (panel izquierdo) y pesos medios (panel derecho) utilizados en la evaluación de stock de sardina común de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos.

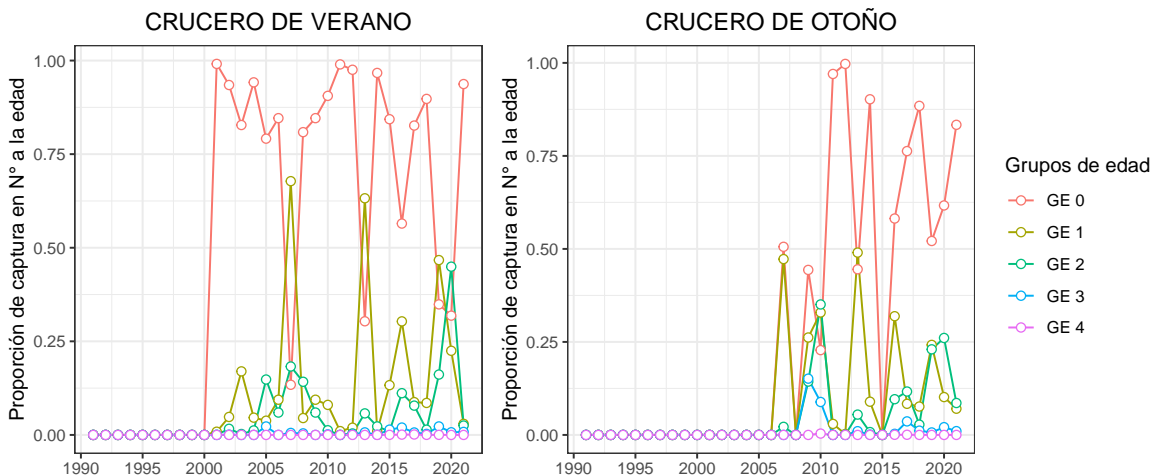


Figura 24. Variabilidad interanual de la proporción de la captura del crucero de verano (panel izquierdo) y crucero de otoño (panel derecho) de cada grupo de edad (edad 0 a 4).

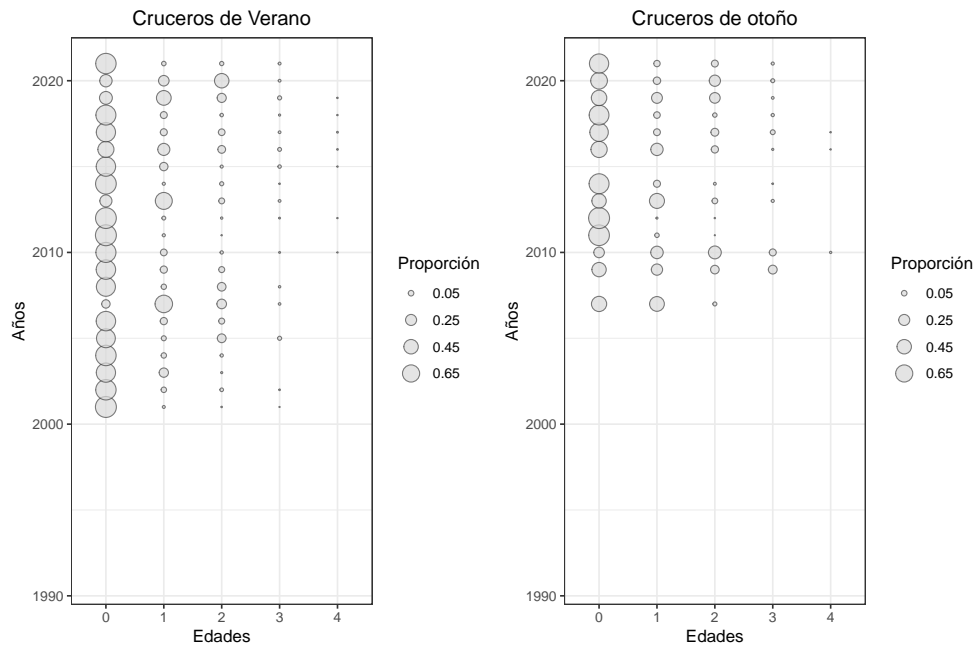


Figura 25. Composición de edad de la captura de los cruceros de verano (panel izquierdo) y otoño (panel derecho) utilizados en la evaluación de stock .

Madurez sexual

La talla media de madurez sexual se estima considerando el criterio de 50 % de ejemplares maduros, ya que se acepta que la madurez progresa con la talla o la edad de acuerdo a un modelo logístico de la forma:

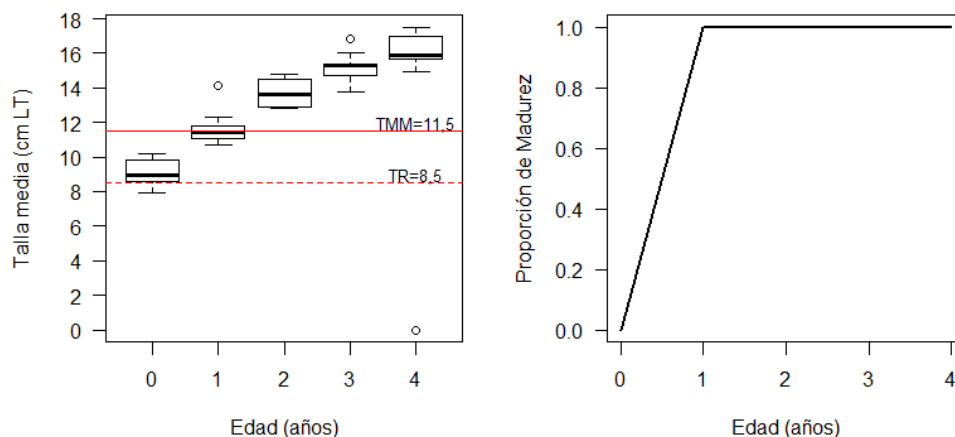
$$P(l) = \frac{1}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 * l)}$$

Donde P es la proporción de individuos maduros, es la talla (o edad), β_0 y β_1 son parámetros de posición y pendiente, respectivamente. La talla media de madurez ha sido estimada por varios autores para sardina común y los parámetros se resumen en la **Tabla 21**. Se observa que la talla media de madurez fluctúa entre 10 y 11,5 cm. En términos de la edad, se consideran completamente maduros a los individuos mayores o iguales a 1 año de edad, mientras que los individuos de edad 0 se consideran inmaduros dado que a esa edad la madurez es menor del 4 %.

Aranís *et al.* (2006) estimaron una talla media de madurez en 11,5 cm LT cuando los virginales son cercanos al 0 % y la maduración incipiente es casi un 90 % de hembras maduras. La talla media de madurez (TMM) que es finalmente utilizada como referencia en la evaluación de stock es la reportada por Aranís *et al.* (2006) (**Figura 26**).

Tabla 21. Parámetros para la ojiva de madurez de sardina común, reportado por varios autores.

| Parámetro de posición β_0 | Pendiente β_1 | Talla media de madurez $L_{50\%}$ (cm) | Método | Fuente |
|------------------------------------|------------------------|---|-------------------|--------------------------------|
| | | 11 | EMS Macroscópicos | Arrizaga (1981) |
| | | 10 | Histología | Mujica y Rojas (1984) |
| | | 11 | IGS | Cubillos y Arancibia (1993) |
| 11,6 | -1,05 | 11 | EMS macroscópicos | Arancibia <i>et al.</i> (1994) |
| 20,32 | -2,05 | 10 | EMS macroscópicos | Cubillos <i>et al.</i> (1999) |
| | | 11,5 | EMS macroscópicos | Aranís <i>et al.</i> (2005) |
| 18,442 | -1,644 | 11,2 | Histología | Cubillos <i>et al.</i> (2009) |


Figura 26. Talla media a la edad estimada en las claves talla-edad de las capturas para el período 2001-2015 (TMM= talla media de madurez y TR=Talla media de reclutamiento) y Ojiva de madurez a la edad de sardina común.

Mortalidad natural (M)

Respecto de las estimaciones de tasas de mortalidad natural de este recurso, Canales *et al.* (2007) realizaron una revisión de las estimaciones indirectas de M, cuyos límites están entre $M=0,85 \text{ año}^{-1}$ (Cubillos & Arancibia 1993) y $M=1,2 \text{ año}^{-1}$ (Barría 2001) (**Tabla 27**).

Para propósitos de evaluación de stock se había estado empleando 1,2 como valor de referencia constante de M entre años y edades. Al respecto, en el reporte de la revisión por pares de sardina común se sugiere utilizar un rango de valores fijos de M, ampliando el rango de estimaciones directas y el valor estimado a partir del modelo y de esta forma crear un caso base de un set integrado de posibles valores de M. Por consiguiente, se probaron tres escenarios con $M=1,2 \text{ año}^{-1}$, $M=0,85 \text{ año}^{-1}$, $M=1,0 \text{ año}^{-1}$ y $M=\text{estimado por el modelo}$. En base a estos resultados, se está trabajando con el valor aproximado de $M=1,0 \text{ año}^{-1}$ para el caso base actual el cual representa una condición intermedia entre los escenarios analizados y un menor impacto a nivel de CBA.



Tabla 22. Estimaciones de mortalidad natural para la sardina común centro-sur (Canales *et al.*, 2007).

| Área | Método | M ($año^{-1}$) | Datos | Referencia |
|-------------|----------------------------|-------------------|-----------|-------------------------------|
| Talcahuano | Pauly (1980) | 0,85 | 1990-1991 | Cubillos & Arancibia (1993) |
| VIII Región | Average of several methods | 1,30 | 1990-1993 | Cubillos <i>et al.</i> (1994) |
| Talcahuano | Average weighted | 0,96 [0,71 - 1,3] | 1990-1997 | Cubillos <i>et al.</i> (1998) |
| Talcahuano | Hoening (1983) | 1,2 [0,50 - 2,39] | | Barría <i>et al.</i> (2001) |

4.1.2. Diagnóstico del modelo de evaluación de stock

Proceso de actualización de datos

Cada proceso de revisión de CBA involucra la actualización y/o supuestos de datos para evaluar el impacto en las variables de estado asociado a la incorporación incremental de piezas de información. Al respecto, la actualización de datos de la asesoría actual corresponde principalmente a la información de la composición de edad y pesos medios de la flota del año biológico 2020/21.

La composición de edad registrada por la flota comercial a junio 2021, muestra que la captura estuvo sostenida principalmente por peces de edad 0, registrándose una baja proporción de peces capturados de edad 1 a 4 (menos del 10 %) **Figura 27**. Respecto a la actualización de los pesos medios a la edad registrados a junio 2021 **Figura 27**, se observa una disminución de un 13 % en el peso de individuos de edad 1 y una disminución del 2 % en peces de edad 0.

Para mantener la consistencia en el proceso de evaluación del stock y estimación de CBA, se utilizó un modelo edad estructurado igual al usado en las asesorías previas (julio 2021 y marzo 2021). Con objeto de evaluar el impacto en las variables de estado debido a la incorporación de nuevos datos, se realizó un proceso incremental de incorporación de piezas de información de acuerdo a la **Tabla 23**.

En la **Tabla 24** y **Figura 28** se muestra que no existen diferencias significativas entre la asesoría previa y actual al considerar la incorporación y actualización de la información en las principales variables de estado para el caso 1 (asesoría de julio 2021, MAE0721b). La incorporación de la composición de edad de la flota a junio 2021 (caso 2), no tiene efecto significativo en ninguna de las variables analizadas. La actualización de los pesos medios a junio 2021 (caso 3), genera un incremento del 4 % en el reclutamiento y una disminución del 4 % de la BD y BD/BD_{RMS} y un incremento del 2 % de la mortalidad por pesca, producto de la disminución de los pesos medios del grupo de edad 1 principalmente **Figura 28**.

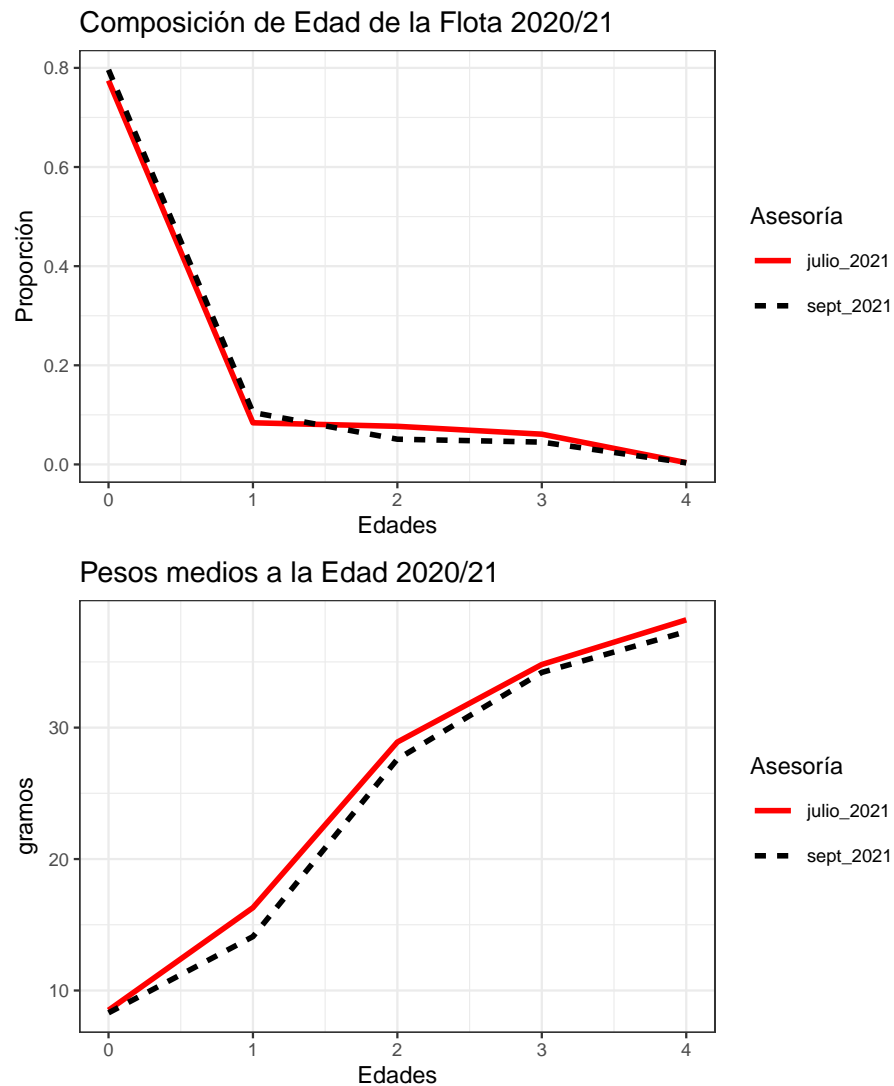


Figura 27. Comparación entre la proporción de edad de la flota y los pesos medios a la edad de sardina común de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos. Se compara la información utilizada en la asesoría de julio y septiembre 2021.

Tabla 23. Escenarios de que permiten evaluar el impacto de la incorporación de datos actualizados en el proceso de actualización

| Casos | Descripción |
|----------------------|---|
| 1 _{MAE0721} | Caso base asesoría julio 2021 |
| 2 | Actualiza composición de edad de la flota a junio 2021 |
| 3 | Actualiza pesos medios e iniciales a la edad a junio 2021 |

Tabla 24. Estimaciones de las principales variables de estado para el caso 1 (asesoría julio 2021, MAE0721b) comparado con los resultados según la incorporación de cada pieza de información y en su conjunto (caso 3, asesoría septiembre 2021, MAE0921b). Se presenta el valor de estimación central y la diferencia en términos porcentuales. R= Reclutamiento, BD= Biomasa desovante, BD/BD_{RMS} = Reducción de la población respecto el RMS y F= Mortalidad por pesca.

| Casos | R | BD | BD/BD_{RMS} | F | R.diff | BD.diff | $BD/BD_{RMS}.diff$ | F.diff |
|-------|------|-------|---------------|------|--------|---------|--------------------|--------|
| 1 | 22,1 | 511,1 | 0,62 | 0,32 | | | | |
| 2 | 22,2 | 506,5 | 0,62 | 0,32 | 0,01 | -0,01 | -0,01 | 0 |
| 3 | 22,9 | 492,0 | 0,60 | 0,33 | 0,04 | -0,04 | -0,04 | 0,02 |

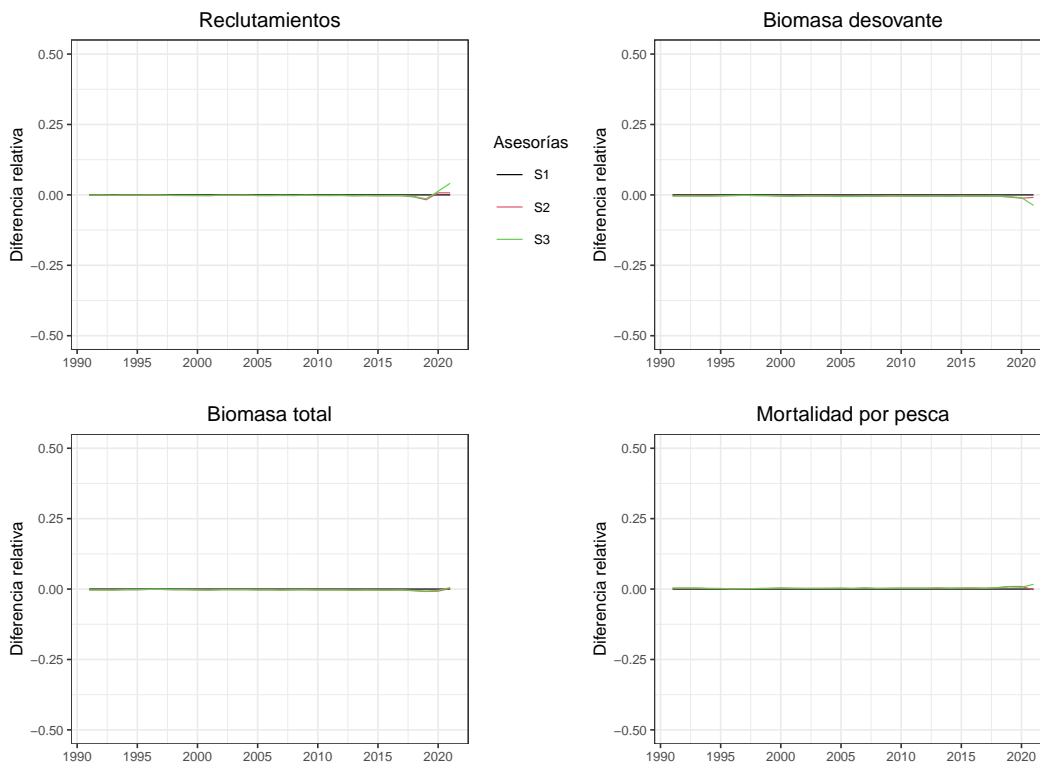


Figura 28. Diferencias relativas de las estimaciones de las principales variables de estado para el caso base (Asesoría de julio 2021) comparado con los resultados según la incorporación de cada pieza de información.

Ajuste del modelo a los datos y análisis de residuos

Los índices de abundancia de los cruceros acústicos de verano y otoño contienen un importante nivel de variabilidad que se resume en la amplitud de los intervalos de confianza supuestos con coeficiente de variación $cv=0,3$. El modelo reproduce la tendencia general de la variabilidad en los niveles de biomasa que han presentado las estimaciones de cruceros, siendo los valores más altos los que se escapan del ajuste, lo cual es consistente con la distribución de probabilidades empleada log-normal que considera sesgo positivo en su distribución. La **Figura 29** muestra que a partir del 2014 el modelo ajusta muy bien la señal de los cruceros acústicos de verano y otoño.

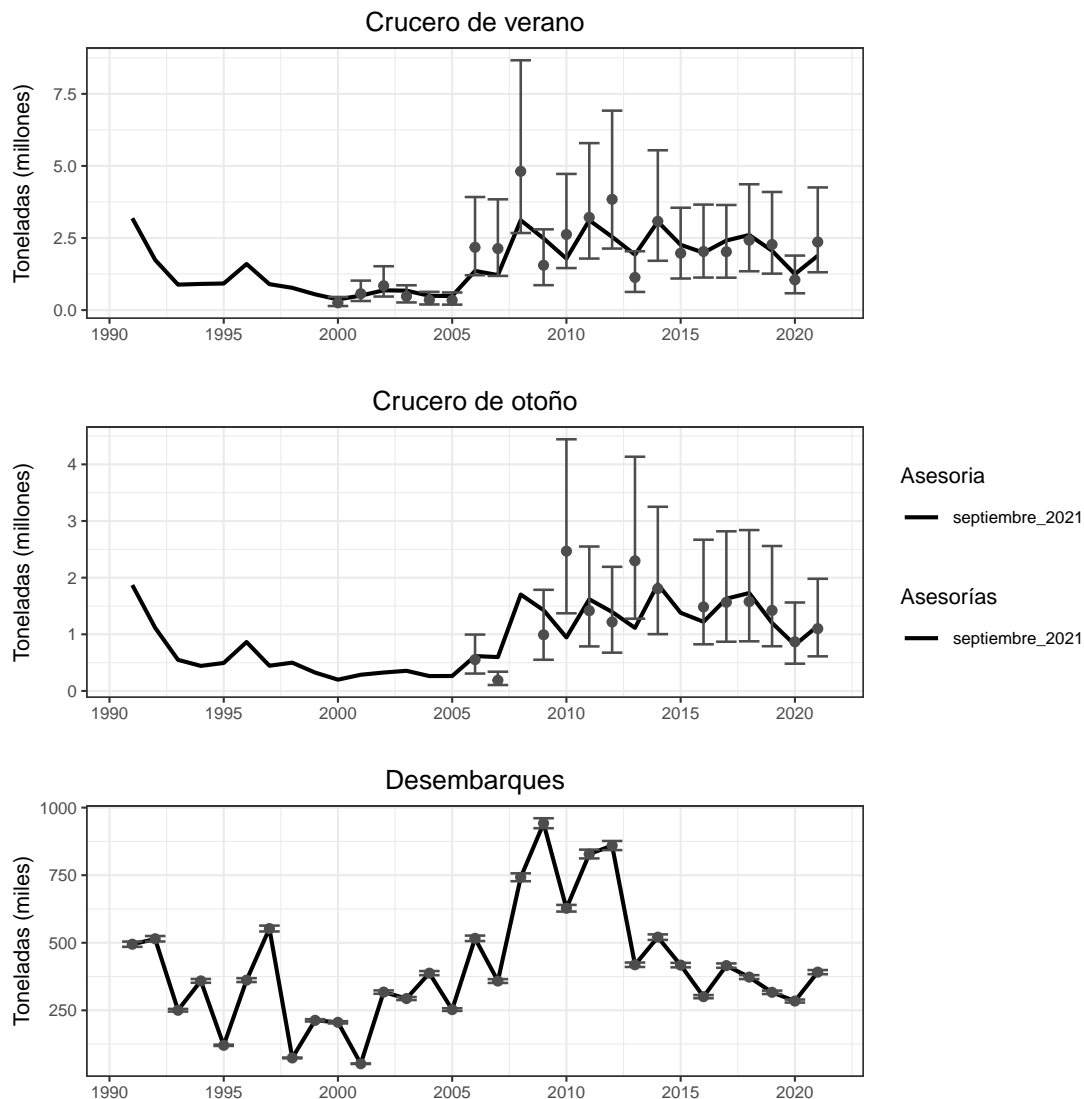


Figura 29. Ajustes del modelo anual en edades a los valores de biomasa de cruceros de verano, otoño y desembarques. Las barras corresponden al intervalo de confianza asintótico y el círculo al valor del estimador central. Los años de la serie de desembarques corresponden a año biológico.

Se destaca que mientras por una parte los residuales del modelo no sugieren tendencias, es decir, la varianza residual es relativamente constante y homogénea entre años, el diagrama QQ indica que en términos generales la linealidad en la escala log se verifica en todos los índices. Sin perjuicio de esto, la serie de cruceros de verano son los que tienen mayor variabilidad y lejanía relativa respecto de la línea esperada (**Figura 30**). Los datos observados de captura (desembarques) se asumen insesgados y precisos con un CV de residuos de 0,01 lo cual se refleja en un buen ajuste del modelo a los datos observados.

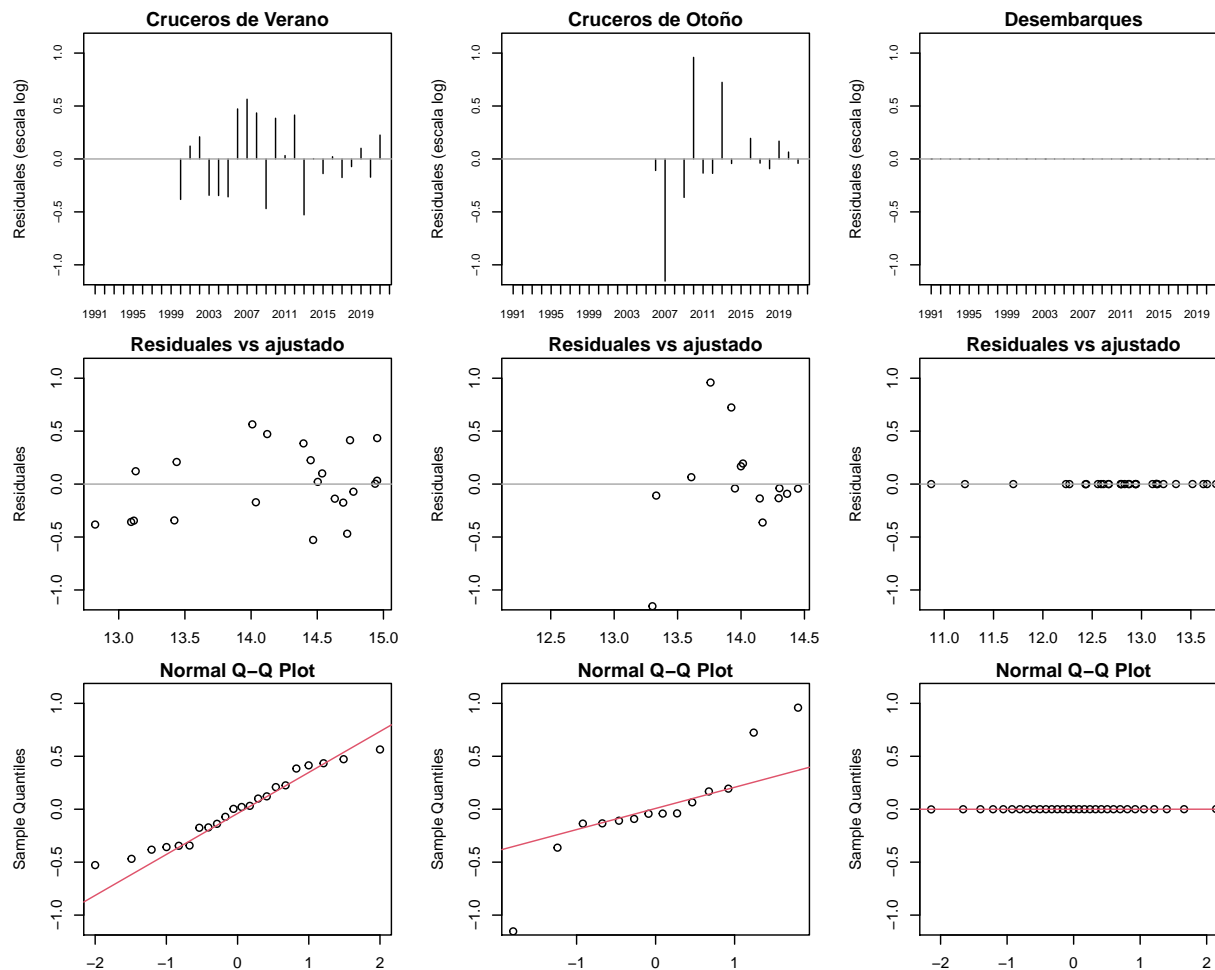


Figura 30. Residuales (escala log) del ajuste del modelo base actual a los datos observados.

Composición de edad

El ajuste del modelo a la información de composición de edades en general presenta un buen desempeño, particularmente en representar de mejor forma la composición de edades de los cruceros de verano (**Figura 31, 32 y 33**). El supuesto de invariabilidad anual de los patrones de explotación como medida de parsimonia, genera algunos desajustes en las composiciones de edades de las capturas, principalmente al inicio de la serie histórica y grupo de edad 0. El comportamiento de los residuales de las composiciones de edades de los cruceros sugiere ciertos patrones que se reflejan principalmente en una tendencia a la subestimación de los grupos de edad 0 en los cruceros de verano y otoño. (**Figura 34**).

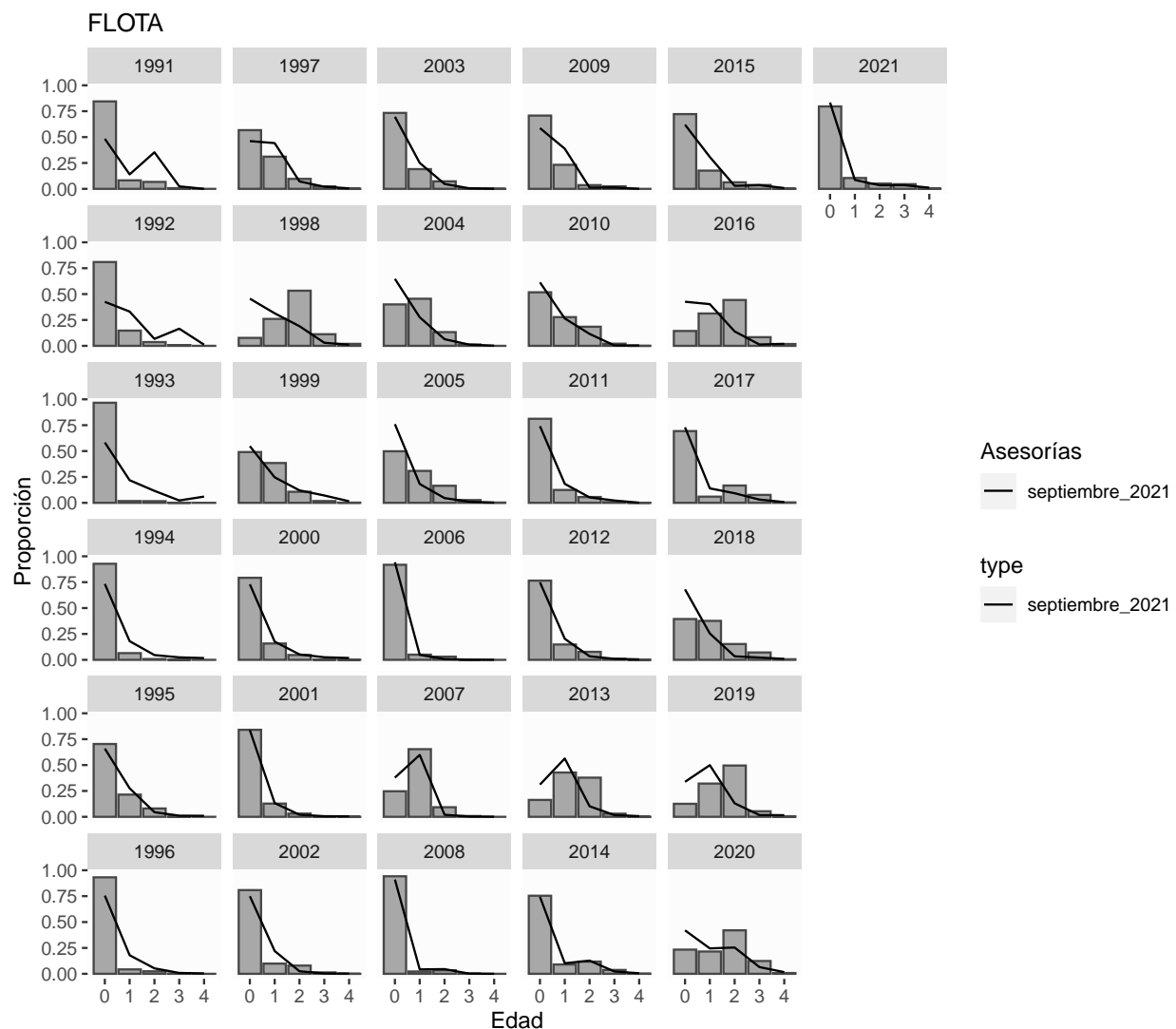


Figura 31. Ajuste del modelo base a las composiciones de edades de la flota de sardina común de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos. Los años corresponden a año biológico.

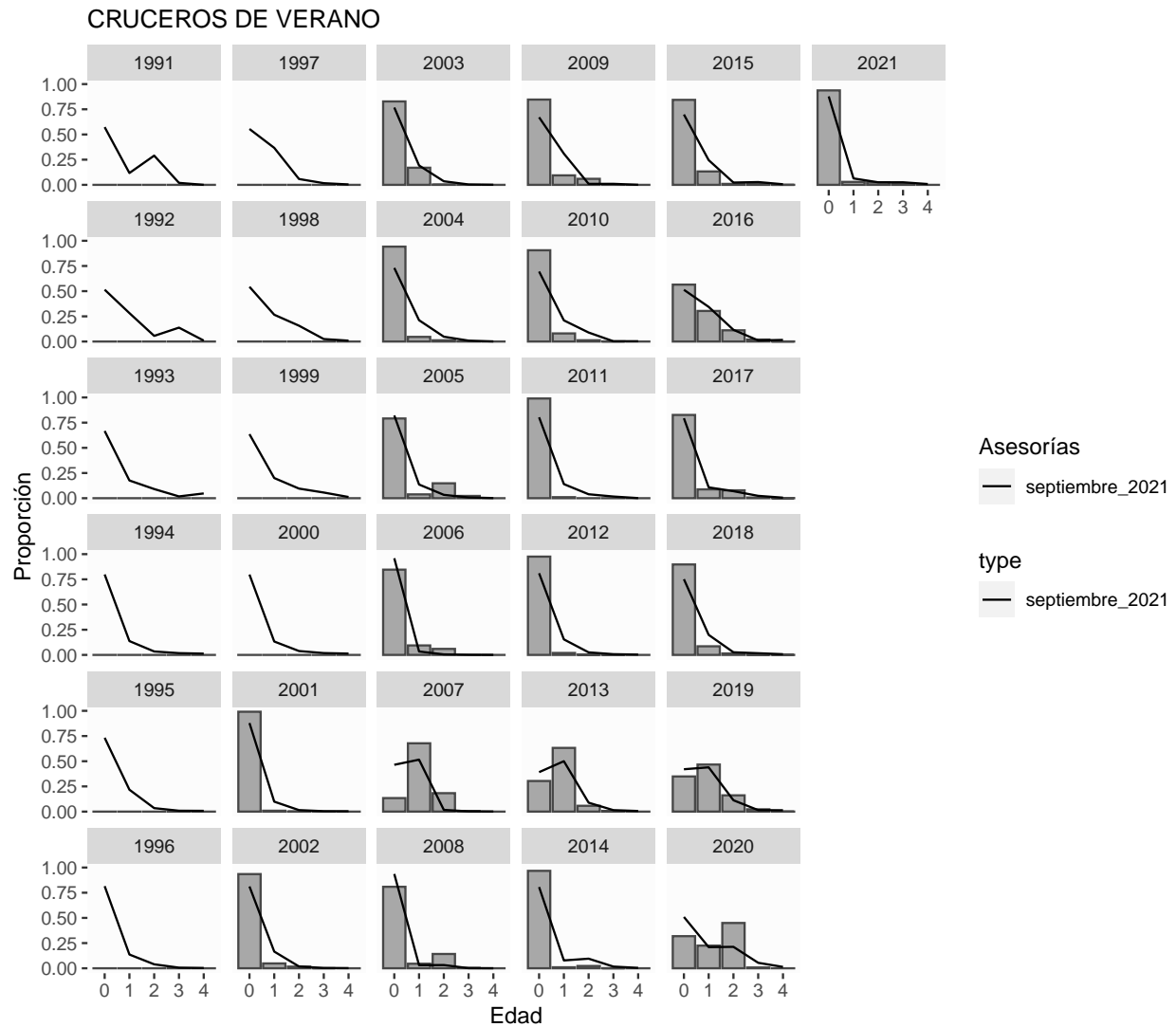


Figura 32. Ajuste del modelo base a las composiciones de edades de los Cruceros de verano de sardina común de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos.

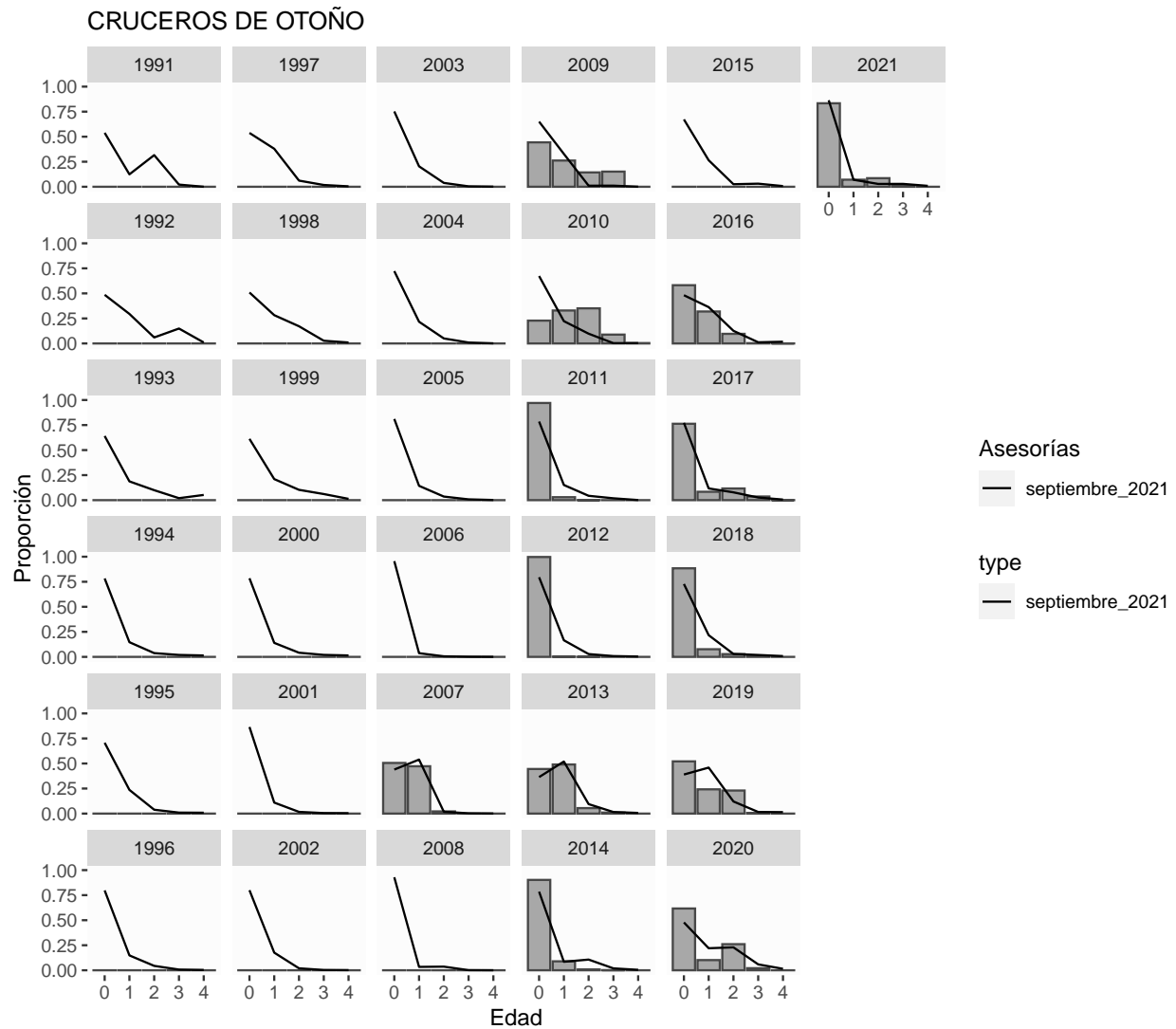


Figura 33. Ajuste del modelo base a las composiciones de edades de los Cruceros de otoño de sardina común de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos.

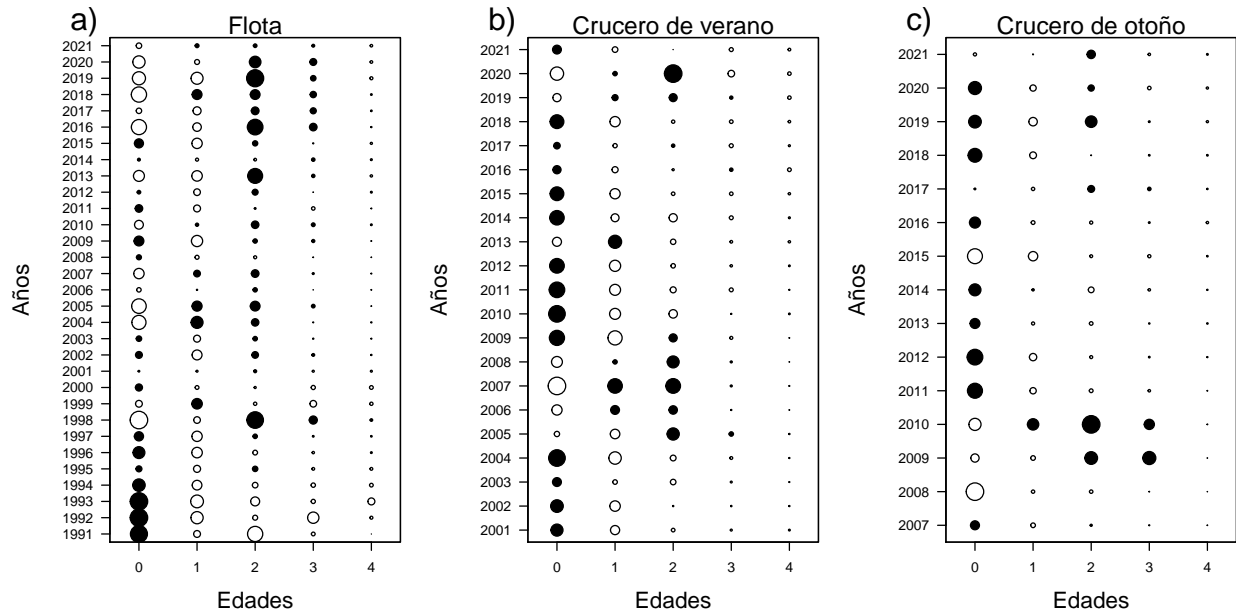


Figura 34. Residuales del modelo base actual a las composiciones de edades de la flota y cruceros. Subestimaciones (círculos negros) y sobreestimaciones (círculo blanco), donde el tamaño corresponde a la magnitud relativa de error por edad.

Comparación con evaluaciones anteriores

Se comparan los resultados de los principales indicadores de estatus del modelo base actual (septiembre 2021: MAE0921), con versiones anteriores (julio 2021, marzo 2021, sept 2020, julio 2020, marzo 2020, sept 2019) para evaluar la consistencia de la evaluación presente (**Figura 35**). Al respecto, el análisis no muestra diferencias significativas entre asesorías en términos de reclutamientos y biomasa desovante. Las diferencias observadas en términos de la mortalidad por pesca tiene relación con el supuesto de captura utilizado en las asesorías de marzo, que es corregido en la asesoría de julio y septiembre.

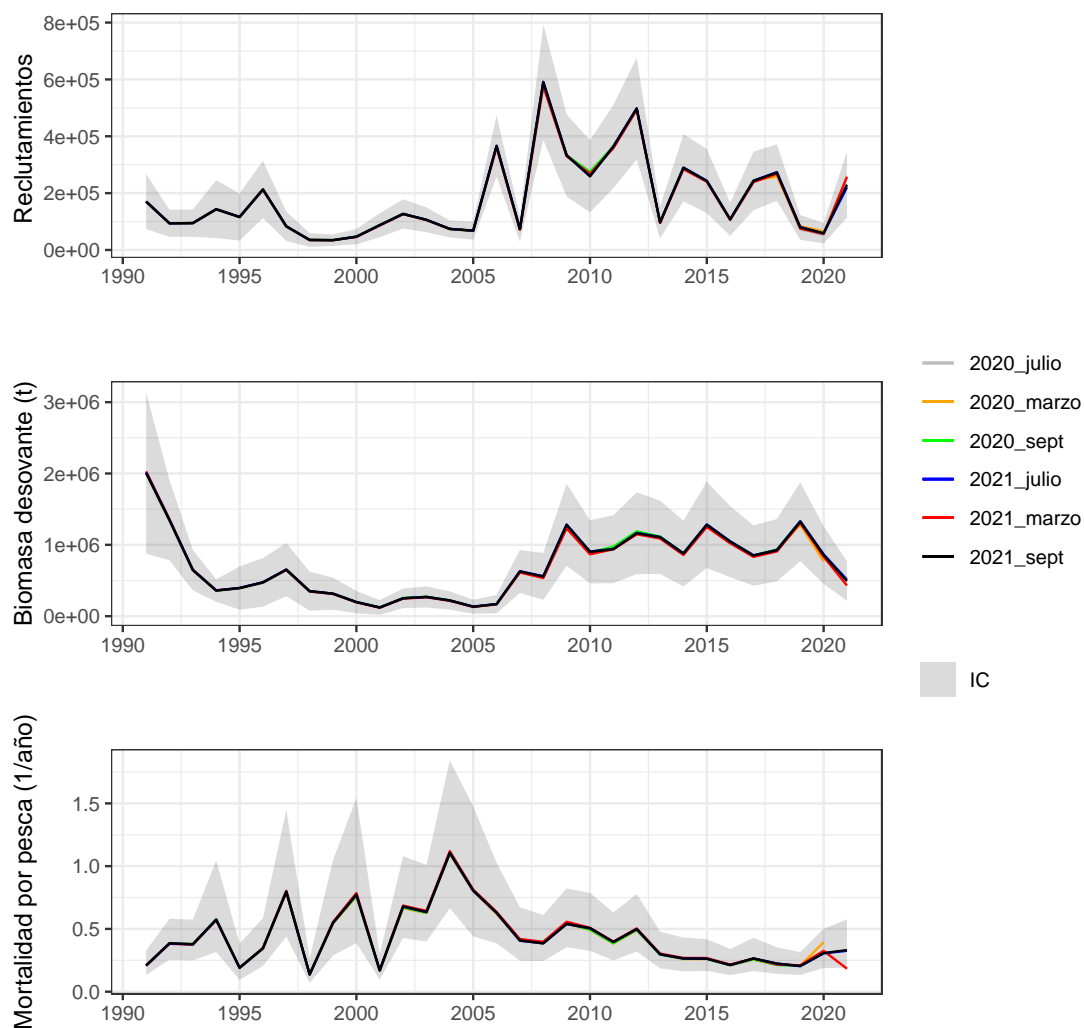


Figura 35. Comparación con asesorías anteriores del reclutamiento, biomasa desovante y mortalidad por pesca ($F_{año}^{-1}$) de la sardina común. Los años en el eje x corresponden a año biológico.

Análisis retrospectivo

En la **Figura 36** se muestra el patrón retrospectivo estándar y relativo de los reclutas, biomasa desovante y de la mortalidad por pesca de sardina común para el caso base de septiembre 2021 (MAE0921). El análisis retrospectivo del modelo de evaluación muestra que en términos de rho (promedio de anomalías retrospectivas) la reducción de información genera un patrón de subestimación de los reclutas y de la biomasa desovante ($\rho = -0,1$ y $\rho = -0,02$, respectivamente), con una sobreestimación de la mortalidad por pesca ($\rho = +0,05$). En general, los últimos años de las series pueden variar sustancialmente entre las sucesivas actualizaciones, mientras que hacia los primeros años tienden a converger a valores estables. La varianza estadística de las variables utilizadas para medidas de manejo tiende a aumentar en los últimos años de la serie, por lo tanto, son considerados estimaciones menos confiables.

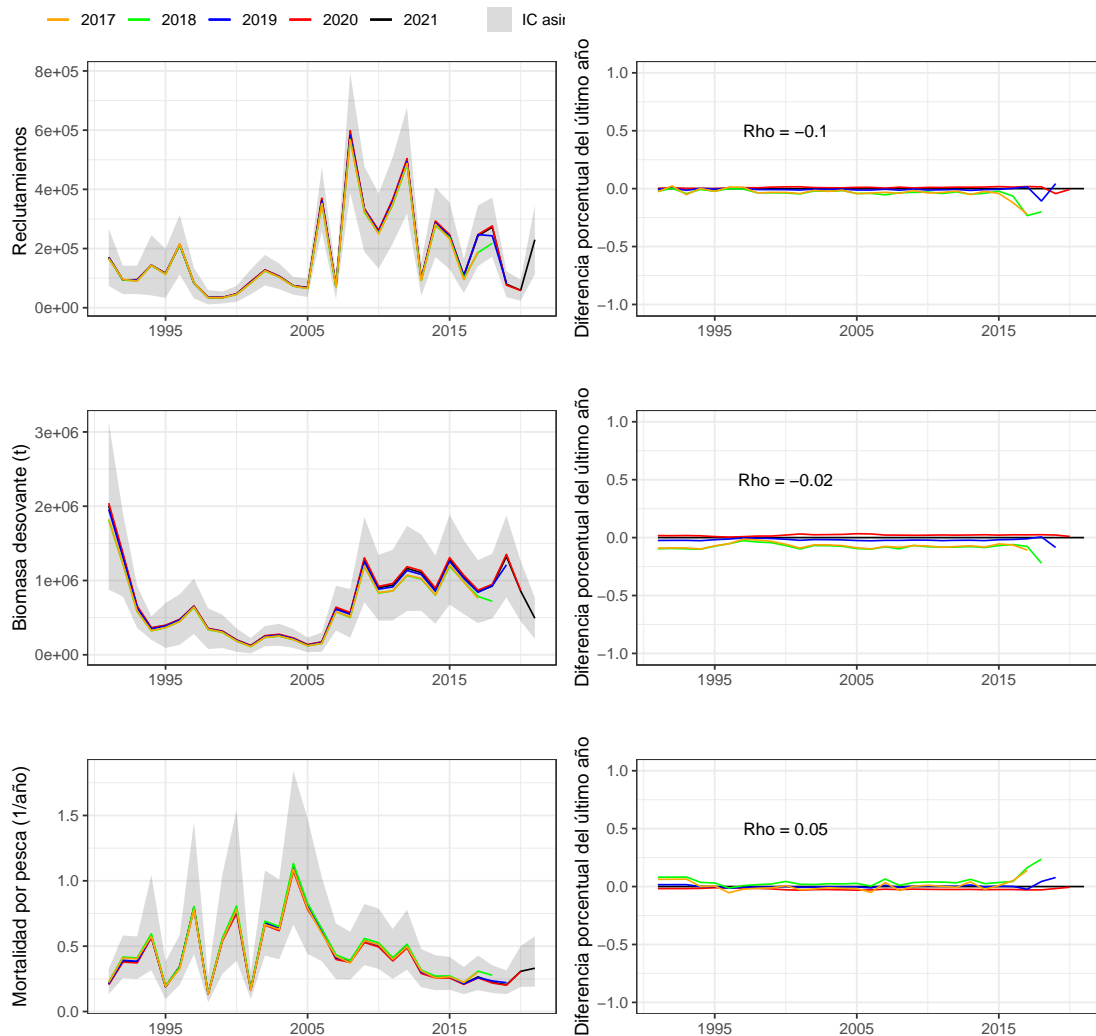


Figura 36. Patrón retrospectivo estándar (panel izquierdo) y relativo (panel derecho) de los reclutamientos, biomasa desovante y de la mortalidad por pesca de sardina común centro-sur para el modelo base actual. Los años en el eje x corresponden a año biológico.

Perfil de verosimilitud

La **Figura 37** muestra el perfil de verosimilitud realizado para la asesoría de septiembre 2021 de cada fuente de dato cuyo mínimo representa la estimación máxima a posteriori del reclutamiento medio (R_0) para cada fuente de error del caso base. El perfil muestran que los datos cuyos perfiles estuvieron más próximos entre si y la diferencia del log verosimilitud respecto del mínimo se elevó por sobre el criterio estadístico $X^2 = 1,92$ fueron la biomasa acústica de verano (Reclas), la proporción de edad del crucero de verano (propRecl).

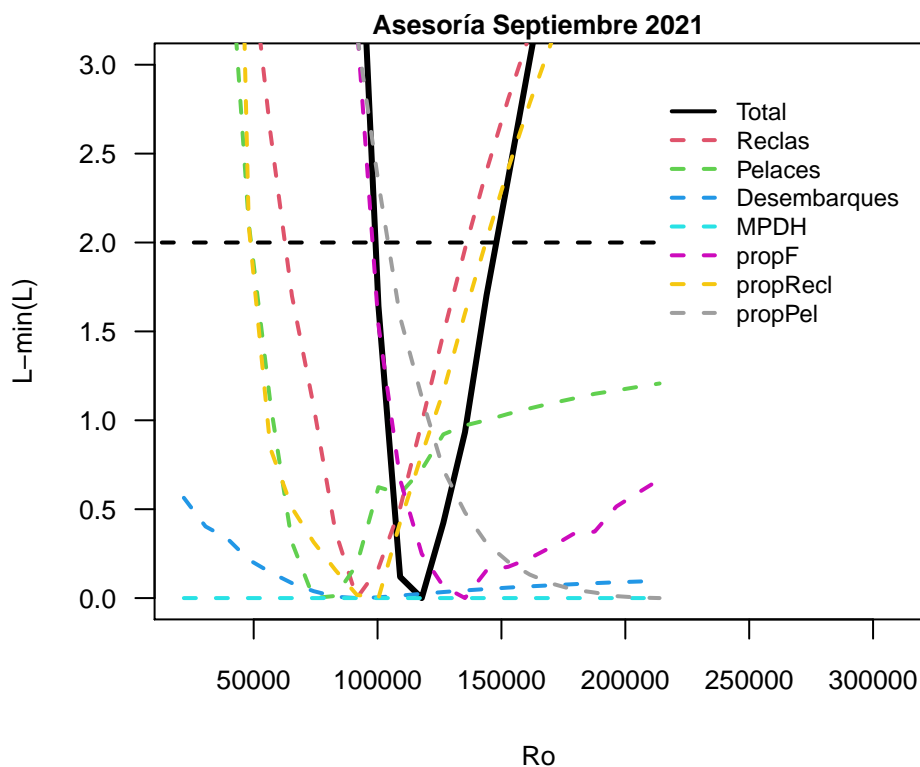


Figura 37. Perfiles de verosimilitud donde la línea horizontal representa el nivel crítico para el test χ^2 .



4.2. Objetivo específico 2:

“Establecer el estatus actualizado de sardina común, sobre la base de sus principales indicadores estandarizados de estado y flujo, propagando para estos efectos todas las fuentes de incertidumbre subyacente a la pesquería.”

4.2.1. Indicadores del stock

Reclutamientos:

Las tendencias de los reclutamientos han mostrado importantes fluctuaciones interanuales y en su historia conocida se aprecian tres períodos relevantes, a) Reclutamiento promedio del período 1991-2007 con los niveles más bajos de reclutamientos (114 mil millones de peces), b) Reclutamiento promedio del período 2008-2012 con los más altos niveles de reclutamiento (410 mil millones de peces) y c) Reclutamiento promedio del período 2013-2021 en torno a 180 mil millones de peces. En relación a los tres períodos relevantes, el reclutamiento 2021 es un 94 % mayor al Reclutamiento bajo (período 1991-2007), un 46 % menor al Reclutamiento alto (período 2008-2012) y un 23 % mayor al Reclutamiento medio (2013-2021). Además, se destaca una recuperación importante de la clase anual 2021 respecto de los bajos niveles estimados en los 2 años precedentes (**Tabla 25 y Figura 38**).

Biomasa total y desovante:

La biomasa total de este recurso, es sustentada esencialmente en los grupos de edad 0 y 1 año. En general, los grupos de edad 2+ no revisten mayor contribución en la producción tanto a nivel de desove como de biomasa disponible a la flota. La tendencia de la biomasa total muestra un importante crecimiento a partir del año 2008 que genera un cambio de nivel que se mantiene hasta el 2018. Sin embargo, presenta una alta variabilidad producto de las fluctuaciones del reclutamiento. El promedio de la biomasa total para el período de mayor productividad de sardina común entre los años 2008 y 2012 es de 2,7 millones de toneladas. Para el año 2021 se estimó una biomasa total de 2 millones de toneladas, un 26 % menor al promedio del período de mayor productividad y un 21 % mayor al promedio histórico de la serie (promedio 1991-2021 = 1,65 millones de t.) (**Tabla 25 y Figura 38**). Por otro lado, la biomasa desovante promedio de la serie histórica se encuentra en torno a 718 mil toneladas, mientras que el promedio de los últimos 9 años (período 2013-2021) de la serie es de 980 mil toneladas. Al respecto, la biomasa desovante esperada para el año biológico 2020/2021 es un 29 % menor al promedio histórico y un 48 % menor al promedio de los últimos 9 años (período 2013-2021) (**Tabla 25 y Figura 38**). La biomasa desovante al Máximo Rendimiento Sostenido (BD_{RMS}) está en torno a las 820 mil toneladas, de esta forma la $BD_{2020/2021}$ esperada está un 38 % bajo BD_{RMS} (**Tabla 26 y ?? y Figura 38**). La biomasa desovante está sustentada principalmente por la fracción adulta, correspondiente a individuos de edad 1+, la cual disminuyó su abundancia producto de la disminución del reclutamiento de dos años previos consecutivos 2019 y 2020 junto a la disminución de la biomasa adulta (1+ años) el 2020, provocando que la biomasa desovante del año biológico 2020-21 se reduzca significativamente respecto a años previos.

Mortalidad por pesca:

La mortalidad por pesca (F_t) ha sido más bien baja, en general menor a la mortalidad natural ($M=1,0 \text{ año}^{-1}$), excepto para el año 2004 cuando los niveles de biomasa eran bajos. Esto se ve reflejado en las capturas, que, en promedio, han seguido las fluctuaciones en biomasa con tasas de explotación moderadas (**Tabla 25**

y **Figura 38**). A partir del año 2005, la mortalidad por pesca ha seguido una tendencia al descenso, acentuada desde el año 2013 bajo el valor de F_{RMS} producto de la aplicación de F60 %. Para el año 2020/2021 se estima una $F_t=0,33 \text{ año}^{-1}$, en torno a un 10 % sobre F_{RMS} .

Selectividades:

Por su parte, las selectividades de la flota y cruceros de otoño indican que el recurso alcanza su completo reclutamiento a la pesquería a la edad de 1 año cuando su retención es del 100 % aprox., mientras que los individuos de edad 0 (reclutamientos) son vulnerados entre 70 % (flota) y 84 % (crucero de otoño). De igual forma, la información del crucero acústico de verano indica que todos los individuos son vulnerables en un 100 % por el arte de pesca empleado (arrastre de media-agua y cubre-copo) y cubiertos por el diseño de muestreo (**Figura 39**).

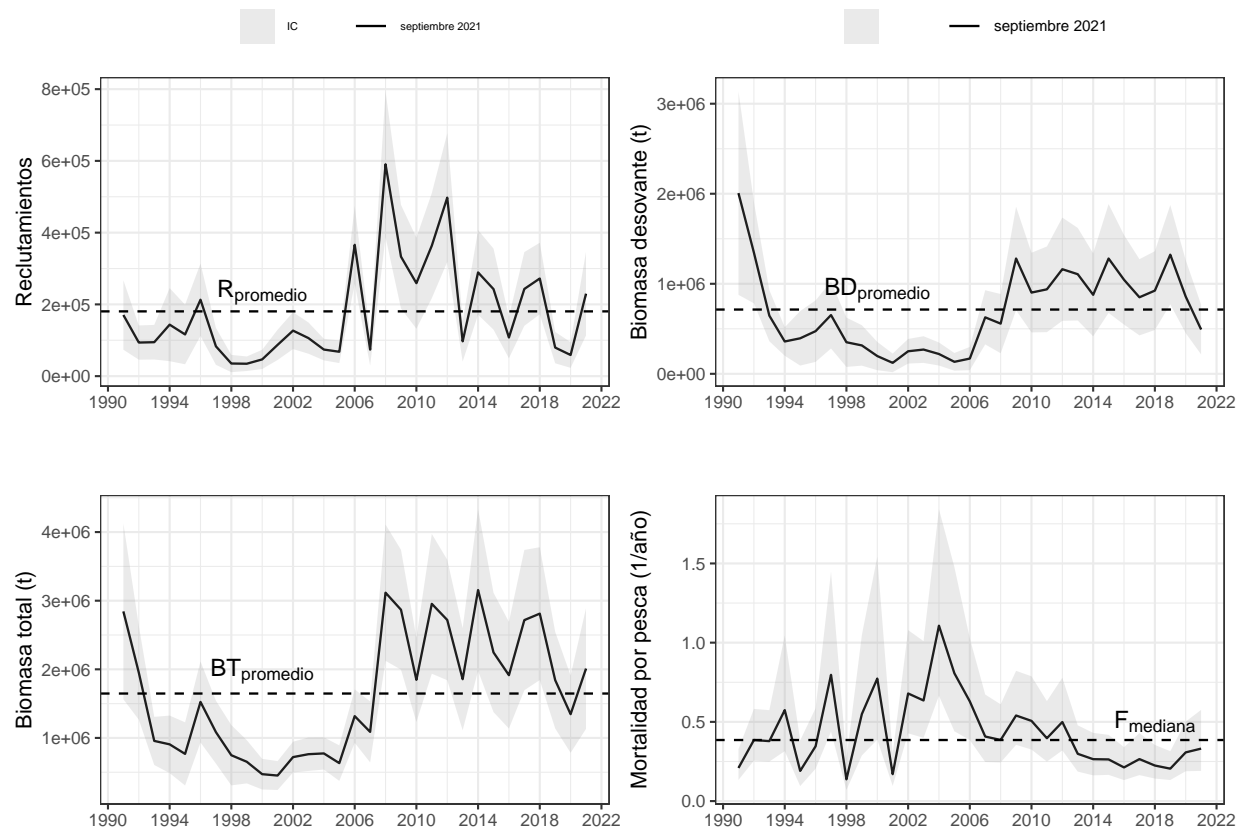


Figura 38. Estimaciones medias de los reclutamientos, biomasa total, biomasa desovante y mortalidad por pesca y su respectivo Intervalo de Confianza (IC). Las línea segmentada corresponde al promedio y mediana de la serie respectiva. Los años en el eje x corresponden a año biológico.



Tabla 25. Variables poblacionales estimadas en la evaluación de septiembre 2021 de sardina común de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos.

| Año | BD_{sept} | BT_{sept} | R_{sept} | F_{sept} |
|---------|-------------|-------------|------------|------------|
| 1990/91 | 2.007.000 | 2.844.200 | 170.470 | 0,209 |
| 1991/92 | 1.345.500 | 1.950.300 | 93.630 | 0,386 |
| 1992/93 | 646.070 | 956.570 | 94.588 | 0,378 |
| 1993/94 | 359.110 | 906.560 | 143.530 | 0,574 |
| 1994/95 | 394.340 | 767.360 | 116.190 | 0,191 |
| 1995/96 | 474.070 | 1.524.800 | 213.000 | 0,346 |
| 1996/97 | 652.790 | 1.084.700 | 83.143 | 0,797 |
| 1997/98 | 350.640 | 747.860 | 35.196 | 0,137 |
| 1998/99 | 315.340 | 652.660 | 34.570 | 0,55 |
| 1999/00 | 197.450 | 471.920 | 46.684 | 0,773 |
| 2000/01 | 121.680 | 451.930 | 87.216 | 0,17 |
| 2001/02 | 250.610 | 720.530 | 126.870 | 0,679 |
| 2002/03 | 269.460 | 763.250 | 106.090 | 0,635 |
| 2003/04 | 220.060 | 774.220 | 74.079 | 1,107 |
| 2004/05 | 133.220 | 632.780 | 67.948 | 0,807 |
| 2005/06 | 169.440 | 1.317.900 | 366.140 | 0,629 |
| 2006/07 | 627.440 | 1.088.000 | 73.946 | 0,407 |
| 2007/08 | 557.470 | 3.116.600 | 590.530 | 0,386 |
| 2008/09 | 1.280.800 | 2.868.400 | 333.050 | 0,54 |
| 2009/10 | 902.390 | 1.846.800 | 259.120 | 0,506 |
| 2010/11 | 938.520 | 2.954.600 | 363.670 | 0,397 |
| 2011/12 | 1.162.100 | 2.719.300 | 497.560 | 0,499 |
| 2012/13 | 1.106.300 | 1.855.800 | 97.047 | 0,298 |
| 2013/14 | 877.460 | 3.155.500 | 289.110 | 0,265 |
| 2014/15 | 1.280.800 | 2.246.000 | 242.630 | 0,263 |
| 2015/16 | 1.044.600 | 1.914.100 | 107.730 | 0,213 |
| 2016/17 | 850.040 | 2.717.300 | 243.040 | 0,265 |
| 2017/18 | 924.370 | 2.811.400 | 272.200 | 0,224 |
| 2018/19 | 1.323.200 | 1.842.500 | 79.600 | 0,205 |
| 2019/20 | 858.050 | 1.346.200 | 58.944 | 0,307 |
| 2020/21 | 492.050 | 2.011.100 | 229.910 | 0,331 |

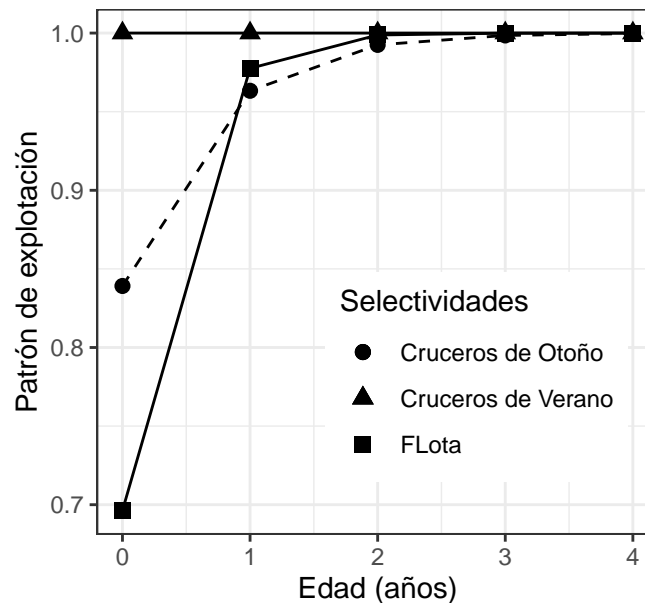


Figura 39. Patrón de explotación o selectividad de la flota y de los cruceros acústicos de sardina común de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos.

4.2.2. Puntos Biológicos de Referencia (PBRs)

En la **Tabla 26** se muestran los valores calculados en la asesoría de septiembre 2020, marzo y julio de 2021 de BD_0 , BD_{RMS} , BD_{LIM} y F_{RMS} , recomendados por el Comité Científico Técnicos de Pelágicos Pequeños (Informe Técnico CCT-PP N°01/2015) de acuerdo con la metodología discutida durante el segundo taller (Abril, 2014) y tercer taller (Agosto, 2014) de PBRs (Payá *et al.*, 2014). El valor mediano de la mortalidad por pesca experimentado históricamente (F_{mh}) por el stock de sardina común centro-sur cercano a $F_{53\%BDPR}$ un porcentaje bajo considerando los altos niveles de mortalidad por pesca que ha experimentado el stock (bajo el valor de mortalidad natural, $M=1,0 \text{ año}^{-1}$) (**Figura 40**). Esto podría explicarse por la ubicación de la curva de selectividad respecto a la madurez, donde la selectividad se encuentra a la izquierda de la curva de madurez, producto de que la pesquería presenta una alta selección de juveniles, de manera que la selectividad de la flota comienza antes de la madurez (**Figura 41**). Esta condición produciría valores de $F_{60\%}$ más moderados, que aumentaría si la selectividad fuese igual a la madurez.



Tabla 26. Puntos Biológicos de Referencia de biomasa (miles t) estimada en la asesoría de septiembre 2021 para sardina común, calculados siguiendo los pasos descritos en la metodología de este informe.

| Etapas | Cálculo | Aproximación | Sept 2021 |
|--------|--|---------------------------------------|------------------|
| Paso 1 | Promedio de la serie histórica entre 1991-2020 de la evaluación de stock | $BD_{promedio}$ | 714 mil t |
| | Mediana de la serie histórica entre 1991-2020 de la evaluación de stock | F_{mh} | 0,39 |
| Paso 2 | Cálculo de la curva de biomasa por recluta (BDPR) | $\%BDPR(F_{mh})$ $\%BDPR(F_{RMS})$ | 52,6 % 60 % |
| Paso 3 | $\%BDPR(F_{mh}) - 5 \%$ $\%BDPR(F_{RMS}) - 5 \%$ | $\%BD(F_{mh})$ $\%BD(F_{RMS})$ | 47,6 % 55 % |
| Paso 4 | $BD_0 = BD_{promedio} / \%BD_{F_{mh}}$ | BD_0 | 1,49 millón de t |
| Paso 5 | $BD_{RMS} = BD_0 * \%BD(F_{RMS})$ | $BD_{55 \%}$ | 818 mil t |
| Paso 6 | $BD_{LIM} = BD_0 * \%BD(F_{LIM})$ | $BD_{27,5 \%}$ | 409 mil t |

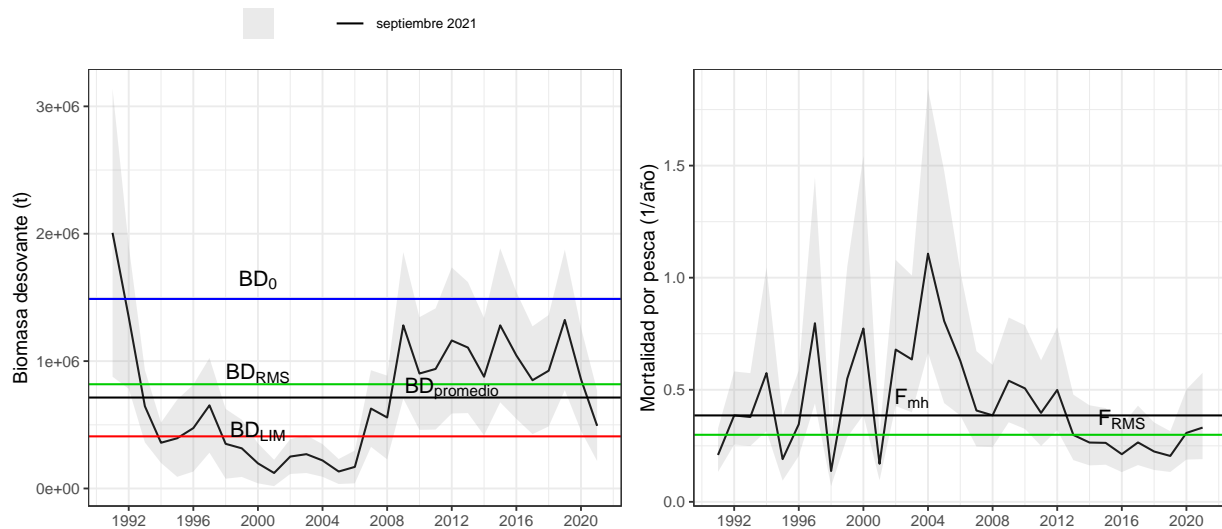


Figura 40. Series de Biomasa desovante y mortalidad por pesca junto a los PBRs calculados a partir de la BD promedio y mediana de F (F_{mh}). Los años en el eje x corresponden a año biológico.

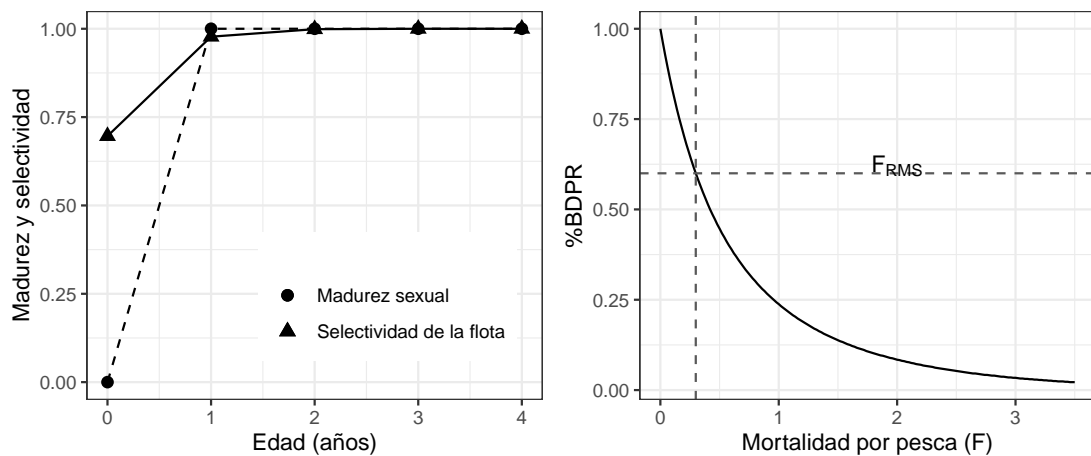


Figura 41. Madurez, selectividad (Panel izquierdo) y Curva de Biomasa por Recluta (%BDPR) (Panel derecho), utilizados en los cálculos de F_{RMS} .



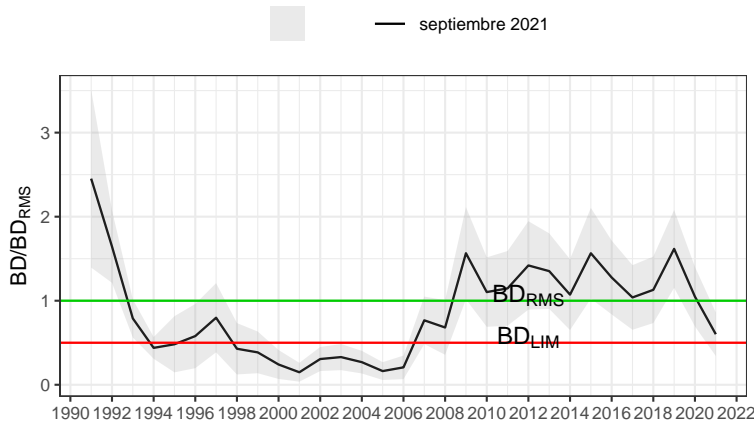
4.2.3. Estado de explotación

La **Figura 42** muestra que en el inicio de la serie histórica la biomasa indicaría una caída $BD < BD_{RMS}$ entre los años 1994 y 1995 producto probablemente de fallas sucesivas en los reclutamientos. El estado de la pesquería de sardina común durante los años 1998 y 2006 estuvo marcado por condiciones ambientales “El Niño” 1997-1998, provocando la caída hacia niveles inferiores de la biomasa desovante límite (BD_{LIM}) bajo el cual una pesquería califica de agotada o colapsada. A partir del 2007 comienza un período favorable para la condición de sardina común, ingresando a un proceso de expansión poblacional que permite el año 2009 desplazarse hacia un nivel de biomasa desovante superior al BD_{RMS} . En la evaluación actual (julio 2021) la $BD_{2020/2021}$ esperada está un 38 % bajo BD_{RMS} (**Figura 42**). Dado que la biomasa desovante se sustenta principalmente por la fracción adulta de individuos (edad 1+), cuya abundancia disminuyó producto de bajos reclutamientos ocurridos por dos años consecutivos (2019 - 2020), la biomasa desovante del año biológico 2020/21 se redujo significativamente respecto de años previos, posicionándola en una condición desfavorable por debajo del objetivo de manejo.

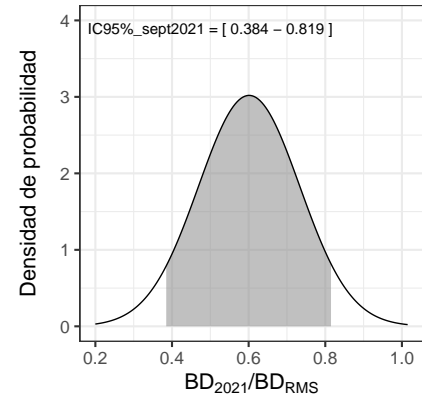
En términos de la mortalidad por pesca (Ft año⁻¹), ésta se había mantenido por sobre el nivel objetivo de referencia F_{RMS} en prácticamente toda la serie histórica analizada producto de la alta selección de juveniles capturados antes de que estos maduren (**Figura 42**). La alta selectividad de juveniles conlleva a un valor de F_{RMS} ($F_{60\%BDPR}$) más moderado que una selectividad cercana o por sobre la ojiva de madurez. A partir del año 2013 los niveles de Ft se han mantenido bajo el nivel de referencia generado posiblemente por las caídas de los reclutamientos en algunos años y las bajas CBAs recomendadas luego de la implementación de los PBRs.

Con respecto a la razón entre $F_{2020/21}$ y F_{RMS} fue de 1,09, siendo un 9 % mayor a F_{RMS} (**Figura 42**). La condición estimada con información completa para el año 2020/2021 indica que la sardina común se encuentra en sobreexplotación (38 % bajo BD_{RMS} y 9 % bajo F_{RMS}), con un 18 % de probabilidad de colapso y 48 % de sobrepesca (**Tabla ?? y Figura 43**).

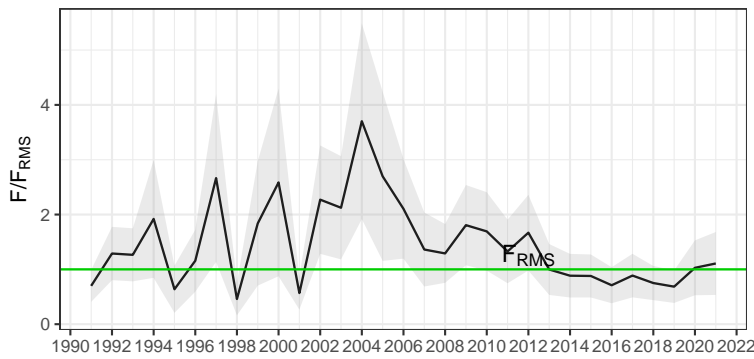
a)



b)



c)



d)

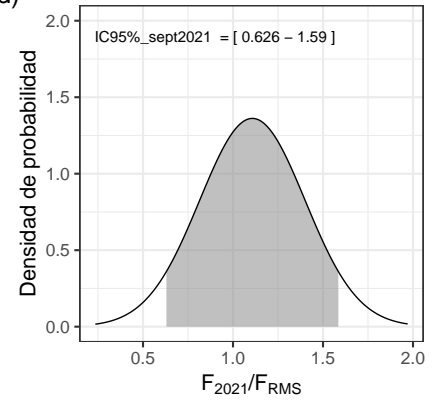


Figura 42. a) Razón BD/BD_{RMS} , b) la distribución de probabilidad de BD_{last}/BD_{RMS} , c) razón F/F_{RMS} y d) la distribución de probabilidad F_{last}/F_{RMS} . Los años en el eje x corresponden a año biológico.



Tabla 27. Índices de reducción de F respecto de F_{RMS} (F/F_{RMS}), BD respecto de BD_{RMS} (BD/BD_{RMS}), tasas de explotación anual referidos a la biomasa (Y/BT) y a la abundancia estimada ($C\#/N\#$), estimadas en la evaluación de septiembre 2021 de sardina común de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos.

| Año | $F/F_{RMS_{sept}}$ | $BD/BD_{RMS_{sept}}$ | Y/BT_{sept} | C/N_{sept} |
|---------|--------------------|----------------------|---------------|--------------|
| 1990/91 | 0,699 | 2,452 | 0,174 | 0,101 |
| 1991/92 | 1,289 | 1,644 | 0,263 | 0,179 |
| 1992/93 | 1,265 | 0,789 | 0,262 | 0,168 |
| 1993/94 | 1,92 | 0,439 | 0,396 | 0,23 |
| 1994/95 | 0,637 | 0,482 | 0,157 | 0,088 |
| 1995/96 | 1,157 | 0,579 | 0,237 | 0,148 |
| 1996/97 | 2,665 | 0,798 | 0,509 | 0,321 |
| 1997/98 | 0,459 | 0,428 | 0,099 | 0,069 |
| 1998/99 | 1,837 | 0,385 | 0,326 | 0,234 |
| 1999/00 | 2,586 | 0,241 | 0,436 | 0,293 |
| 2000/01 | 0,568 | 0,149 | 0,116 | 0,075 |
| 2001/02 | 2,272 | 0,306 | 0,441 | 0,263 |
| 2002/03 | 2,124 | 0,329 | 0,385 | 0,253 |
| 2003/04 | 3,702 | 0,269 | 0,501 | 0,39 |
| 2004/05 | 2,697 | 0,163 | 0,399 | 0,301 |
| 2005/06 | 2,104 | 0,207 | 0,392 | 0,236 |
| 2006/07 | 1,362 | 0,767 | 0,329 | 0,19 |
| 2007/08 | 1,291 | 0,681 | 0,238 | 0,156 |
| 2008/09 | 1,807 | 1,565 | 0,328 | 0,227 |
| 2009/10 | 1,693 | 1,103 | 0,34 | 0,214 |
| 2010/11 | 1,327 | 1,147 | 0,28 | 0,167 |
| 2011/12 | 1,669 | 1,42 | 0,316 | 0,204 |
| 2012/13 | 0,998 | 1,352 | 0,226 | 0,148 |
| 2013/14 | 0,885 | 1,072 | 0,165 | 0,116 |
| 2014/15 | 0,88 | 1,565 | 0,186 | 0,12 |
| 2015/16 | 0,711 | 1,276 | 0,157 | 0,104 |
| 2016/17 | 0,887 | 1,039 | 0,153 | 0,117 |
| 2017/18 | 0,751 | 1,13 | 0,133 | 0,101 |
| 2018/19 | 0,685 | 1,617 | 0,172 | 0,104 |
| 2019/20 | 1,028 | 1,048 | 0,211 | 0,147 |
| 2020/21 | 1,108 | 0,601 | 0,195 | 0,139 |

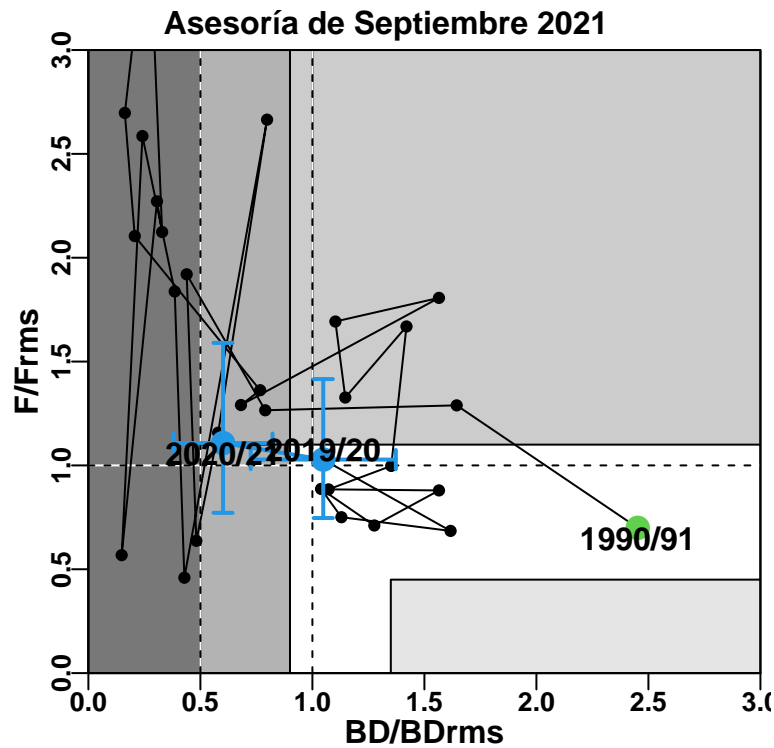


Figura 43. Diagrama de fases de explotación de la biomasa desovante respecto de la mortalidad por pesca de la asesoría de septiembre 2021. Los ejes están estandarizados a los valores que generan el RMS proxy. Cruz azul corresponde a los intervalos de confianza de la razón BD/BD_{RMS} y F/F_{RMS} . El año con cruz continua corresponde a "Estatus completo" y la cruz con línea discontinua a "Estatus preliminar".

**Tabla 28.** Puntos Biológicos de referencia (PBRs) y probabilidades de estar bajo BD_{RMS} y sobre F_{RMS} y en sobreexplotación, colapsado o sobrepesca.

| | Septiembre 2021 |
|---------------------------|-----------------|
| Año biológico | 2020/21 |
| F_{RMS} | 0,3 |
| BD_{RMS} | 818 mil t |
| BD_{LIM} | 409 mil t |
| $p(BD_{2021} < BD_{RMS})$ | 1,00 |
| $p(F_{2021} > F_{RMS})$ | 0,64 |
| $p(sobre - explotación)$ | 0,99 |
| $p(agotado/colapsado)$ | 0,22 |
| $p(sobrepesca)$ | 0,51 |

- $p(BD_{2021} < BD_{RMS})$ = Probabilidad de que BD del año más reciente sea menor a BD_{RMS}
- $p(F_{2021} > F_{RMS})$ = Probabilidad que la Ft del año más reciente sea menor a F_{RMS}
- Probabilidad de estar en sobreexplotación = $p(BD_{2021} < 0,9BD_{RMS})$
- Probabilidad de estar en colapso = $p(BD_{2021} < BD_{LIM})$
- Probabilidad de estar en sobrepesca = $p(F_{2021} > 1,1F_{RMS})$

4.3. Objetivo específico 3:

“Determinar niveles de *Captura Biológicamente Aceptable (CBA)* que lleven y/o mantenga la pesquería en torno al *Rendimiento Máximo Sostenible (RMS)*, a partir de un análisis de riesgo en condiciones de incertidumbre de no alcanzar los objetivos de conservación y sostenibilidad conforme lo establece la LGPA y contenidos en el Plan de Manejo y/o en el Programa de Recuperación respectivo, según corresponda.”

4.3.2. Proyección del stock (Asesoría de septiembre 2021)

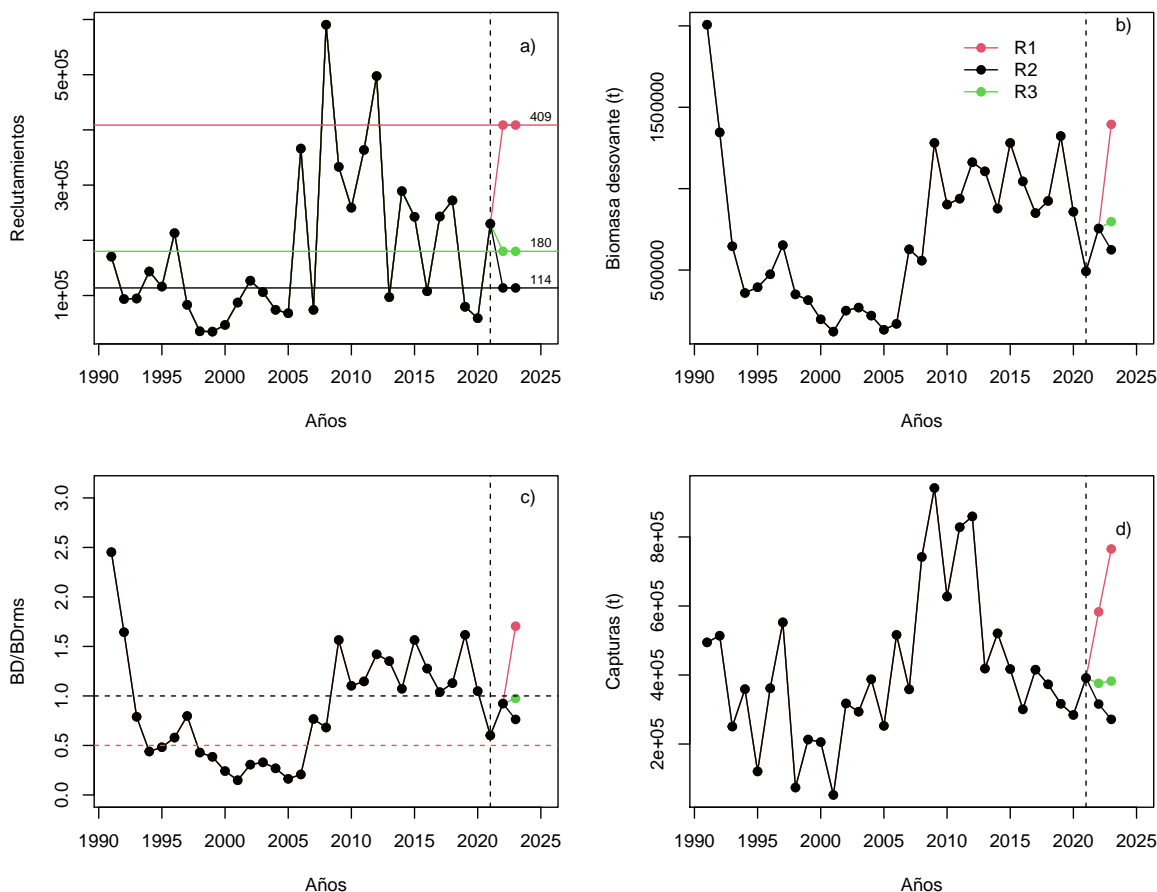


Figura 44. xxx

En relación con estatus 2020/21, se proyectó el stock bajo tres escenarios reclutamientos 2021 que representan los períodos más relevantes de la historia conocida de sardina común y con una mortalidad por pesca en torno al F_{RMS} (ponderadores de F_{RMS}). Al respecto, si bien la sardina se ha mantenido en una condición de plena-explotación a partir del 2013 a la fecha, la disminución del reclutamiento los años 2019 y 2020 junto a la disminución de la biomasa adulta (1+ años) el 2020 generan una alta probabilidad (100 %) de sobreexplotación y un 42 % de probabilidad de colapso de sardina común para el año 2020/21 (**Tabla 29**) independiente de los escenario de reclutamiento futuros y ponderadores de F_{RMS} (**Figura 45**). En base a esta proyección, era recomendable considerar un escenario de reclutamiento precautorio en torno al promedio del período de reclutamientos bajos (1991-2007) para la determinación de una captura 2021 biológicamente sustentable para sardina común a la espera de la actualización de marzo y julio 2021.



Tabla 29. Incertidumbre del estatus previo 2018/19, actual 2019/20 y proyectado 2020/21 bajo tres escenarios de reclutamiento y ponderadores de F_{RMS} . **Asesoría de septiembre 2020.**

| Escenario Reclutamiento | Año biológico | Probabilidad de Estatus | $F_{RMS} * 1,0$ | $F_{RMS} * 0,9$ | $F_{RMS} * 0,7$ |
|-------------------------|---------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|
| $R_{1991-2007}$ | 2018/19 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 2019/20 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 0,26 | 0,26 | 0,26 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 2020/21 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,42 | 0,41 | 0,40 |
| $R_{2008-2012}$ | 2018/19 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 2019/20 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 0,26 | 0,24 | 0,26 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 2020/21 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,42 | 0,41 | 0,40 |
| $R_{2013-2020}$ | 2018/19 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 2019/20 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 0,26 | 0,26 | 0,26 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 2020/21 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,42 | 0,41 | 0,40 |

- $p[\text{BD} < 0,9\text{BD}_{RMS}]$ = probabilidad de sobre-explotación
- $p[\text{BD} < 0,5\text{BD}_{RMS}]$ = probabilidad de colapso

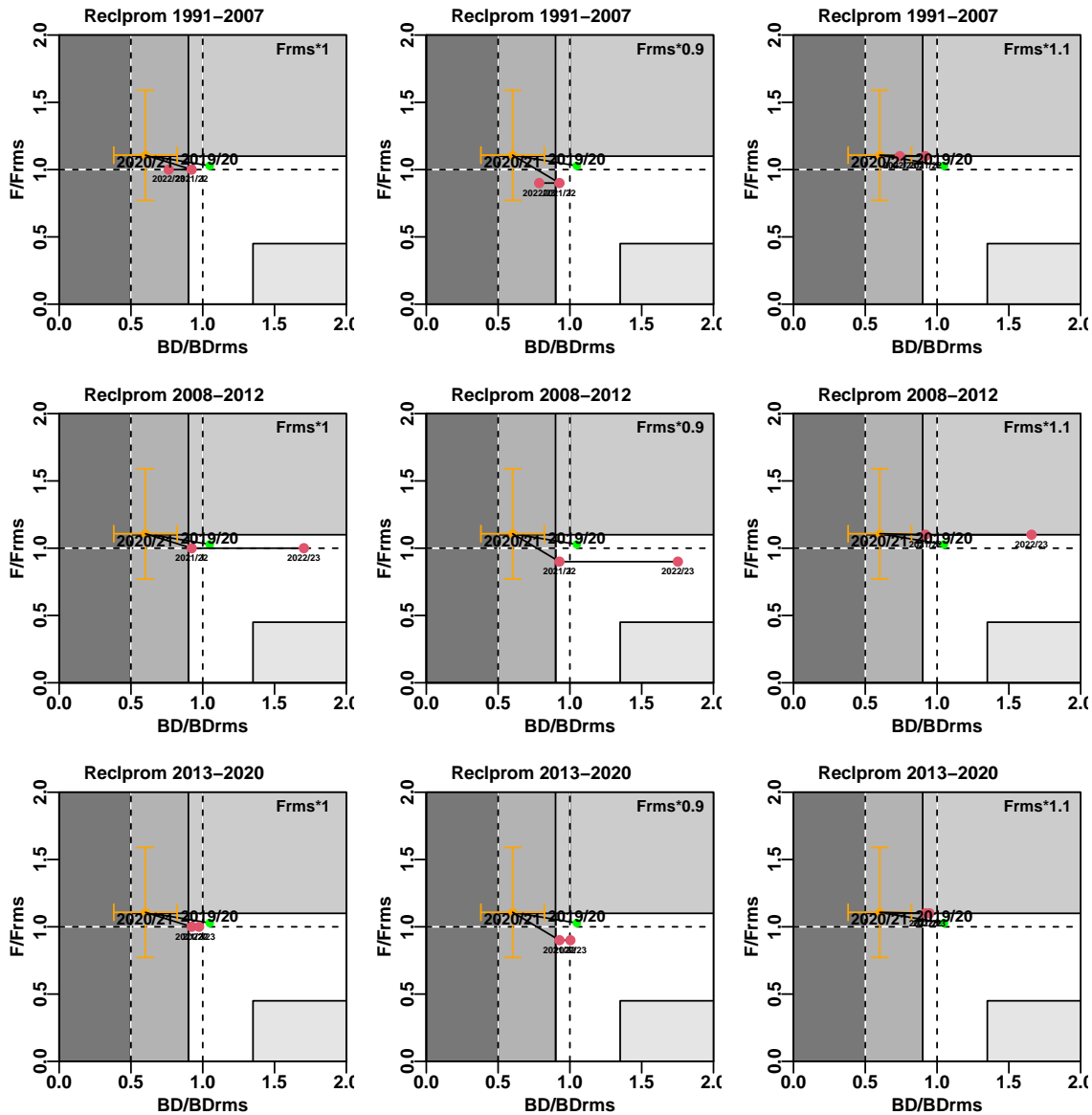


Figura 45. Diagramas de fases de explotación de la biomasa desovante respecto de la mortalidad por pesca mostrando el estatus de sardina común para el año previo 2019/20 (punto verde), año actual 2020/21 (punto y cruz naranja) y años proyectados 2021/22 y 2022/23 (punto rojo) bajo un escenario de reclutamiento promedio bajo [1991-2007] (panel superior), reclutamiento promedio alto [2008-2012] (panel intermedio), reclutamiento promedio reciente [2013-2021] (panel inferior) y ponderadores de F_{RMS} (1;0,9 y 1,1) **Asesoría de septiembre 2021.**

CBA 2022 Inicial (Asesoría de septiembre 2021)

Para el cálculo CBA 2022 se proyectó la población 2 años biológicos hacia el futuro (julio2020-junio2021 y julio2021-junio2022) en base a tres escenarios de reclutamiento: a) un escenario desfavorable que consiste en el reclutamiento promedio del período 1991-2007 (113 mil millones de ind.), b) un escenario favorable que corresponde al promedio de los reclutamientos del período 2008 - 2012 (411 mil millones de ind.) y un escenario que representa el período reciente entre el 2013-2020 (173 mil millones de ind.) (**Figura 46**).

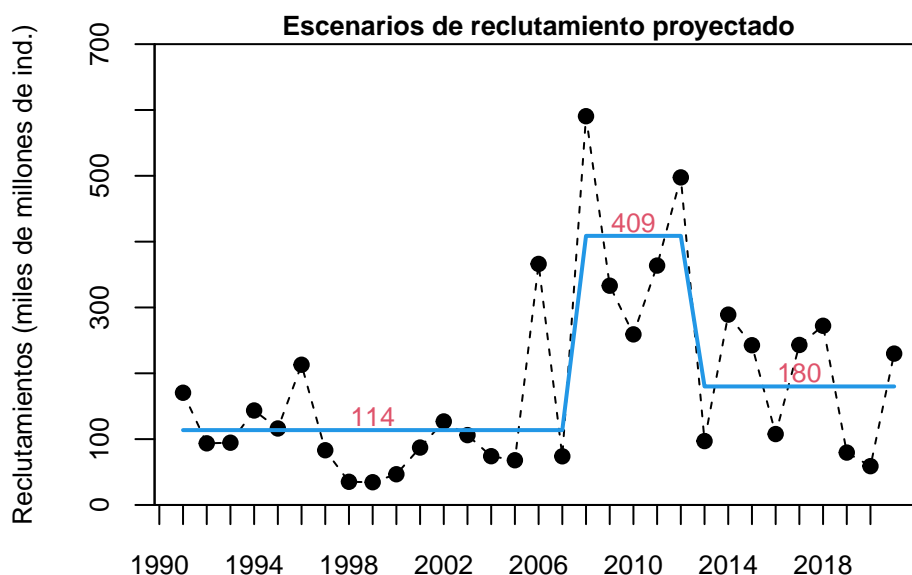


Figura 46. Escenarios de reclutamiento proyectado asesoría de septiembre 2021.

El cálculo de la CBA inicial para el año calendario 2021 se obtiene como el promedio ponderado según la estacionalidad semestral de la pesquería que a la fecha se asume 70 % para el primer semestre y 30 % para el segundo semestre, bajo un criterio de explotación de $F_{60\%SPR}$, sujeto a percentiles de probabilidad entre el 10 % y 50 %.

La **Tabla 30** muestra los rangos de capturas para el año 2021 estimada bajo un escenario de R_{prom} (1991-2007) podría situarse entre 195 mil t y 250 mil t; bajo un escenario de R_{prom} (2008-2012) entre 353 mil t y 448 mil t y, bajo un escenario de R_{prom} (2013-2020) entre 223 mil t y 301 mil t.

Para evaluar el efecto que tiene la decisión de la CBA en base a los percentiles (10 %-50 %) que en general son menores a la captura al RMS (percentil del 50 %), se calculó el resguardo a lo cual equivale cada percentil (**Tabla 31**). Esos niveles variaron entre un 4 % para un percentil del 40 % hasta un 26 % para un percentil de probabilidad del 10 %, considerando tres escenarios de reclutamiento.

Dado que no se cuenta con el % de descarte actualizado al 2020, para la asesoría de septiembre 2020 se muestran 2 escenarios de descarte, la **Tabla 32** muestra los rangos de captura menos el 2 % correspondiente al descarte 2017 y la **Tabla ??** muestra los rangos de captura con el descuento del 6 % (descarte 2019).

En la sexta sesión del CCT-PP 2020 (Acta de Sesión N°6, octubre 2020 ⁶) se recomendó una CBA máxima 2021 de 201.409 toneladas correspondiente al escenario de reclutamiento promedio bajo (1991-2007),

⁶https://www.subpesca.cl/portal/616/articles-108975_documento.pdf



20 % de percentil de captura (equivalente a un 14 % resguardo) y el descuento del 6 % de descarte (Tabla ??).

Tabla 30. CBA inicial 2021 de sardina común calculada bajo F_{RMS} , con sus respectivos percentiles de captura entre 10 % y 50 % y tres escenarios de reclutamientos.

| | $R_{1991-2007}$ | $R_{2008-2012}$ | $R_{2013-2021}$ |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|
| mean | 250.260 | 447.840 | 300.810 |
| sd | 42.769 | 73.667 | 60.397 |
| 10 % | 195.449 | 353.432 | 223.408 |
| 20 % | 214.265 | 385.840 | 249.979 |
| 30 % | 227.832 | 409.209 | 269.138 |
| 40 % | 239.425 | 429.177 | 285.509 |
| 50 % | 250.260 | 447.840 | 300.810 |

Tabla 31. Reguardo de la Captura al RMS.

| | $R_{1991-2007}$ | $R_{2008-2012}$ | $R_{2013-2021}$ |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 10 % | 0,22 | 0,21 | 0,26 |
| 20 % | 0,14 | 0,14 | 0,17 |
| 30 % | 0,09 | 0,09 | 0,11 |
| 40 % | 0,04 | 0,04 | 0,05 |
| 50 % | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Tabla 32. CBA inicial 2021 menos el 2 %descarte.

| | $R_{1991-2007}$ | $R_{2008-2012}$ | $R_{2013-2021}$ |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 10 % | 191.540 | 346.363 | 218.940 |
| 20 % | 209.979 | 378.123 | 244.979 |
| 30 % | 223.275 | 401.025 | 263.755 |
| 40 % | 234.636 | 420.593 | 279.798 |
| 50 % | 245.255 | 438.883 | 294.794 |

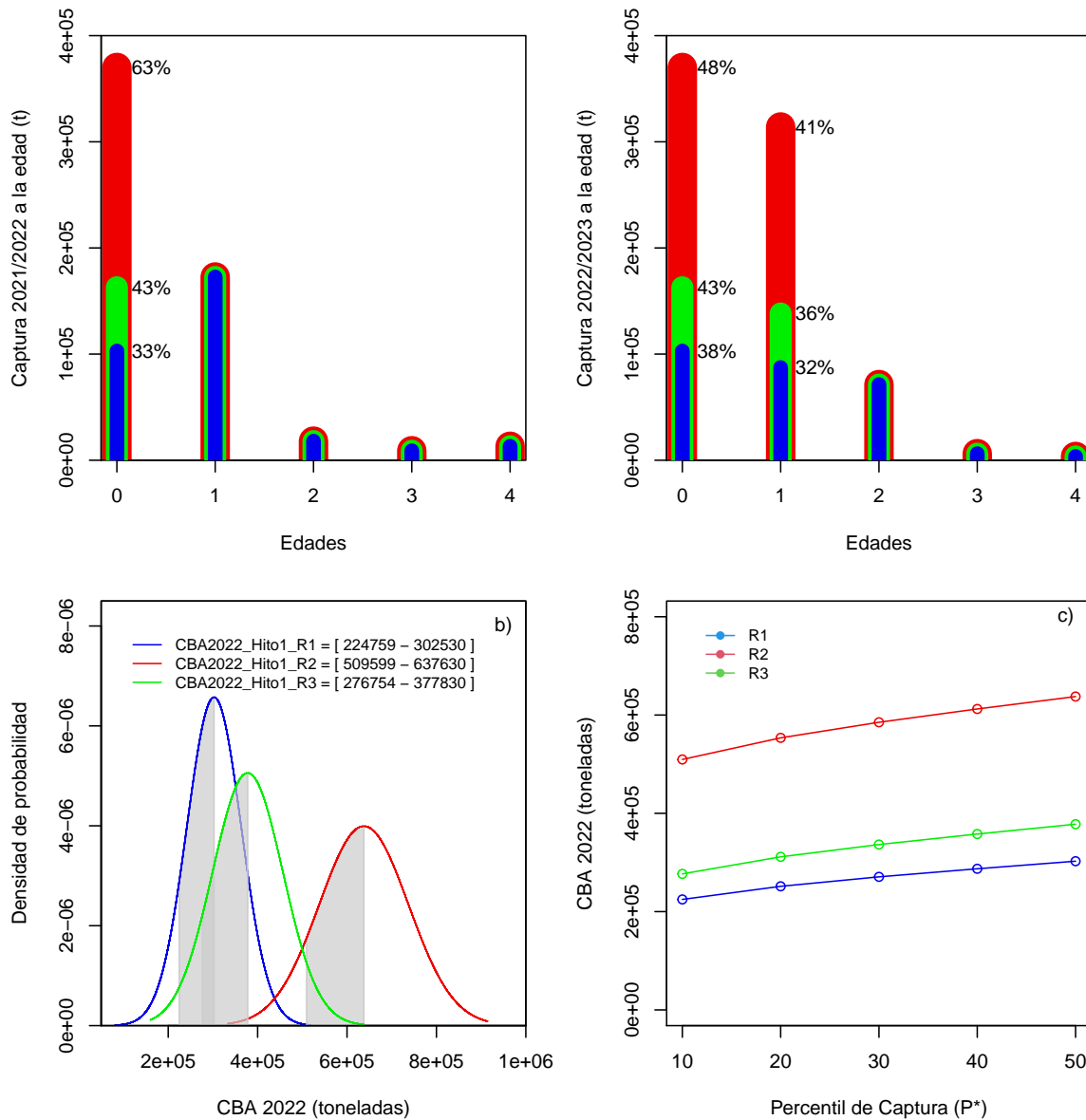


Figura 47. xxx

4.4. Objetivo específico 4:

“Informar el avance del Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad en la Asesoría Científica (PMC-CAC) realizado durante el presente estudio, respecto al cumplimiento de recomendaciones formuladas en procesos de RPEI y priorizadas por el CCT, cuando corresponda.”

4.4.1. Esquema de trabajo y plan de actividades.

Los procesos de evaluación de stock son de carácter dinámico e involucran un mejoramiento continuo tendiente a facilitar la administración de los recursos pesqueros explotables. En este sentido, el Instituto de Fomento Pesquero, específicamente el Departamento de Evaluación de Recursos (DER), mantiene un ánimo de colaboración con la administración pesquera que da espacio para la discusión de mejoras analíticas y técnicas, como también, la detección de brechas de investigación.

Es en este marco, y en coherencia con los requerimientos indicados en los Términos Técnicos de Referencia (TTR) del proyecto “Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales”, años 2017 a 2021, que el DER ha reconocido un conjunto de actividades que pueden ser desarrolladas y abordadas con SSPA, las cuales han sido discutidas e implementadas durante este período. Además de los correspondientes informes técnicos, se han identificado una serie de aspectos a ser abordados en el marco de la evaluación de stock. Para ello se propone el esquema de trabajo presentado en el esquema de trabajo **Figura 48**, el cual fue discutido y consensuado con la SSPA en reunión efectuada el día 12 de junio de 2017 (Zúñiga *et al.* 2018).

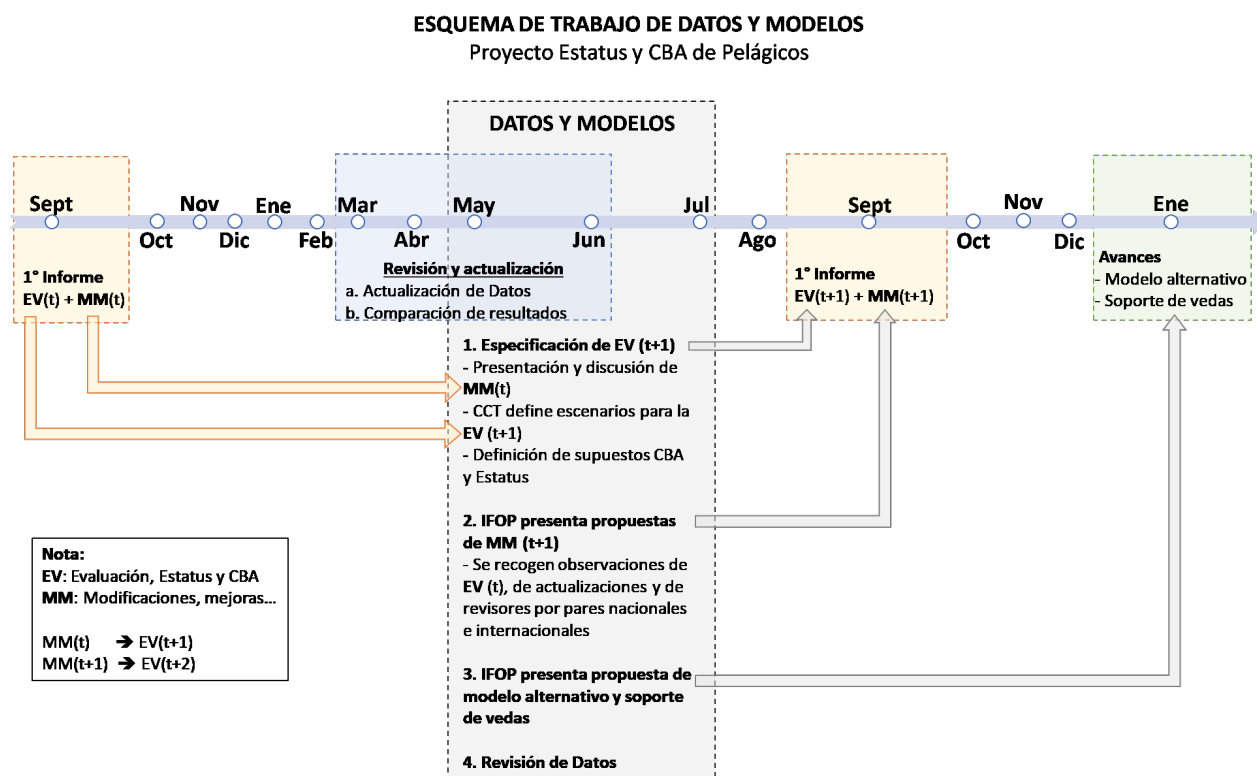


Figura 48. Esquema de trabajo de Datos y Modelos propuesto por SSPA e IFOP para la implementación de mejoras y modificaciones (MM) a la evaluación de stock (EV) durante el desarrollo del Proyecto de Estatus y CBA de las pesquerías de Pelágicos.

El esquema general se mantiene para los futuros proyectos de la siguiente forma:

- Especificación de EV(t+1) (septiembre) sobre la base de las MM(t) presentadas en la asesoría anterior, EV(t) las cuales serán presentadas y discutidas con el CCT-PP para la definición del caso base, EV(t+1), utilizado para establecer el estatus y CBA.
- Revisión de datos y modelo, IFOP presenta propuestas de MM(t+1) para trabajar durante el desarrollo de este proyecto que recogerán algunas de las observaciones a la EV(t) de revisores por pares (RPP) nacionales, CCT-PP y SSPA, junto a recomendaciones de la RPP internacional realizadas a especies pelágicas.
- IFOP presenta propuesta de modelo alternativo cuyos avances son presentados en la primera sesión anual del CCT-PP (enero).
- Finalmente, en la etapa de revisión y actualización de la EV(t+2 y t+3) a realizarse en marzo y julio,



también se comparará con los resultados de la EV(t+1 y t+2) correspondiente a las asesorías previas (septiembre y marzo respectivamente).

4.4.2. Mejoras realizadas al modelo de evaluación de stock

En relación a las recomendaciones adicionales realizadas en las Revisiones por Pares Internacional de sardina común y anchoveta centro sur, a continuación, se informa los cambios realizados al modelo base (**Tabla 33**). En primer lugar, se consideran las recomendaciones que modifica la ponderación de datos del Modelo Anual Edad estructurado (CV de las capturas, CV índice de MPDH, actualización de los tamaños de muestra), se asume una prior no informativa para la capturabilidad del crucero de otoño, se penaliza la mortalidad por pesca de los años 1991 y 1992 y se utiliza un valor fijo de mortalidad natural igual a $1,0 \text{ año}^{-1}$) realizadas en la revisión por pares de sardina común en septiembre del 2013. En segundo lugar, se propone un nuevo modelo base que considera algunas de las recomendaciones de la Revisión Por Pares de anchoveta centro-sur realizada en agosto del 2015 y que son transversales para sardina común. Estos cambios forman parte del plan de mejoramiento continuo que conducen a reducir la incertidumbre del estado del stock de sardina común de la zona centro-sur. Estas mejoras constituirán un Estándar Metodológico en la evaluación de sardina común, cuyos protocolos se mantendrán vigentes hasta que se considere necesario perfeccionarlos.

Cambios realizados al modelo base a partir del año 2014: Considerando que el caso base representa el “mejor” modelo para proporcionar estimaciones de la actual condición de la población y la recomendación de manejo, la evaluación de stock utilizada previo al 2014 fue contrastada frente a un nuevo escenario implementado el año 2014 (Zúñiga & Canales, 2014) el cual ha sido utilizado a la fecha (**Tabla 33**). La comparación entre la evaluación de stock base anterior y el nuevo escenario base (febrero 2014) no presenta diferencias significativas a nivel de ajustes ni verosimilitud, sin embargo, las variables poblacionales se re-escalan por la disminución de la mortalidad natural ($M=1,0$), con niveles de reclutamiento y biomasa más bajos en el caso base anterior al 2014. La mortalidad por pesca refleja el efecto de la penalización de las F_s 1991 y 1992, sin embargo, no genera cambios significativos en la estimación de F para los últimos años de la serie histórica.

Con respecto a los CV de las capturas, debido a que existe poca o ninguna información en los datos y estructura del modelo para estimar la captura total, el modelo se ajusta asumiendo que las capturas se conocen exactamente o con altos niveles de precisión. Bajo este supuesto, las estimaciones de N del modelo y los parámetros de separabilidad permitirían determinar F anual. Sin embargo, para la ecuación de Baranov, no existe una solución analítica para los valores de F , por lo tanto, se deben tratar como parámetros estimables, pero altamente limitados (CV bajos) de tal manera que las capturas totales se puedan estimar de manera muy precisa. El peso relativo designado a la estimación de captura total al ajustar el modelo de evaluación fue debatido durante el taller de revisión por pares de sardina común, donde se consideró que la limitación sobre los F efectivamente utilizada fue débil (CV=10 %). Se sugiere un CV =1 % asumiendo que las capturas son conocidas exactamente.

Adicionalmente, los CV de la biomasa desovante estimada a partir de los cruceros de huevos exceden el 55% en general y en dos de los nueve cruceros las estimaciones exceden el 100%. En el modelo de evaluación se asume como más informativos que lo indicado a partir de los resultados reales del crucero, asignando el mismo peso que a los resultados de los cruceros acústicos CV=30 %. En el taller de revisión por pares se sugiere que las estimaciones del crucero de huevos no tendrían un contenido de información real o muy poco con relación al tamaño del stock desovante y, por lo tanto, incluir un CV=30 % es poco



realista, y puede dar lugar a ruido y a estimaciones inapropiadas. Se sugiere eliminar el índice de crucero de huevos o aumentar considerablemente la varianza asumida.

Para la ponderación de proporción de edad en las capturas y cruceros acústicos (tamaños de muestra) se utiliza un enfoque de ponderación iterativa, la cual es deseable revisar al incorporar las nuevas composiciones de edad, o dado que estos valores pueden variar dependiendo de los cambios en los supuestos del modelo. Considerando los nuevos datos adicionales y los cambios en el modelo en febrero 2014, estas estimaciones sobre el tamaño real de la muestra fueron actualizadas.

En relación de la capturabilidad del crucero de verano, en las evaluaciones previas al 2014, este era asumido igual o cercano a 1,0, considerando que el reclutamiento de la sardina común es menos extendido en el tiempo respecto de la anchoveta y se puede medir en un solo crucero, el crucero de verano reflejaría de mejor forma los niveles de la población dejando el crucero de otoño como índice relativo de los cambios en la fracción disponible para la flota (Castillo *com. pers.*). Al respecto, en el taller de Revisión Por Pares (RPP) se discutió sobre los problemas asociados con la corrección de orilla, la composición de especies, frecuencia de talla, cardúmenes no detectados y corrección de superficie y costa, etc de los cruceros acústicos. Existe la posibilidad de dar lugar a estimaciones considerablemente menores o mayores que la abundancia real. En base a esto, Polacheck (2014), señala que no existe una razón a priori para asumir que “q” en un crucero debería ser más cercano a 1,0 que, en el otro, ni que “q” para cualquiera de los cruceros es cercano a 1. Se sugiere asumir una prior no informativo como elección más apropiada para un caso base. De esta forma, la capturabilidad de los cruceros acústicos se asume una distribución a priori lognormal con media 0 y error estándar 100.

En el caso de la penalización de la mortalidad por pesca, con el objeto de obtener valores biológicamente aceptables, a menudo se emplean penalizaciones a ciertas estimaciones o parámetros. En el modelo de evaluación empleado hasta febrero 2014, las estimaciones de las tasas de mortalidad por pesca en 1991 y 1992 son muy altas. El revisor de RPP señala que dichas estimaciones altas parecen ser incoherentes con la información disponible de la pesquería. En esos años hubo estimaciones muy bajas de reclutamiento y del stock desovante asociados con estos altos niveles de F, producto de que para esos años existe poca información a parte de la estructura de edad para la captura

Modelo base actual: En la asesoría de marzo 2017 (Zúñiga, 2017a) IFOP presentó un nuevo modelo donde se recogen algunas de las recomendaciones de la revisión por pares internacional realizada en agosto del 2015 (**Tabla 33**) y otras recomendaciones de sardina común. El CCT-PP solicitó que el modelo base utilizado en las etapas de revisión de CBA (1era y 2da revisión de CBA) sea consistente con la determinación original de septiembre 2016 (Canales & Zúñiga, 2016). En la sesión del CCT-PP de los días 6 y 7 de julio 2017 IFOP presentó el modelo base actualizado y mejorado seleccionado a partir de un análisis de sensibilidad de 6 escenarios que consideraron los siguientes elementos:

- Corrección de la matriz de pesos iniciales
- Exclusión de la biomasa de los cruceros PELACES del año 2003, 2005 y 2015
- Cambios en los tamaños de muestra de la estructura de edad del RECLAS, PELACES y de la captura, bajo los métodos de Francis (2011) y McAllister & Ianelli (1997) considerando una media armónica y no aritmética como se había trabajado.

Uno de los mejores desempeños fue obtenido por el escenario que consideró los puntos a, b y una ponderación de tamaños de muestra de RECLAS, PELACES y captura bajo el método de McAllister & Ianelli (1997), siendo seleccionado como modelo base para la actual evaluación de stock. El modelo base se sustenta en



que los perfiles de verosimilitud dan cuenta que existe un mejor comportamiento con los nuevos tamaños de muestra (CCT-PP Acta 2017/04). Los resultados del análisis de sensibilidad realizado para seleccionar el modelo base actual fueron presentados en el informe de marzo y julio 2017 (Zúñiga, 2017a y b). Los tamaños de muestra son actualizados cada vez que se incorporan nuevas piezas de información de composiciones de edad a la evaluación de stock, por lo tanto, los valores absolutos pueden variar levemente entre actualizaciones.

Incorporación del descarte: El Artículo 7°B de la actual Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA, N° 18.892) indica que no podrá realizarse el descarte de individuos de una especie objetivo, cualquiera sea su régimen de acceso, y su fauna acompañante, salvo que se i) haya fijado una cuota global anual de captura para la especie objetivo y, ii) que en el proceso de establecimiento de la cuota global anual de captura se haya considerado el descarte. En este sentido, en Zúñiga & Quiroz (2017) se expusieron algunos escenarios presentados al CCT-PP en octubre 2017 para incorporar el descarte en el modelo de evaluación de stock, que potencialmente representan fuentes de mortalidad por pesca a la fecha no documentada. Estos escenarios fueron revisados por el CCT-PP (Acta 06/2017) donde fue seleccionado el escenario 5 que considera un 4% de descarte. Por lo tanto, la diferencia del modelo base utilizado en marzo 2018 con el presentado en septiembre 2017 tiene que ver con la incorporación del descarte en la serie de desembarques.

Procesamiento y liberación de datos para la estimación de estatus y CBA sardina común y anchoveta centro-sur: En general, los datos utilizados en la estimación de estatus y CBA de los stocks pelágicos requieren procesar las siguientes fuentes de datos:

- Bitácoras biológicas (pesos y tallas)
 - Bitácoras de frecuencia de tallas
 - Bitácoras de capturas
 - Muestreos de otolitos

Una de las problemáticas identificadas en cada hito de revisión de CBA está relacionada con los tiempos de procesamiento de la información y los tiempos requeridos para obtener los datos de bitácoras en tiempo real. Al respecto, el tiempo de proceso de la información es de 45 a 60 días entre el registro de los datos muestreados, su validación y análisis, por lo tanto, se debe considerar un desfase de al menos 2 meses en la información disponible para ser usada en la modelación. Para disminuir este desfase a un mes se solicitó la colaboración del Departamento de Gestión de Muestreo, Departamento de Evaluación Directa, Departamento de Evaluación de Pesquerías y Departamento de Evaluación de Recurso. Todos estos departamentos evaluaron los tiempos requeridos para el proceso de información y proponen fechas de envío de dato a los encargados correspondientes.

Revisión de supuestos para asesoría de marzo: En términos de actualización de datos, en las asesorías realizadas en septiembre de un año y julio del siguiente año, contamos con información completa del año biológico. Sin embargo, en la asesoría realizada en marzo (segundo hito de revisión de CBA) sólo contamos con información actualizada del crucero de verano, el resto de la información se basa en supuestos. Dada la incertidumbre que generan los supuestos realizados en las asesorías de marzo, en la sesión 02/2019 del CCT-PP se acordó que los datos supuestos sean los siguientes: a) Captura (2019/20) equivalente a cuota establecida (CBA inicial 2020), b) Biomasa del crucero de otoño (2020) igual a cero, c) Composición de edad del crucero de otoño (2020) igual a cero, d) Composición de edad de la flota



(2019/20) igual a cero, e) Pesos (2019/20) igual al promedio de los últimos 5 años de la serie. En este hito el estatus de la población de sardina común será considerado “Estatus preliminar” ya que está basada en supuestos.

Revisión de supuestos de proyección: En la sesión 02/2019 se presentó al CCT-PP la revisión de los supuestos utilizados para la proyección del stock y cálculo de la CBA junto a una propuesta de nuevos supuestos dado la tendencia de las biomásas, pesos medios y proporción de las capturas que ha tenido una tendencia distinta durante los últimos 6 años de la serie. En relación a los pesos medios, hasta la asesoría de marzo 2019 se proyectaba con el peso medio del último año de evaluación. Sin embargo, en ausencia de pesos medios se asume el peso promedio de los últimos 5 años. Para ser consistente con el supuesto, se propone al CCT-PP proyectar utilizando el promedio de los últimos 5 años, considerando la tendencia a partir del 2013 a estabilizarse. En el caso de los reclutamientos, hasta la asesoría de marzo 2019 se utilizaba escenarios de reclutamiento recientes (promedio 2008-2019) y escenario de reclutamientos históricos (Promedio estimado por el modelo con error). Sin embargo, la tendencia de los reclutamientos cambia a partir del 2013 reflejado en un análisis de quiebres donde se observan tres períodos distintos. De esta forma se sugiere cambiar el supuesto de reclutamiento histórico y recientes, por los períodos identificados en el análisis de quiebres. Considerando que el modelo de evaluación de stock de sardina común emplea información agregada en año biológico, la población es proyectada uno o dos años biológicos hacia el futuro (a inicios de julio de un año a junio del año siguiente). Por consiguiente, el cálculo de la captura en año calendario se obtiene como el promedio ponderado según la estacionalidad semestral de la pesquería. Al respecto, hasta la asesoría de marzo 2019 se utilizaba la proporción de 80 % primer semestre y 20 % segundo semestre, sin embargo, un análisis de quiebres de la serie de proporción de desembarques del primer semestre muestra que a partir del 2010 la proporción disminuye en torno al 70 % para el primer semestre, por lo tanto, la proporción 80/20 ya no correspondería para este período. De este modo, el cálculo de CBA se obtiene como el promedio ponderado según la estacionalidad semestral de la pesquería del período más reciente en 70 % para el primer semestre y 30 % para el segundo semestre del año calendario. En el presente informe se consideran los nuevos supuestos de proyección para el cálculo de la CBA 2021.



Tabla 33. Resumen de los principales cambios introducidos al modelo anual en edad (MAE) para la selección del caso base, recomendados en la Revisión por Pares Internacional de sardina común (septiembre, 2013) y anchoveta (agosto 2015)

| Datos, parámetros, supuestos o procesos | Modelo base Previo al 2014 | Modelo base 2014 | Modelo base actual |
|---|--|--|--|
| Matriz de pesos iniciales | Sin corregir | Sin corregir | Corregida |
| Mortalidad natural | fija $1,2 \text{ año}^{-1}$ | fija $1,0 \text{ año}^{-1}$ | fija $1,0 \text{ año}^{-1}$ |
| Serie de Biomasa desovante (MPDH) | Se considera proporcional a la biomasa desovante | Se aumenta considerablemente la varianza asumida del crucero de huevos (cambia de $CV=0,3$ a 100) | Se aumenta considerablemente la varianza asumida del crucero de huevos (cambia de $CV=0,3$ a 100) |
| Biomasa acústica del crucero de otoño (PELACES) | Serie completa | Serie completa | Se excluye los años 2003, 2005 y 2015 |
| Composición de edad del crucero de otoño (PELACES) | Serie completa | Serie completa | Se excluye año 2015 |
| Coefficiente de variación de las Capturas Totales | $\sigma_f = 0,1$ | $\sigma_f = 0,01$ | $\sigma_f = 0,01$ |
| Método de estimación de los Tamaños de muestra | Media aritmética de McAllister & Ianelli (1997) | Media aritmética de McAllister & Ianelli (1997) | Media armónica de McAllister & Ianelli (1997) |
| Tamaños de muestra n^f flota, n^{cv} RECLAS, n^{co} PELACES | $n^f = 40$ $n^{cv} = 9$ $n^{co} = 8$ | $n^f = 38$ $n^{cv} = 10$ $n^{co} = 8$ | $n^f = 12$ $n^{cv} = 7$ $n^{co} = 6$ |
| Capturabilidad (q) de los Cruceros Acústicos | q igual o en torno al valor 1,0 para cruceros acústicos de verano RECLAS | Se asume prior no informativo para q RECLAS y PELACES | Se asume prior no informativo para q RECLAS y PELACES |
| Mortalidad por pesca (Ft) en 1991 y 1992 | Sin penalización | Penalización sobre Ft en 1991 y 1992 | Penalización sobre Ft en 1991 y 1992 |

4.4.3. Avances en reducción de brechas

Actividades desarrolladas durante el año 2018: Durante el año 2018 se realizaron talleres de trabajo interno (Grupo de pesquerías pelágicas de IFOP), en los cuales se abordó el desarrollo de temáticas transversales para los pequeños pelágicos, cuyos resultados fueron presentados en las sesiones del CCT-PP durante el 2018. Adicionalmente, el grupo participó en cursos de capacitación, pasantías y talleres internacionales orientados al proceso de mejora continua y disminución de brechas del conocimiento de peces pelágicos (**Figura 49**). A continuación, se detallan las principales actividades desarrolladas.

a) Modelo alternativo N°1: Modelo anual con información de tallas en año calendario

Entre diciembre y enero del 2017 se realizó un taller interno del grupo de trabajo de pequeños pelágicos de IFOP con el objetivo de implementar en la plataforma de modelación de ADMB un modelo con observaciones en tallas y dinámica en edades en escala anual para ser comparado con el modelo actualmente en uso e identificar las principales fortalezas y debilidades de ambos modelos. Los principales resultados de este taller de trabajo fueron los siguientes:

- Estandarizar el modelo de evaluación de tal forma que facilite la interpretación de los procesos que describen la dinámica de los recursos pelágicos.
- Estandarizar las salidas del modelo en R Project para facilitar la comparación de los resultados.
- Identificar las problemáticas transversales de los recursos pelágicos en términos de modelación.
- Elaboración de un listado de tareas pendientes para la calibración del modelo alternativo
- Elaboración de un reporte con los avances realizados en el taller (Zúñiga *et al.* 2018 a y b).
- Presentación de los resultados de este taller al CCT-PP en enero del 2018 (Acta 01/2018)



El objetivo del grupo de trabajo es transitar desde el actual enfoque de modelación usado en cada uno de los stocks hacia un modelo estructurado a la edad en escala anual e intra-anual (semestral, trimestral y mensual) y que sea coherente con los procesos biológico-pesqueros y a la suficiencia de información en los 5 stocks de peces pelágicos pequeños de Chile (anchoveta norte, centro-norte, centro-sur, sardina común y sardina austral).

b) Modelo alternativo N° 2: Incorporación de datos de la X Región a la evaluación de stock

Históricamente la evaluación de stock de anchoveta y sardina común de la zona centro-sur ha utilizado información del monitoreo de las pesquerías industrial y artesanal entre San Antonio a Valdivia. Sin embargo, desde el 2005 se inició e incorporó el monitoreo de las pesquerías artesanales de sardina austral, sardina común, anchoveta y jurel, capturado en el mar Interior de la X región, correspondiente a la zona de pesca de Chiloé, recopilándose información bio-pesquera principalmente de las lanchas cerqueras artesanales al arribar a puerto y secundariamente a bordo (embarques) y en los principales centros de descarga. La flota artesanal de la Región de Los Lagos creció con el ingreso de nuevas naves hasta el 2012. Desde el 2013 y hasta el 2017 se redujo paulatinamente la flota, producto de la fuerte disminución de los recursos y las menores cuotas de pesca (Aranis *et al.* 2017). Dado que la definición del estatus y determinación de la CBA se realiza para el stock de sardina común entre Valparaíso y Los Lagos, se ha solicitado considerar la información del mar interior de ésta última región en la evaluación de stock. Al respecto, Zúñiga *et al.* (2018) muestran algunos resultados preliminares de la incorporación de esta información. Sin embargo, han surgido dudas si esta información debe ser incluida al modelo de evaluación actual o debe ser considerado como otro stock. Al respecto, Parada *et al.* (2013) analizó la dinámica de partículas permitiendo explicar la concentración de reclutas-juveniles en el área norte (Valparaíso - Biobío) y la mayor presencia de adultos en la zona sur (regiones Araucanía - Los Ríos), el elemento biológico que explicaría la preferencia de juveniles en el norte puede ser de carácter ambiental, dado que es mayor la fortaleza de los afloramientos y con ello los aportes de nutrientes y entre otros, es un área con zonas protegidas con mayores temperaturas que el sur. En tanto, el sur resulta propicio a la fracción adulta como área de encuentro reproductivo, baja actividad extractiva y la concentración adulta estaría asociada probablemente al retorno y reconocimiento de una fracción de la población- a su zona ecológica de puesta natal, impresa en los estadios tempranos en su hábitat original, conocido en otras especies como el natal homing. Sin embargo, en aguas interiores de Chiloé, no se evidencian estos procesos oceanográficos y la dinámica y efectos de las zonas abiertas, son muy diferentes, por lo cual la estrategia reproductiva utilizada por sardina y anchoveta si bien es similar respecto de la estacionalidad de los eventos, se han observado diferencias en las tácticas reproductivas asociadas probablemente a la dinámica oceanográfica propia de la influencia de fuertes cambios diarios de marea, una fuerte variación de la picnoclina relacionado con las contribuciones de agua dulce de las zonas más continentales (Aranis *et al.* 2018). Estos resultados fueron presentados al CCT-PP en la sesión de julio 2018, donde se discutió ampliamente respecto de considerar esta zona como parte de la unidad poblacional centro-sur. Al respecto, el CCT-PP recomendó incorporar al FIPA un estudio de unidades poblacionales de anchoveta y sardina común en aguas interiores y zona centro-sur. Mientras se resuelve este problema se sugiere explorar la incorporación de datos de aguas interiores bajo el enfoque de un solo stock de manera paralela al modelo base (Acta 04/2018).

c) Exploración de nueva plataforma de modelación (Stock synthesis)

Durante los días 22 al 28 de enero 2018 el grupo de trabajo de pequeños pelágicos de IFOP asistió al “Curso Avanzado de evaluación de recursos pesqueros con la plataforma de modelado Stock Synthesis” dirigido



por el científico evaluador de CAPAM Dr. Juan Valero y la Dra. Melissa Haltuch (NOAA) en la Universidad de Concepción.

Este curso fue la continuación de un curso introductorio en el uso de Stock Synthesis (SS) que fue realizado en el 2014 en la Universidad de Concepción. En el curso impartido en enero 2018 se revisó la versión más reciente de SS, se analizaron modelos alternativos, ejes de incertidumbre y ponderación de datos, aplicación de diferentes puntos biológicos de referencia, proyección y análisis de riesgo en SS.

Según Methot (2009) uno de los principales beneficios de trabajar con esta plataforma de modelado es que mejora la comunicación, la eficiencia y la educación en la comunidad de evaluación pesquera. Reduce el tiempo que lleva producir un informe de evaluación gracias a un paquete de procesamiento de salidas r4ss. Además, reduce el riesgo de errores en los códigos, ya que son códigos probados y estandarizados.

Para el grupo de trabajo pequeños pelágicos de IFOP, esta herramienta de modelación es muy útil para el proceso de estandarización de entrada y salida de datos al modelo, y de los resultados presentados en los informes de estatus. Además, existe una menor dependencia de capacidades de codificación, lo que facilitaría la implementación de modelos alternativos a una escala menor al año (semestral, trimestral y mensual).

d) Estandarización de informes de estatus de pesquerías pelágicas

En el marco del plan de trabajo entre los días 20 al 22 de febrero se realizó en dependencias del IFOP, un segundo taller de carácter interno con el fin de revisar formato y contenido de los informes de evaluación de stock en particular para los stocks de anchoveta (norte, centro-norte y centro-sur), sardina común y sardina austral. Lo anterior, con el propósito de estandarizar la entrega de información y resultados entre recursos y de este modo, facilitar lectura, comprensión y análisis tanto en el proceso de asesoría como a usuarios en general. Además, este proceso de estandarización en forma y contenidos permitirá avanzar en forma continua y conjunta en el desarrollo de mejoras entre recursos. Como principal resultado del taller N°2 de estandarización, se generó una propuesta tanto del formato del informe como de análisis a realizar en cada recurso, con énfasis en los requerimientos solicitados a los stocks de pelágicos. Los productos se presentan en Zúñiga *et al.* (2018a y 2018b, ANEXO IV).

e) Taller de capacitación: Hacia la Evaluación de Estrategias de Manejo

Entre el 5 y 8 de marzo del 2018 se desarrolló el Taller de Evaluación de Estrategias de Manejo (EEM) en el marco del convenio de cooperación entre IFOP y CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation), en el auditorio de IFOP, Valparaíso. El grupo de trabajo de CSIRO (Rich Little, Geoff Tuck, Jeremy Day, Bec Gorton y Claudio Castillo-Jordán) realizó charlas introductorias de EEM, descripción de los componentes de un EEM, algunos casos de estudio y un práctico de EEM en Excel.

El objetivo principal de este convenio es la asesoría del grupo de trabajo de CSIRO a evaluadores de stock de IFOP en la implementación de EEM en los principales recursos de las pesquerías chilenas. Al respecto, en una primera etapa se desarrolló una versión inicial para la pesquería de merluza del sur en el software EEM desarrollado por CSIRO basado en la evaluación actual de merluza del sur. En primer lugar, se implementó el modelo de IFOP en Stock Synthesis para luego evaluar EEM en el software desarrollado por CSIRO. El objetivo fue mostrar el proceso, los beneficios y las dificultades de su uso y finalmente proporcionar una guía inicial para el desarrollo de una EEM para Chile.

La EEM es una herramienta cuantitativa de simulación utilizada para evaluar los impactos de las decisiones de manejo sobre los niveles poblacionales de un recurso pesquero. Permite a los administradores o usua-



rios, probar distintas opciones de manejo sin tener que implementarlas en la realidad. Para implementar EEM es preciso conocer el procedimiento de manejo actualmente en uso (evaluación de stock y reglas de control), identificar las fuentes de incertidumbre que pueden afectar la toma de decisión y el qué hacer de una pesquería. Es por ello que es fundamental la participación de los administradores, comités de manejo y los comités científicos de pesquerías en la implementación de la EEM en Chile.

Lo fundamental para la EEM es la simulación del proceso de manejo de pesquerías incluida la recopilación, análisis o evaluación de datos y la toma de decisiones. Esta herramienta permite a los administradores simular y probar procedimientos de muestreo, evaluación y decisión para determinar su efectividad, incluida la eficacia de las medidas de manejo. Por ejemplo, en el caso de las pesquerías pelágicas centro-sur, una de las medidas de manejo que desea ser probada por los administradores son los criterios utilizados para dar inicio o término a una veda (Soporte de vedas).

f) Soporte de monitoreo para bajar la escala de modelación

Continuando con el marco del plan de trabajo propuesto, el día 4 de mayo de 2018 se realizó en dependencias del IFOP, un tercer taller de carácter interno entre el grupo de investigadores del Departamento de Evaluación de Recursos (DER) y el grupo de investigadores del Departamento de Evaluación de Pesquerías (DEP) para evaluar la suficiencia de información, discutir los criterios utilizados cuando la información no es suficiente e identificar las posibles dificultades de trabajar en escala menor al año al momento de las actualizaciones de Estatus y CBA. Al respecto, los investigadores del DEP señalaron que el tiempo de proceso de la información es de 45 a 60 días entre el registro de los datos muestreados, su validación y análisis, por lo tanto, se debe considerar un desfase de al menos 2 meses en la información disponible para ser usada en la modelación. Además, se presentaron algunos criterios utilizados cuando existen vacíos de información y finalmente se evaluó la posibilidad de contar con claves talla-edad en escala mensual. Los productos se presentan en Zúñiga *et al.* (2018a y 2018b, ANEXO V).

g) Análisis de riesgo (buffer) y proyección basada en cruceros

Actualmente el CCT-PP determina el rango de CBA seleccionando un nivel de riesgo (entre un percentil del 10 %-50 %) y un escenario de reclutamiento proyectado (recientes o histórico). Con el objeto de analizar el nivel de riesgo de exceder el objetivo de manejo seleccionado al momento de efectuar la toma de decisiones para determinar la CBA, IFOP ha analizado la definición de un nivel de resguardo entre la CBA y la captura al RMS, denominado buffer, cuya estimación se calcula a partir de la probabilidad de sobrepesca considerada aceptable (P^*) y el error estándar de la captura al RMS (σ), bajo el supuesto que esta presenta una distribución normal. Esta metodología ha sido presentada al CCT-PP (Acta sesión 05/2017), sin embargo, aún no ha sido implementada ya que se requiere avanzar en un trabajo detallado para analizar la incertidumbre asociada a la evaluación de stock. Esta metodología fue implementada para el modelo base de septiembre 2017 (CBA inicial 2018), marzo 2018 (1era revisión CBA 2018) y julio 2018 (2da revisión CBA 2018) y fue evaluado el efecto de la actualización de datos en la definición de un buffer y para evaluar la incertidumbre científica contenida en el buffer en relación a los parámetros del modelo, se probaron 7 escenarios alternativos de mortalidad natural invariable en el tiempo y 4 escenarios alternativos para las desviaciones del reclutamiento promedio (σ_R). Estos resultados fueron reportados en Zúñiga *et al.* (2018) y discutidos en la Sesión 4 del CCT-PP. Entre los resultados más destacados se aprecia que la distribución de probabilidad de la CBA varía en las distintas fases de decisión (CBA inicial, 1era revisión y 2da revisión) y también entre los distintos recursos (ejemplo, sardina común y anchoveta centro-sur) dependiendo de su dispersión (incertidumbre de la CBA_{RMS}) dando como resultado niveles de



riesgo muy disímiles entre pesquerías. Por lo tanto, una de las problemáticas identificadas fue definir qué nivel de resguardo utilizar en una pesquería que se encuentra en plena-explotación versus aquella que se encuentra agotada o colapsada. De este modo, para fortalecer la decisión del nivel de riesgo de la CBA se explora una estrategia de explotación tipo escalera que considera el nivel de reducción de la biomasa desovante (BD/BD_{RMS}) y condiciones más probables de biomasa de crucero de verano. Esta estrategia de explotación tipo escalera consiste en una regla de control que reduce la mortalidad por pesca si la biomasa desovante está por debajo del punto biológico de referencia objetivo (BD_{RMS}). Los avances en esta materia son presentados en Zúñiga (2019b, ANEXO III).

Además, para tener una apreciación más realista respecto de los posibles estados de la naturaleza, se analizaron escenarios de biomasa esperada del crucero hidroacústicos con el fin de facilitar la toma de decisión del CCT-PP. Los niveles de biomasa de crucero evaluados permiten reflejar distintas condiciones del recurso. Sin embargo, se analizó la proyección de solo un año hacia el futuro, lo cual no permite evaluar el impacto de la estrategia de explotación en el mediano plazo o evaluar si es posible recuperar un stock que se encuentra en el área de agotamiento o colapso. De este modo, para evaluar el efecto de una estrategia de explotación tipo escalera u otros, es necesario avanzar hacia el desarrollo de una Evaluación de Estrategias de Manejo, que permita probar mediante simulación, la robustez de la regla de control de captura diseñada, frente a las principales fuentes de incertidumbre de la pesquería.

h) Pasantía en School of Aquatic and Fishery Sciences, University of Washington

Durante el período de Octubre-Diciembre 2018 se realizó una pasantía financiada por el laboratorio del Dr. Ray Hilborn, en la School of Aquatic and Fishery Sciences, University of Washington, para trabajar en temas relacionados con evaluación y manejo de pesquerías. El objetivo principal del trabajo desarrollado consistió en evaluar modelos de evaluación de stock alternativos para el caso de anchoveta de la zona centro-sur de Chile, considerando escalas temporales más pequeñas que el año (semestrales, trimestrales, mensuales, etc.) y escalas espaciales más acotadas (datos agregados en función de distintas zonas de pesca). De este modo se implementaron modelos alternativos en la plataforma “Stock Synthesis” más acordes a la dinámica biológico pesquera de este recurso. Este trabajo fue desarrollado en colaboración con el Dr. Juan Valero, la Dra. Melissa Haltuch, la Dra. Maite Pons y el Dr. Ray Hilborn. Durante este período se discutió el uso alternativo y apropiado de los datos, ponderación de datos en modelo integrados, diagnóstico y selección de modelos, posibles implicancias para el manejo, entre otras cosas.

En enero 2019 se presentaron los avances del trabajo realizado al CCT-PP quienes ratificaron el enfoque planteado por IFOP apoyando la continuidad de esta línea de trabajo y la realización de un segundo taller a fines del 2019 con la asesoría de un experto internacional que permita identificar los modelos candidatos a “caso base” complementario a los actualmente en uso (Acta 01/2019 http://www.subpesca.cl/portal/616/articles-103170_documento.pdf) considerando la participación de miembros del CCT-PP y Subpesca.

i) Taller internacional:

Modelos alternativos implementación “Stock Synthesis” en distintas escalas espaciales y temporales

Posteriormente, con la asesoría del Dr. Valero se realizó un taller de trabajo en la sede del Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) en Valparaíso, Chile del 17 al 21 de Diciembre de 2018, donde se extendieron los avances logrados durante el trabajo con anchoveta centro-sur al resto de los stocks de pequeños pelágicos de Chile: anchoveta norte, anchoveta centro-norte, sardina común centro-sur y sardina austral. Durante el

taller se implementaron y discutieron uso alternativo y apropiado de datos, ponderación de datos en modelos integrados, diagnósticos y selección de modelos para cada uno de los stocks, tratamiento de incertidumbres de modelos incluyendo enfoques Bayesianos (MCMC fueron corridos y analizados). El Dr. Valero generó un reporte con recomendaciones para continuar con el desarrollo y mejoras en la calibración de los modelos integrados en “Stock Synthesis” y que permita llegar a modelos candidatos a ser utilizados, o contrastados directamente con modelos base usados actualmente para la provisión de asesoría a la toma de decisiones.

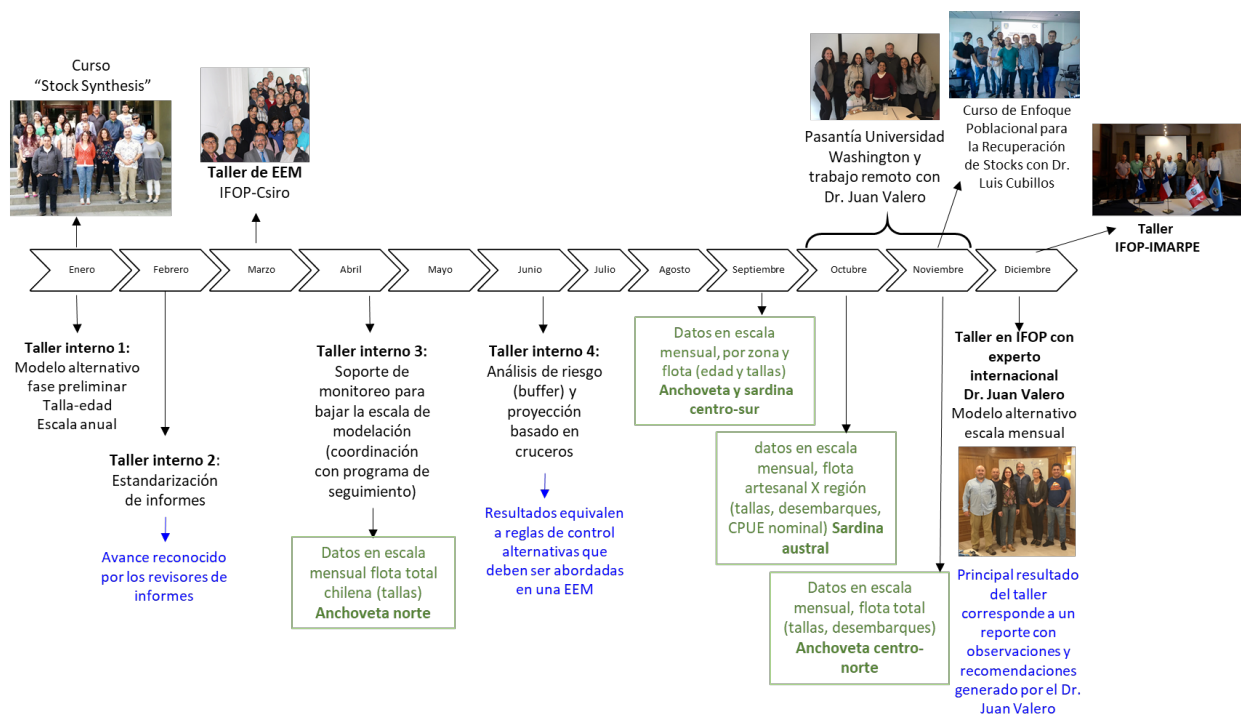


Figura 49. Trabajo desarrollado durante el 2018 orientado al proceso de mejora continua y disminución de brechas del conocimiento de peces pelágicos.

Actividades desarrolladas durante el año 2019: Durante el 2019 se realizaron actividades relacionadas con el proceso de mejora continua y disminución de brechas del conocimiento y asesoría para la toma de decisión de pesquerías de peces pelágicos pequeños. Las principales actividades relacionadas con el proceso de mejora continua fueron la la revisión por pares y benchmark de evaluación de stock de anchoveta de la zona norte. Se presentó los resultados del trabajo “Spatial stock assessment of anchovy (*Engraulis ringens*) off Central Southern Chile using the “areas-as-fleets” approach.” en ICES Annual Science Conference 2019 y se realizó un Curso de Evaluación de Estrategias de Manejo dictado por el Dr. Cubillos (Tabla 34). Como parte de la asesoría para la toma de decisión de estatus y CBA, el grupo de pesquerías pelágicas de IFOP realizó una serie de presentaciones en las sesiones del Comité Científico Técnico de Pesquerías Pelágicas (Tabla 35). Finalmente, a solicitud de Subpesca, se participó en talleres del proyecto FIPA 2018-49 “Diseño e implementación de evaluación de estrategias de manejo (EEM) en las pesquerías de anchoveta y sardina común” que desarrolló la escuela de Ciencias del mar de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso en conjunto con el Instituto de Investigación Pesquera (Tabla 36).



Actividades desarrolladas durante el año 2020: Durante el año 2020 se realizaron talleres de trabajo interno (Grupo de pesquerías pelágicas de IFOP), en los cuales se abordó el desarrollo de temáticas transversales para los pequeños pelágicos. El objetivo del grupo de trabajo fue transitar desde el actual enfoque de modelación usado en los stock de anchoveta centro-norte, sardina austral de la Región de Los Lagos (modelos estructurados a la talla), hacia un modelo estructurado a la edad en escala anual y en el caso de anchoveta centro-sur pasar de un modelo en año calendario a un modelo en año biológico. Los resultados de estos trabajos han sido presentados en las sesiones del CCT-PP durante el 2020 (**Tabla 37**). Como parte de la asesoría para la toma de decisión de estatus y CBA, el grupo de pesquerías pelágicas de IFOP ha realizado una serie de presentaciones en las sesiones del Comité Científico Técnico de Pesquerías Pelágicas y aún quedan actividades programadas para las sesiones 5 y 6.

Actividades desarrolladas durante el año 2021: Durante el año 2021 se realizaron talleres de trabajo interno con grupos de trabajo de descarte, seguimiento y evaluación de stock, en los cuales se abordó el desarrollo de temáticas transversales para los pequeños pelágicos relacionadas con incorporación del descarte a la evaluación de stock, cuyos resultados fueron presentados en la primera sesión del CCT-PP, revisión de los datos de entrada a los modelos de evaluación de stock base y alternativos de sardina austral de la Región de Los Lagos y Aysén, presentados en la tercera sesión del CCT-PP, revisión de escenarios de sensibilidad de modelo alternativo de anchoveta centro-norte, revisión de proyección de la CBA de anchoveta norte y revisión de datos de MPDH y series de capturas corregidas para anchoveta y sardina común Centro-sur, resultados presentados en la cuarta sesión del CCT-PP. Adicionalmente, como parte de la asesoría para la toma de decisión de estatus y CBA, el grupo de pesquerías pelágicas de IFOP ha realizado una serie de presentaciones en las sesiones del Comité Científico Técnico de Pesquerías Pelágicas (**Tablas 38 y 39**).

Tabla 34. Eventos relacionados al proceso de mejora continua y disminución de brechas.

| Eventos durante año 2019 | Contenidos |
|---|---|
| Taller N° 1 Revisión por Pares Anchoveta Norte Marzo 2019 | Durante los días 11 al 13 de marzo del 2019 se realizó el taller de revisión por pares del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile por el Dr. James Ianelli, experto del centro de ciencia pesquera de Alaska de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). |
| Taller N° 2 Benchmark Anchoveta Norte Junio 2019 | "Benchmark Stock Assessment" de los diferentes casos del modelo base a usar en base a las recomendaciones realizadas por el Dr. Jim Ianelli. Para este taller se contará con la asesoría de la Dr. Carolina Minte-Vera. |
| Presentación en ICES Annual Science Conference 2019 Anchoveta VALPO a LAGOS 9 - 12 septiembre, en Gothenburg, Suecia | "Spatial stock assessment of anchovy (<i>Engraulis ringens</i>) off Central Southern Chile using the "areas-as-fleets" approach." fue presentado en modalidad de presentación oral en ICES Annual Science Conference 2019, (theme session E: Integrating information on population structure and migration into fisheries stock assessment and management). |
| Curso de Evaluación de Estrategias de Manejo 17 al 20 de diciembre 2019 Sala OTIC, Viña del Mar | Curso "Implementación de Evaluación de Estrategias de Manejo en ADMB". dictado por el Dr. Luis Cubillos de la Universidad de Concepción. |



Tabla 35. Presentaciones del grupo de pesquerías pelágicas de IFOP en las sesiones del Comité Científico Técnico de Pesquerías Pelágicas calendarizadas para el año 2019.

| Sesiones 2019 | Presentaciones del grupo pelágicos del DER/IFOP |
|---|--|
| Sesión N°1 10 al 11 de enero 2019 | Presentación del Trabajo desarrollado durante año 2018 según programa de trabajo propuesto |
| Sesión N°2 4 y 5 de abril 2019 | Presentación de resultados de primera revisión de estatus y CBA 2019 de anchoveta y sardina común de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos |
| Sesión N°3 2 y 3 de mayo 2019 | <ul style="list-style-type: none">- Presentación de resultados de actualización de estatus y CBA 2019 de anchoveta Regiones ATCMA a COQ y- Resultados de la Revisión por Pares de la evaluación del stock de la anchoveta Zona Norte. |
| Sesión N°4 4 y 5 de julio 2019 | <ul style="list-style-type: none">- Presentación de resultados de actualización de estatus y CBA 2019 de sardina austral Regiones LAGOS y AYSÉN.- Taller de datos y modelos de pesquerías pelágicas.- Presentación de la programación del trabajo asociado a la implementación de las recomendaciones de la Revisión Por Pares de Anchoveta Norte. |
| Sesión N°5 22 y 23 de agosto 2019 | Presentación de resultados de actualización de estatus y CBA 2019 de anchoveta y sardina común Regiones de Valparaíso a Los Lagos |
| Sesión extraordinaria 27 de septiembre 2019 | Presentación de análisis alternativos que permitan explorar y evaluar el impacto de la proyección del reclutamiento y nivel de riesgo en la determinación de CBA de sardina común (ANEXO II, Volumen II). |
| Sesión N°6 16 y 18 de octubre 2019 | Presentación de resultados de estatus 2019 y CBA 2020 de pesquerías pelágicas. |



Tabla 36. Participación en talleres del proyecto FIPA 2018-49 “Diseño e implementación de evaluación de estrategias de manejo (EEM) en las pesquerías de anchoveta y sardina común” que desarrolló la escuela de Ciencias del mar de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso en conjunto con el Instituto de Investigación Pesquera.

| Actividades | Objetivo |
|---|--|
| Curso EEM 17-19, y 23 de julio, 2019 Aula Media “Ximena Reyes” Esc. Ciencias del Mar. PUCV. | Curso: Introducción a la evaluación de procedimientos/estrategias de manejo de recursos marinos. El objetivo del curso fue proporcionar los conocimientos fundamentales en la evaluación de procedimientos / estrategias de manejo y explotación de recursos marinos. |
| Taller N°1 24 julio 2019 Dinamarca 399, cerro Panteón Valparaíso. | Identificación y priorización de las principales fuentes de incertidumbre involucradas en el procedimiento de manejo de las pesquerías de anchoveta y sardina común. |
| Taller N°2 11 octubre 2019 Aula Media “Ximena Reyes” Esc. Ciencias del Mar. PUCV. | Se reúne a las partes involucradas con el objeto de identificar reglas de decisión, objetivos operacionales y sus variables de desempeño relevantes que representen el interés de cada sector que compone las pesquerías de anchoveta y sardina común. |
| Seminario-Taller 9 al 11 de marzo Hotel Pullman San Martín, Viña del Mar. | Seminario-Taller “Evaluación de Estrategias de Manejo en Recursos Pelágicos en Chile”. Participación de expertos extranjeros Dra. Carryn de Moor y Dr. Jim Ianelli. <ul style="list-style-type: none">• Expertos extranjeros presentan experiencias de EEM en Sud Africa y USA.• Grupo PUCV + INPESCA presentan resultados del proyecto FIPA 2018/49.• Investigadores del Grupo Pelágicos del DER/IFOP realiza dos presentaciones:<ol style="list-style-type: none">1. “Procedimientos de manejo de pesquerías de pelágicos pequeños en la zona centro-sur: PBRs, Evaluación y proceso de actualización de la CBA”.2. “Implementación de EEM en la anchoveta norte de Chile: Puesta en marcha de un proceso de asesoría científica integral para el manejo pesquero.” |



Tabla 37. Presentaciones del grupo de pesquerías pelágicas de IFOP en las sesiones del Comité Científico Técnico de Pesquerías Pelágicas calendarizadas para el año 2020.

| Sesiones 2020 | Presentaciones del grupo pelágicos del DER/IFOP |
|---|---|
| Sesión N°1 5 y 6 de Marzo 2020 | a) Revisión de los avances y propuesta de programación de modelos alternativos para las principales pesquerías de pequeños pelágicos: 1) Anchoqueta norte 2) Anchoqueta centro-norte 3) Anchoqueta centro-sur 4) Sardina austral. b) Revisión de la incorporación del descarte a la evaluación de stock en los hitos del ciclo de manejo y su proyección en la CBA de anchoqueta y sardina común centro-sur. c) Protocolo para el establecimiento de resguardo (niveles de riesgo) en la toma de decisiones de CBA. |
| Sesión N°2 3 de abril 2020 | Presentación de resultados de primera revisión de estatus y CBA 2020 de anchoqueta y sardina común de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos |
| Sesión N°3 14 y 15 mayo 2020 | - Presentación de resultados de actualización de estatus y CBA 2020 de anchoqueta Regiones ATCMA a COQ. - Resultados del taller de datos y modelos de anchoqueta Regiones de Valparaíso a Los Lagos. |
| Sesión N°4 2 y 3 de Julio 2020 | - Actualización de estatus y CBA 2020 de sardina austral Regiones de Los Lagos y Aysen. - Actualización de estatus y CBA 2020 de anchoqueta zona norte. - Revisión de datos y modelos a) Modelo alternativo de anchoqueta Regiones Atacama y Coquimbo y b) Revisión de la proyección de la CBA de anchoqueta zona norte. |
| Sesión N°5 20 y 21 de agosto 2020 | - Presentación de resultados de actualización de estatus y CBA 2020 de anchoqueta y sardina común Regiones de Valparaíso a Los Lagos - Revisión de datos y modelos a) Modelo alternativo de sardina austral Región de Los Lagos b) Revisión de los criterios utilizados para la toma de decisión 2021 de anchoqueta centro-norte (resguardos respecto a la CBA). c) Revisión de Puntos Biológicos de Referencia de anchoqueta centro-sur utilizando un modelo en año biológico. |



Tabla 38. Presentaciones del grupo de pesquerías pelágicas de IFOP en las sesiones del Comité Científico Técnico de Pesquerías Pelágicas calendarizadas para el año 2021.

| Sesiones 2021 | Presentaciones del grupo pelágicos del DER/IFOP |
|--|---|
| Sesión N°1 25 de febrero 2021 | <p>Propuesta de mecanismo transitorio para compensar la incertidumbre propia de las estimaciones de descarte, usada como input en la determinación de la CBA, conforme a lo planteado en la sesión extraordinaria de diciembre de 2020. ANEXO III</p> <p>Revisión de nuevas consideraciones metodológicas incorporadas en la proyección del reclutamiento de anchoveta Zona Norte, para el establecimiento de la CBA 2021 establecida en la 6ª sesión año 2020.</p> |
| Sesión N°2 18 y 19 de marzo 2021 | <p>Actualización/revisión del estatus de conservación biológica y rango de captura biológicamente aceptable de anchoveta y sardina común Regiones de Valparaíso a Los Lagos.</p> <p>Actualización/revisión del estatus de conservación biológica y rango de captura biológicamente aceptable de anchoveta zona norte</p> |
| Sesión N°3 6 y 7 de mayo 2021 | <p>Actualización/revisión del estatus de conservación biológica y rango de captura biológicamente aceptable de anchoveta de Regiones de Atacama y Coquimbo.</p> <p>Taller de datos y modelos sardina austral Región de Los Lagos, donde se presentó la comparación entre el modelo base (observaciones y dinámica en talla) y el alternativo (observaciones en talla y dinámica en edad), incluyendo además de las variables poblacionales revisadas en sesiones previas, los resultados asociados a la toma de decisiones; estatus y CBA, de ambos hitos de manejo (Hitos 1 y 2).</p> <p>Taller de datos y modelos sardina austral Región de Aysén, donde se presentó una revisión de los datos y supuestos del modelo base, pobre en datos (aproximación de Zhou et al (2013), y resultados preliminares de exploraciones efectuadas con dos modelos pobre en datos:</p> <ul style="list-style-type: none">a) SPiCT (Stochastic Surplus Production Model in Continuous Time)b) LBPA (Length-Based Pseudocohort Analysis) |



Tabla 39. Presentaciones del grupo de pesquerías pelágicas de IFOP en las sesiones del Comité Científico Técnico de Pesquerías Pelágicas calendarizadas para el año 2021.

| Sesiones 2021 | Presentaciones del grupo pelágicos del DER/IFOP |
|--|---|
| Sesión N°4 1 y 2 de Julio 2021 | <p>Actualización/revisión del estatus de conservación biológica y rango de captura biológicamente aceptable de sardina austral Región de Los Lagos y Región de Aysén</p> <p>Taller de datos y modelos de anchoveta Regiones de Atacama y Coquimbo, se presentó la sensibilización de ponderadores de CPUE y MPDH (CVs) y una nueva ojiva de madurez macroscópica a la talla (Leal y Canales, 2009), considerando que la actualmente utilizada pertenece a la anchoveta de la Zona Norte (Martínez, 2004).</p> <p>Taller de datos y modelos de anchoveta Zona Norte, se presentó escenarios de proyección de la CBA para el hito 1, considerando proyección de 3 y 4 semestres y para el hito 2 proyecciones de 2 semestres, según completitud de la información.</p> <p>Los escenarios de proyección incluyen el uso de los reclutamientos promedio semestrales, desde el año 2000 hasta el último valor estimado (2000-2019,5) y hasta el penúltimo (2000-2018,5), penalizando en ambos casos, la estimación del último semestre con tres métodos distintos:</p> <ul style="list-style-type: none">a) El límite inferior de la última estimación del reclutamientob) Reclutamiento desde una relación no-lineal con el desembarquec) El último valor dev_{logR0} (límite inferior) desde el archivo .pin <p>Taller de datos y modelos de anchoveta y sardina común Zona Centro-sur, se presentó resultados preliminares de 11 escenarios de sensibilidad que involucran:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Cambios en CV de los cruceros acústicos de verano y otoñob) Cambios en CV del crucero de huevosc) Actualización de la biomasa desovante estimada por el crucero MPDHd) Nuevos índices e densidad de huevos para el crucero de MPDH <p>Además de tres escenarios que involucran la corrección de captura utilizando ponderadores estimados por Wiff et al. (2017) y se espera incorporar otras series que están en desarrollo por parte de IFOP en colaboración con INPESCA. ANEXO II.</p> |



4.4.4. Recomendaciones realizadas en Revisión por Pares Externa e independiente (RPEI)

Como parte del proceso de mejora continua en el desarrollo de presente proyecto y sin perjuicio de otras recomendaciones, en las **Tablas 40 a 43** se resume la forma de abordar las sugerencias y correcciones recomendadas en la revisión por pares de sardina común centro-sur para el mejoramiento del proceso de evaluación de stock (estudios y programas de investigación) que pueden conducir a una reducción en la incertidumbre del estado del stock de sardina común.

Tabla 40. Año de implementación y porcentaje de avance de las recomendaciones realizadas en el Taller de Revisión Por Pares Externa e Independiente.

| N | Ítem | | Observación | Año | % Avance |
|---|---------------------------------------|--|--|---------|----------|
| 1 | Modelo de evaluación | Frecuencia temporal | Implementar un modelo a escala más fina, (frecuencia temporal semestral, trimestral) | 2020-21 | 95 % |
| | | Selectividad | Explorar funciones de selectividad alternativas a la logística | 2020-21 | 5 % |
| | | Potencial reproductivo | Analizar el potencial reproductivo considerando la importancia de los peces más viejos/grandes para el stock desovante efectivo | 2020-21 | 5 % |
| 2 | Parámetros historia de vida | Mortalidad natural | Estimar M en el modelo, discutir su efecto en los resultados y en la selección del caso base y una posible tasa diferencial de M a la edad | 2014 | 100 % |
| | | Madurez | Documentar y analizar la edad de primera madurez apropiada en la ojiva de madurez (no necesariamente constante a través del tiempo). | 2020/21 | |
| 3 | Asignación de Edad y clave talla-edad | Determinación de Edad y clave talla edad | Estudiar la clasificación de los peces con edades asignadas al grupo de edad cero en escala biológica y la agregación de los datos de capturas en una única matriz anual. | 2020/21 | 50 % |
| | | | Estudiar el efecto en las estimaciones anuales del Peso Medio a la Edad y en la estimación de biomasa desovante. | 2020/21 | 5 % |
| | | | Estimar el alcance real de los errores en la determinación de edad y su efecto en los resultados de la evaluación. | 2020/21 | 50 % |
| | | Distribución de talla de la Captura | Desarrollar experimentos del diseño de muestreo del proceso de descarga en el desembarque para la obtención de frecuencia de tallas. | 2015 | 100 % |
| | | | Analizar y re-estimar la frecuencia de tallas para los años 1998-2001 donde las capturas totales fueron corregidas. Evaluar el posible efecto y proporcionar una estimación más realista de la composición de talla/edad de las capturas en esos años. | 2020/21 | 50 % |



Tabla 41. Año de implementación y porcentaje de avance de las recomendaciones realizadas en el Taller de Revisión Por Pares Externa e Independiente. *Continuación.*

| N | Ítem | | Observación | Año | % Avance |
|---|---|--|--|---------|----------|
| 3 | | Claves talla-edad de cruceros acústicos y capturas comerciales | Comparar las claves tallas-edad de las capturas y los cruceros acústicos. | 2020/21 | 50 % |
| | | | Las claves talla-edad podrían utilizarse para entregar estimaciones de la distribución de edad en los cruceros PELACES en aquellos años en los que no existen estimaciones de edad | 2020/21 | 50 % |
| 4 | Información utilizada en la evaluación y su peso relativo | Crucero acústico | Analizar el efecto de asumir distintos valores para los CVs de los cruceros. Analizar el efecto distintos tamaños de muestra (muy altos y muy bajos) de los datos de captura a la edad de la flota sobre el ajuste de los cruceros RECLAS y PELACES. | 2020/21 | 75 % |
| | | Crucero de huevos | Eliminar el índice de crucero de huevos o aumentar considerablemente la varianza asumida. | 2014 | 100 % |
| | | Captura total | Analizar la Información sobre captura no declarada Analizar datos de desembarques verificados y no verificados recopilados por SERNAPESCA en años más recientes y Estimar sub-reporte de años más recientes | 2020/21 | 50 % |
| | | Proporciones talla/edad | Actualizar estimaciones sobre el tamaño real de la muestra al incorporar nuevas composiciones de talla/edad. (Eval stock) Analizar y evaluar las ponderaciones apropiadas para los datos de frecuencia de edad y talla. Calcular las CV de las proporciones de frecuencia de edad y Analizar si se debería designar un peso equivalente a los datos de frecuencia de cada año. | 2020/21 | 50 % |
| | | Corrección de orilla | Analizar el procedimiento de extrapolación, comparando los enfoques de estimación alternativos para las áreas costeras | 2020/21 | |
| | | | Analizar los ajustes del diseño/implementación para entregar una mejor estimación de estas áreas costeras. | 2020/21 | |



Tabla 42. Año de implementación y porcentaje de avance de las recomendaciones realizadas en el Taller de Revisión Por Pares Externa e Independiente. *Continuación*

| N | Ítem | | Observación | Año | % Avance |
|---|---|---|--|------------------------|------------------|
| 5 | Cruceros Acústicos | Distribución de tallas | Desarrollar estimaciones derivadas de un rango de datos alternativos para la frecuencia de talla en base a los distintos supuestos para la selectividad de equipos de muestreo y su cobertura espacial. Mejorar la estimación de frecuencia de talla en futuros cruceros e incluir un análisis de estrategias de muestreo alternativas y la cantidad apropiada de esfuerzo de muestreo y su cobertura espacial. | 2020/21 2020/21 | |
| 6 | Representación de la incertidumbre en las estimaciones del modelo de evaluación de stock y proyección | Incertidumbre | Analizar la incertidumbre del modelo e incorporar en los resultados generales de la evaluación y en la recomendación de manejo para proporcionar una medida razonable de la incertidumbre y del riesgo, para ello se debe tomar en cuenta un rango más amplio de escenarios de sensibilidad. | 2020/21 | 75 % |
| | | Captura totales | Construir escenarios para explorar el efecto de sobre o sub-reportes (fuente de incertidumbre en la evaluación y recomendación de manejo) | 2020/21 | 75 % |
| | | | Analizar el efecto de una combinación de factores (escenarios) para analizar la incertidumbre total. | 2020/21 | 75 % |
| | | Cálculo de Riesgo Asociado con los Niveles de Captura - CBA | Analizar la estimación de riesgo (la probabilidad de que una captura dará lugar a un F mayor que el objetivo) Analizar la estimación de riesgo de los escenarios de reclutamiento. | 2020/21 | 75 % |
| 7 | Implementación del modelo de evaluación | Codificación y documentación | Desarrollar un sistema de control más riguroso que garantice que todas las versiones del programa de evaluación y los archivos de control sean archivados. Revisión cuidadosa del código, los archivos de entrada y los resultados para garantizar la ejecución apropiada de las modificaciones y las ejecuciones. | 2020/21 2020/21 | 95 % 95 % |
| | | Estimaciones de capturas totales | Reducción del CVs capturas de 10 % a 1 % | 2014 | 100 % |



Tabla 43. Año de implementación y porcentaje de avance de las recomendaciones realizadas en el Taller de Revisión Por Pares Externa e Independiente. *Continuación.*

| N | Ítem | | Observación | Año | % Avance |
|---|---|-------------------------|--|---------|----------|
| | | Pesos medios a la edad | Utilizar una matriz de captura al peso más estrechamente ligado al período de tiempo real en que el modelo está estimando las biomásas. | 2020/21 | 5 % |
| | | | Utilizar datos reales recopilados de los datos de edad y peso a la talla para generar estimaciones directamente observables del peso medio a la edad en ese momento. | 2020/21 | 5 % |
| | | | Analizar la consecuencia de la variabilidad en las estimaciones de peso a la edad en la recomendación de la evaluación. | 2020/21 | 50 % |
| 7 | Implementación del modelo de evaluación | | Prior restrictiva en q para el crucero RECLAS y una prior no uniforme para los cruceros PELACES | 2014 | 100 % |
| | | | Eliminar o aumentar considerablemente la varianza asumida del crucero de huevos | 2014 | 100 % |
| | | Selección del caso base | Estimar M en el modelo de evaluación o utilizar un rango de valores fijos de M, ampliando en rango de estimaciones indirectas y el valor estimado a partir del modelo. | 2020/21 | 50 % |
| | | | Limitar sobre F en 1991 y 1992 o iniciar el modelo en una fecha anterior para haber tenido en cuenta las capturas iniciales y considerables que se estaban realizando. | 2014 | 100 % |
| | | | Estimaciones de captura total, estimar sub-reporte de las capturas más recientes. | 2020/21 | 50 % |



4.4.5. Recomendaciones realizadas en Informe de evaluación técnica de proyectos del programa de investigación básica o permanente para la regulación pesquera y de acuicultura.

Recomendaciones realizadas en Informe de evaluación técnica de proyectos del programa de investigación básica o permanente para la regulación pesquera y de acuicultura. A continuación, se describe las principales observaciones realizadas para el primer y segundo informe (Zúñiga, 2019 y Zúñiga *et al.* 2020), y tercer informe 2021, las cuales serán acogidas como parte del programa de mejoramiento continuo y por lo tanto, serán abordadas durante el período 2021-22.

Tabla 44. Principales observaciones realizadas para el primer y segundo informe 2019 (Zúñiga, 2019), las cuales serán acogidas como parte del programa de mejoramiento continuo y por lo tanto, serán abordadas durante el período 2021-22.

| Ítem | Observación |
|--|---|
| Corrección de capturas | Análisis de sensibilidad respecto de los resultados del proyecto de corrección de capturas que da cuenta de sub-reporte, sobre-reporte y descarte |
| Pesos medios en los últimos cinco años | Realizar análisis que respalde que el aumento de los pesos medios no se debe a problemas de muestreos, cambio de zonas de pesca, etc. o en sus defectos sea efectivamente que los individuos a las mismas tallas/edad han incrementado su peso, y las implicancias para la población de ello. Evaluar el impacto directo en las estimaciones de biomasa, PBR y CBA |
| Mortalidad natural | Las estimaciones de mortalidad natural (M) de anchoveta y sardina común necesitan ser revisadas y tienen un alto impacto en la evaluación de stock, puntos biológicos de referencia y CBA. Se desprende de esta revisión (Objetivo 4), que la temática no solo aflora en esta revisión, sino que ha sido señalado anteriormente por otros revisores. Ambos stocks han sufridos fuertes variaciones poblaciones durante la última década (2010 - 2019) lo cual amerita al menos el estudiar la variabilidad de M entre edades para ambas especies. |
| Parámetros de Crecimiento y M | El desarrollo de proyectos FIPA ha entregado nuevos antecedentes respecto del crecimiento de ambas especies en la zona centro sur, que debieran permitir una revisión de la misma. Por lo anterior, se solicita la revisión de M de ambos recursos considerando la variación entre juveniles y adultos al menos, utilizando método de M adecuados a los recursos, e informar estimaciones de M con su incertidumbre. |
| Estimación de CBA | No existe diferencia significativa entre las CTP estimadas de anchoveta, se argumenta que se debe a la baja variación existente en el grupo de edad 0. Solicita un análisis que permita respaldar este argumento. |
| Escenarios de Reclutamiento proyectado | Se señala que los nuevos escenarios de reclutamientos propuestos al CCT en ambas especies se basan en un análisis de quiebre. Al respecto, esos análisis no se encontraron disponibles en el informe, ni en términos metodológicos ni en los resultados (solo Figuras). Se solicita incorporar el análisis de quiebres tanto a nivel de la metodología como de los resultados. Si bien la contribución del análisis de quiebre es más que obvia, no los son sus resultados y metodología. |



Tabla 45. Principales recomendaciones realizadas al tercer informe 2021, las cuales serán acogidas como parte del programa de mejoramiento continuo y por lo tanto, serán abordadas durante el período 2021-22.

| Ítem | Observación |
|--------------------------|---|
| Reproducción | En la sección "Reproducción" se sugiere incorporar información actualizada. Al respecto, se cuenta con información actualizada desde los cruceros de huevos (MPH), los cuales albergan importante información respecto a la dinámica y situación reproductiva actualizada. (Actualizar figura 10 a la condición 2020/21) |
| Reclutamiento | Se indica que el reclutamiento es estimado de manera aleatoria y asumido a inicios de enero. Dado que la variable reclutamiento tiene una distribución log-normal, la mediana no sería la misma que la media. En ese contexto, sería posible explorar la corrección por sesgo en la estimación de reclutamiento. Por lo tanto, se sugiere al ejecutor explorar o discutir acerca de la pertinencia de generar dicha estimación con corrección. |
| Pesos medios | Se sugiere que el peso promedio en la proyección sea aquel peso verificado en niveles de reclutamiento promedio. Vale decir, cuando los reclutamientos son bajos o altos el aporte en peso del grupo de edad 0 puede variar. La observación se orienta a que el peso medio sea representativo de la estructura etaria que se asume. Explorar el comportamiento de los pesos medios ante distintos escenarios de reclutamiento puede dar evidencia de patrones que permitan asumir supuestos con menor incerteza. |
| Mortalidad natural | Se podría explorar estimaciones de mortalidad natural edad dependiente al interior del modelo de evaluación de stock. |
| Reclutamiento proyectado | No se indica la significancia estadística del análisis de quiebre del reclutamiento. Se debe establecer fundadamente que hubo cambios en la media o varianza (según el método aplicado). Este aspecto es crítico, ya que la definición de los cortes temporales condiciona los supuestos de reclutamiento para determinar la CBA. |
| Madurez sexual | La madurez sexual corresponde a un vector de edades donde los maduros se concentran desde el grupo de edad 1 en adelante. Bajo lo anterior, el modelo asume que el grupo de edad 0 no tiene ejemplares maduros. No obstante, en este informe consolidado se cita distintos estudios acerca de la talla de madurez sexual (página 57), cuya madurez al 50% se concentra entre 10 y 11 cms de LT. En ese contexto, imponer un valor 0 en la madurez del grupo de edad recluta no sería representativo, ya que existe un pequeño porcentaje de maduros incipientes bajo los 11,5 cms que puede aportar a la biomasa desovante y que actualmente no se está considerando. |
| Capturabilidad | Se sugiere revisar los coeficientes de capturabilidad en ambos cruceros donde la estimación indica valores por sobre 1 (Reclas 1,32 y Pelaces 1,82). Sobre todo el alto valor del crucero Pelaces. Estos valores no están justificados en el informe, más allá que se indique la opción de estimarlos libremente. |
| Estatus proyectado | Los resultados de la proyección al año 2021/22 varían según el nivel de reclutamiento y mortalidad por pesca en el RMS. Destaca el bajo impacto que tiene las variantes de reclutamiento sobre el estatus, donde sólo se generan cambios al variar el nivel de FRMS. Se sugiere probar niveles de F más altos respecto al valor de RMS, con el objeto de demostrar el efecto de capturas sobre el nivel objetivo. |



5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El período de análisis del presente estudio (Asesoría de julio 2021) comprende los años biológicos desde 1990/91 a 2020/21 con información del crucero de otoño 2021 (composición de edad y biomasa total) y supuestos de captura, descarte, composición de edad y pesos medios de la flota. El porcentaje de descarte 2020/21 se asume igual al 4 % (supuesto de proyección acordado en primera sesión del CCT-PP, febrero 2021). Una de las principales características del stock de sardina común es el comportamiento estacional de las capturas, donde cerca del 70 % de la captura total anual se obtiene al primer semestre de cada año, con máximos entre marzo y abril. Esta estacionalidad es altamente influenciada por el pulso de reclutamiento de enero, observándose una fuerte relación entre la biomasa estimada por el crucero de enero y los desembarques. Al respecto, a partir del 2015 las biomásas acústicas de verano se mantuvieron en niveles en torno a los dos millones de toneladas, lo cual se ve reflejado también en una estabilidad en las capturas en torno a las 350 mil toneladas promedio.

Las biomásas acústicas de otoño reflejan el efecto de la remoción ejercidas por la pesca y causas naturales, con biomásas en general menores a las estimadas en el crucero de verano en torno a 1,3 millones de toneladas promedio durante los últimos 5 años. Saavedra *et al.* (2017) señalan que la tendencia histórica de los cruceros acústicos de otoño es a disminuir la abundancia y biomasa de sardina común respecto al crucero de verano y a aumentar la abundancia y biomasa de la anchoveta centro sur respecto al crucero de verano, consolidando la importancia del crucero de otoño para observar el reclutamiento de anchoveta por sobre el seguimiento del reclutamiento de sardina común.

Para el año 2020 se observa un cambio en las tendencias de las biomásas estimada por el crucero acústico de verano, otoño y capturas. La biomasa estimada en enero se redujo a un millón de toneladas (54 % menor al 2019), la estimada en mayo disminuye un 40 % respecto al 2019 y el desembarque registrado para el primer semestre 2020 se redujo un 19 % respecto del primer semestre 2019 y un 31 % respecto al 2018. A diciembre 2020 se registraron capturas en torno las 258.092 toneladas, equivalente a un 80 % de la CBA 2020 recomendada por el CCT-PP (321.307 toneladas). No obstante las disminuciones observadas en los índices de abundancia del año previo, en el 2021 la biomasa estimada por el crucero acústico de enero retornó a los niveles en torno a los 2 millones de toneladas observados entre el 2015 y 2019 (2,15 millones de t), incrementando un 125 % respecto a lo estimado para el año 2020. El crucero de otoño 2021, en tanto, estimó un nivel de biomasa un 27 % respecto al año anterior. En relación con la captura 2020/21, se registró un aumento del 38 % respecto del año biológico 2019/20 y un 79 % respecto del supuesto utilizado en la primera revisión de CBA correspondiente al proceso de asesoría de marzo 2021. El modelo de evaluación de stock reproduce adecuadamente la tendencia general de los niveles de biomasa que han presentado las estimaciones de cruceros acústicos de verano y otoño, en particular durante los últimos 7 años, considerando que estos contienen un importante nivel de variabilidad interanual.

La pesquería de sardina común está sustentada sobre un 60 % por la abundancia del grupo de edad cero (GE 0). Los resultados del crucero de verano 2019 y 2020 presentan una disminución en los niveles de abundancia de la fracción recluta, de modo que, el estimado de biomasa del crucero de verano 2019 es sostenido principalmente por la fracción adulta (edad 1+). Mientras que para el 2020 disminuye la abundancia de 2 grupos de edad (edad 0 y 1), por lo tanto, la biomasa es sostenido por individuos de edad 2+. Esta disminución se confirma al actualizar la composición de edad de la flota y del crucero de otoño. Por lo tanto, la disminución de la biomasa 2020 estaría fuertemente relacionada a la reducción del número de individuos de los grupos de edad 0 y 1 principalmente, mientras que el incremento de la biomasa acústica 2021 estaría sostenida principalmente por la fracción recluta (92 % de individuos de edad 0). El crucero de



otoño 2021 mantiene una importante representatividad (72 %) de ejemplares del grupo de edad 0.

El comportamiento de los residuales de los cruceros sugiere ciertos patrones que se reflejan principalmente en una tendencia a la subestimación de los grupos de edad 0 en los cruceros de verano y otoño en el período de mayor abundancia de sardina común (2009-2018). No obstante, para los dos años de bajos reclutamientos (2019 y 2020) este patrón cambia hacia una tendencia a sobre-estimar, producto de la reducción de los reclutas.

En relación a las tendencias de las variables poblacionales se observa que los reclutamientos han mostrado importantes fluctuaciones interanuales y en su historia conocida se aprecian tres períodos relevantes, a) $R_{prom}(1991-2007)$ con los niveles más bajos de reclutamientos (114 mil millones de peces), b) $R_{prom}(2008-2012)$ con los más altos niveles de reclutamiento (410 mil millones de peces) y c) $R_{prom}(2013-2021)$ con reclutamientos medios en torno a 180 mil millones de peces. En relación con los tres períodos relevantes, el reclutamiento 2021 es un 94 % mayor al $R_{prom}(1991-2007)$, un 46 % menor al $R_{prom}(2008-2012)$ y un 23 % mayor al $R_{prom}(2013-2021)$. El incremento del reclutamiento 2021 genera una recuperación en los niveles de biomasa total, encontrándose un 21 % sobre el promedio histórico de la serie (promedio 1991-2021 = 1,65 millones de t). Por otro lado, la biomasa desovante promedio de la serie histórica se encuentra en torno a 718 mil toneladas, mientras que el promedio de los últimos 9 años (período 2013-2021) es de 980 mil toneladas. Al respecto, la biomasa desovante esperada para el año biológico 2020/2021 es un 29 % menor al promedio histórico y un 48 % menor al promedio de los últimos 9 años (período 2013-2021). La condición estimada en este estudio para el año 2020/2021 indica que la sardina común se encuentra en sobreexplotación (38 % bajo BD_{RMS} y 9 % sobre F_{RMS}), con un 18 % de probabilidad de colapso y 48 % de riesgo de sobrepesca. La asesoría actual (julio 2021) confirma el estatus proyectado en la asesoría previa (marzo 2021), no obstante, posiciona a la sardina común de la zona centro sur en una condición de menor riesgo (18 %) de encontrarse agotada/colapsada.

Adicionalmente, en este estudio se analizó el efecto del retorno del reclutamiento 2021 ha niveles favorables sobre el estatus proyectado hacia el 2021/22 bajo una mortalidad por pesca en torno al F_{RMS} . Los resultados indican una recuperación del estatus para el año biológico 2021/22, acercándose a una condición de plena-explotación con un 49 % de probabilidad de sobre-explotación y un 4 % de probabilidad de colapso, independiente del escenario de reclutamiento proyectado. Al parecer, esta recuperación podría estar relacionada a las condiciones ambientales favorables registradas hacia fines del 2020 e inicios del año 2021, donde se registró una condición fría, con gran cobertura espacial de ATSM negativas al norte de los 40°S y procesos de intensa surgencia costera, con elevadas concentraciones de clorofila-a en la costa, lo que se tradujo en una mayor disponibilidad de alimento (fitoplancton) para los reclutas de sardina común (Saavedra *et al.*, 2021a).

La pesquería de sardina común está muy asociada a la de anchoveta centro-sur, con la cual presenta una importante interacción tecnológica y biológica. Estas características originan operaciones de pesca mixta, con alternancia de dominio intra e inter anual. El análisis de los indicadores de ambos stock muestran niveles de productividad muy disímiles (**Figura 50**) revelando alternancia y predominancias importantes una sobre la otra. Estos cambios de productividad podrían ser producto de diversos factores biológicos (fenómenos dependientes de la dinámica poblacional, reducción del potencial reproductivo) y factores oceanográficos desfavorables para anchoveta y que han favorecido la producción de la sardina común dejando en evidencia la alternancia de ambas especies, las cuales son explotadas en la misma área y por la misma flota.

Al respecto, considerando la recuperación de anchoveta los últimos años, ratificado por los resultados del

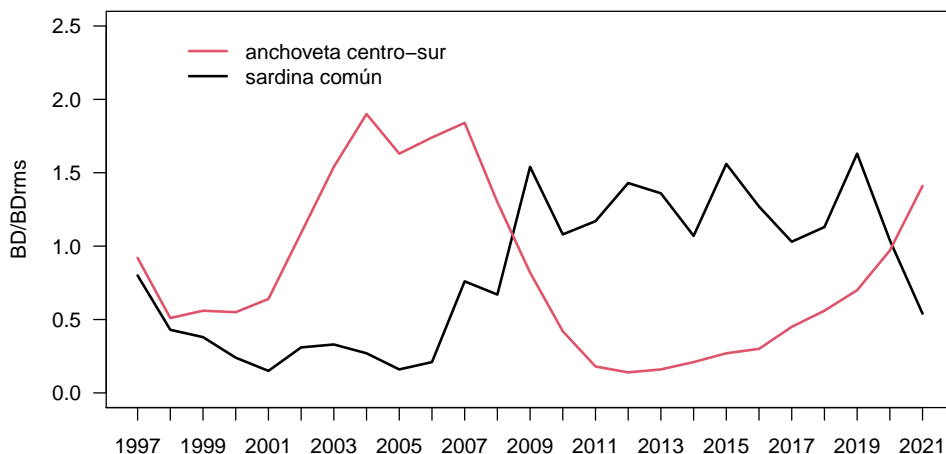


Figura 50. Razón BD/BD_{RMS} de sardina común y anchoveta centro-sur.

crucero de otoño 2021, los cuales muestran que al igual que el año pasado, anchoveta pasa a cohabitar junto a sardina común con una mayor distribución geográfica y mayor biomasa, transformándose en este período otoñal, en la especie principal en el ecosistema de la zona centro-sur. No obstante, Saavedra *et al.* (2021b) advierten que esta situación es momentánea ya que en el período estival esta situación normalmente cambia, dependiendo de un reclutamiento exitoso para revertirse.

Adicionalmente, el estudio de variables ambientales realizado por Aranís *et al.* (2020) mostró que entre el 2015-2017 se registró una condición más cálida que podría haber impulsado condiciones reproductivas levemente más intensas para ambos recursos, no obstante, sólo se registrarían reclutamientos exitosos para anchoveta, coincidiendo con una condición ambiental neutra 2018-19. Algunos estudios han encontrado una relación inversa y significativa con la anomalía de la TSM y una relación positiva y significativa con la anomalía de la CHL, ya que se reconoce que la sardina común se alimenta preferentemente sobre presas de menor tamaño asociadas al fitoplancton (Arteaga *et al.* 2014, Cubillos & Arcos 2002, Van der Lingen *et al.* 2009). Gómez *et al.* (2012) sugieren que la clorofila costera de primavera es un buen indicador de la abundancia de alimento de sardina común, afectando significativamente la supervivencia de pre-reclutas de sardina común y por consiguiente, la fuerza de los reclutamientos a finales de primavera. Dado que las condiciones ambientales registradas hacia fines del 2020 e inicios del 2021 indican que nos encontraríamos en una condición fría, posiblemente favorable para sardina común, las tendencias poblacionales de ambos recursos podrían invertirse nuevamente.

En el Sistema de Corriente de Humbolt (HCS) se han descrito regímenes que caracterizan un sistema dominado por anchoveta o por sardina, sobre la base de series anuales de capturas, series temporales de volumen de zooplancton y parámetros ambientales físicos como la temperatura superficial del mar, índices de surgencia, índices de oscilación del sur, profundidades de termoclina y otros (Chavez *et al.* 2003, Alheit & Niquen 2004, Montecinos *et al.* 2003, Alheit & Bakun, 2009). Según Swartzman *et al.* (2009), los cambios de régimen son causados por períodos duraderos de anomalías en la temperatura cálida o fría relacionadas con la intrusión o retroceso de aguas oceánicas subtropicales cálidas a la costa de Perú



y Chile. Algunos estudios señalan que si la productividad promedio en el tiempo ha sido influenciada por las condiciones ambientales cambiantes, entonces los objetivos de manejo pueden no ser sostenibles si se basan en el reclutamiento futuro basado en condiciones que ya no existen (Haltuch *et al.* 2009). De este modo, considerando el efecto de la variabilidad ambiental en el reclutamiento, es probable que se mejore el asesoramiento científico a través de un enfoque más preventivo asumiendo que se ha producido un cambio en el reclutamiento (Wayte, 2013). Según Polovina (2005), cuando se ha producido un cambio de régimen, las políticas para reconstruir el stock a niveles anteriores no son posibles. En este caso, el stock debería ser manejado en su nuevo nivel de productividad. Sin embargo, aceptar o no que ha ocurrido un cambio en la productividad de los stocks es una decisión difícil de tomar para los científicos y administradores. Klaer *et al.* (2015), señalan que un cambio de productividad se define como un cambio en el tiempo en las características biológicas de una población de peces que conduciría a un cambio en los puntos de referencia biológicos (como el rendimiento máximo sostenible). En la estimación de los puntos de referencia biológicos, se supone a menudo que la mortalidad natural, la relación longitud a la edad, longitud peso, madurez a la edad/longitud y la relación del reclutamiento con la biomasa desovante son constantes a lo largo del tiempo. Un cambio temporal substancial en cualquiera de estos factores causaría lo que llamamos un cambio de régimen en la población. Al respecto, si bien hacia el último año se registró una falla del reclutamiento de sardina común, Aranís *et al.* (2020) informan que el factor de condición indica una condición saludable para ambos recursos, con mejores índices para sardina común, lo que permite inferir que esta es una especie mejor adaptada al ambiente centro-sur y que la alometría positiva indica que es altamente probable que no exista una limitante de la oferta ambiental. En base a estos antecedentes, no es posible indicar un cambio de régimen en la zona centro-sur de Chile.

La pesquería de sardina común ha sido manejada históricamente de manera monoespecífica, considerando la incertidumbre asociada a la evaluación de stock. No obstante, desde el punto de vista de la administración pesquera, la característica de pesquería mixta de anchoveta y sardina común y que ambas se encuentran en niveles de productividad muy disímiles, resulta complejo alcanzar el máximo rendimiento sostenido simultáneamente para cada una de las especies.

En relación al descarte de peces pelágicos, se han identificado problemáticas relacionadas con la alta incertidumbre en la estimación del descarte producto de la corta serie anual, diferencia de cobertura y tamaños de muestra espacial y temporal, forma de estimación del descarte (eg. visual), variación en la proporción de especies, entre otros. Esta incertidumbre complejiza la toma de decisión, por lo cual, el CCT-PP acordó mantener un valor fijo por un período interino (Acta sesión extraordinaria N° 1⁷) para utilizar en el descuento de la CBA. Este valor fue discutido en la primera sesión del CCT-PP realizada el 25 de febrero 2021, consensuando en un 4 % de descarte proyectado para sardina común y un 2 % para anchoveta de la zona centro-sur.

De acuerdo al ciclo de manejo histórico de esta pesquería, este estudio entrega la información base para el tercer hito correspondiente al cálculo de la segunda revisión de la CBA que permite al Comité Científico Técnico de Pesquerías Pelágicas (CCT-PP), revisar el estatus 2020/21 y el rango de CBA para el año 2021. El rango de CBA se obtiene bajo un criterio de explotación de mortalidad por pesca constante igual al F_{RMS} , sujeto a percentiles de probabilidad entre el 10 % y 50 % de sobrepasar dicho criterio. Se asume que el 70 % de la captura se obtendrá durante el primer semestre 2021 y que ocurrirá un 4 % de descarte.

De este modo, la captura para el año 2021, descontando el 4 % de descarte y estimada bajo un escenario de reclutamientos bajos (período 1991-2007) se encuentra entre 336 mil t y 363 mil t. Bajo un escenario de reclutamientos altos (período 2008-2012), alcanza un rango entre 368 mil t y 403 mil toneladas y bajo un

⁷ https://www.subpesca.cl/portal/616/articles-109471_documento.pdf

escenario de reclutamientos recientes (período 2013-2021), entre 338 mil t y 370 mil t.

Respecto al efecto de la cuota remanente 2020 en el estatus 2020/21 de sardina común, la captura registrada por Sernapesca para el año biológico 2020/21 fue de 376 mil toneladas. Considerando la captura descartada supuesta para el mismo año (15 mil t, equivalente al 4 % de descarte) como una causa de mortalidad por pesca adicional, la remoción total ocurrida durante el 2020/21 fue de 391 mil t, lo cual equivale a una mortalidad por pesca de $0,326 \text{ año}^{-1}$. Dado que, la mortalidad por pesca objetivo (F_{RMS}) es igual a $0,3 \text{ año}^{-1}$, la $F_{2020/21}$ fue un 9 % mayor al F_{RMS} (**Figura 51**). La captura 2020/21 al RMS debería estar en torno a las 359 mil t (C_{RMS}), si descontamos la captura descartada (14 mil t equivalente al 4 %descarte), la captura 2020/21 debería ser 344,8 mil t. Al respecto, si consideramos que la captura registrada por Sernapesca durante el segundo semestre 2020 fue de 69,8 mil t, la captura del primer semestre que hubiera permitido estar en F_{RMS} , sería 275 mil t. Es decir, la C_{RMS} se sobrepasó en 31 mil t, valor muy cercano a la cuota remanente capturada de 30.600 t (<http://www.sernapesca.cl/informacion-utilidad/consumo-de-cuotas>).

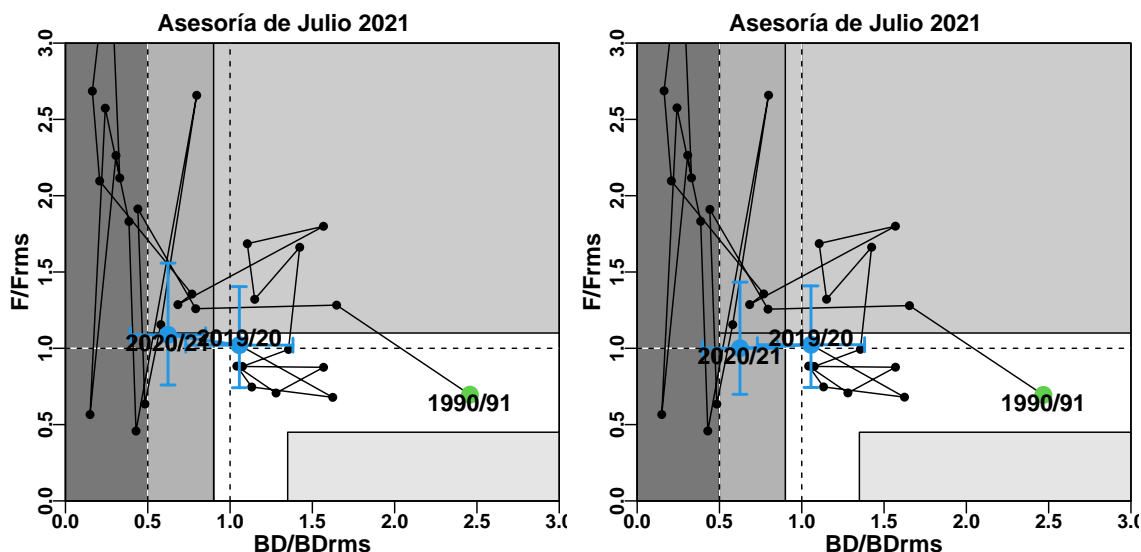


Figura 51. Diagrama de fases de explotación de la biomasa desovante respecto de la mortalidad por pesca de la asesoría de julio 2021 (panel izquierdo) y asesoría de julio 2021 considerando un $F_{2020/21}$ igual al F_{RMS} (panel derecho). Los ejes están estandarizados a los valores que generan el RMS proxy. Cruz azul corresponde a los intervalos de confianza de la razón BD/BD_{RMS} y F/F_{RMS} . El año con cruz continua corresponde a "Estatus completo" y la cruz con línea discontinua a "Estatus preliminar".



6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguayo, M. & S.B. Soto., 1978. Edad y crecimiento de la sardina común, *Clupea (Strangomera bentincki)*, en Coquimbo y Talcahuano. Invest. Pesq. Inst. Fom. Pesq. (Chile) N° 28: 1-55.

Alheit J & M Niquen. 2004. Regime shifts in the Humboldt current ecosystem. Progress In Oceanography 60: 201–222.

Alheit, J. & A. Bakun. 2009. History of international co-operation in research. In: Climate change and small pelagic fish. Ed. by D. M. Checkley, J. Alheit, Y. Oozeki and C. Roy. Cambridge: Cambridge Univ. Press: 1-5.

Arancibia H, L Cubillos, J Remmaggi & R Alarcón. 1994. Determinación de la talla de primera madurez sexual y fecundidad parcial en la sardina común, *Strangomera bentincki* (Norman, 1936), del área de Talcahuano, Chile. Biología Pesquera, 23: 11-17.

Aranís A, L Caballero, G Böhm, F Cerna, C Vera, V Bocic, A Gómez & G Rosson. 2006. Informe Final Investigación Situación Pesquería Pelágica Zona Centro-Sur 2005. Seguimiento del Estado de Situación de las Principales Pesquerías Nacionales. Subsecretaría de Pesca, Instituto Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 163 p+ Anexos.

Aranís A, L Caballero, A Gómez, M González, F Cerna, V Bocic, A López, C Machuca & C Vera. 2011. Informe de Avance. Asesoría integral para la toma de decisiones en pesca y acuicultura, 2011. Actividad 1: Recursos Pelágicos: Pesquería Pelágica Zona Centro-Sur, 2011. Subsecretaría de Pesca, Instituto Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 69 p + Anexos.

Aranís A, A Gómez, K Walker, G Muñoz, L Caballero, G Eisele, F Cerna, A López, C Machuca, L Muñoz, C Valero, M Ramírez, C Toledo, V Valdebenito, S Mora & M Alborno. 2016. Informe Final, Convenio de Desempeño, 2015. Programa de Seguimiento de las Pesquerías Pelágicas de la Zona Centro-Sur de Chile, V-XI Regiones, año 2015. Subsecretaría de Economía y EMT, Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 338 p + Anexos.

Aranis A, A Gómez, K Walker, G Muñoz, L, Caballero, G Eisele, F Cerna, C Valero, A Lopez, C Machuca, L Muñoz, M Ramirez, M Troncoso, M Alborno, J Bonicelli, U Cifuentes. 2018. Informe pre-final. Programa de Seguimiento de las Principales Pesquerías Pelágicas de la zona centro-sur de Chile, V-XI Regiones, año 2017. Subsecretaría de Economía y EMT, Inst. Fom. Pesq. Valparaíso, Chile. 315 p + Anexos.

Aranis A, A Gómez, K Walker, M Ramírez, L Caballero, G Eisele, F Cerna, C Valero, A Lopez, C Machuca, L Muñoz, M Troncoso, M Alborno, M Pizarro, H Reyes, U Cifuentes & A Bustamante. 2020. Programa de seguimiento de las principales pesquerías pelágicas de la zona centro-sur de Chile, regiones de Valparaíso y Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, año 2019. Subsecretaría de Economía y EMT, Instituto Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 306 p + Anexos.

Arcos D, L Cubillos & S Núñez. 2004. Efectos de El Niño 1997-98 sobre las principales pesquerías pelágicas de la zona centro-sur de Chile. En: El Niño-La Niña 1997-2000 Sus efectos en Chile. CONA (eds), Chile. (2004) 153-166.



Arrizaga A. 1981. Nuevos antecedentes biológicos para la sardina común, Clupea (*Strangomera bentincki*) Norman 1936. Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción, 52: 5-66.

Arteaga M, B Ernst, S Vásquez & C Gatica. 2014. Bases conceptuales para la aplicación de una evaluación de estrategias de manejo (EEM) en sardina común (*Strangomera bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) en la zona centro - sur de Chile. Latin American Journal Aquatic Research, 42 (3): 445-467.

Arrizaga A & C Veloso. 1982. Estimación de mortalidades (M, F y Z) y del coeficiente de capturabilidad (q) en la sardina común Clupea (*Strangomera bentincki*) Norman, 1936, de Talcahuano - Chile. Monografías Biológicas (2): 39-49.

Barría P. 2001. Evaluación del stock de sardina común y anchoveta, 2001. IFOP. Informe final 62 pp.

Beverton RJH & SJ Holt. 1957. On the Dynamics of Exploited Fish Populations. Gt. Britain, Fishery Invest., Ser. II, Vol. XIX. 533 pp.

Cadigan NG & PJ Farrell. 2005. Local influence diagnostics for the retrospective problem in sequential population analysis. ICES Journal of Marine Science, 62: 256-265.

Cadrin SX & DS Vaughn. 1997. Retrospective analysis of virtual population estimates for Atlantic menhaden stock assessment. U.S. National Marine Fisheries Service Fishery Bulletin, 95: 445-455.

Canales M, C Canales, J Castillo, A Aranís & L Caballero. 2007. Investigación Evaluación de stock y CTP anchoveta centro sur 2007. Pre-informe Final Proyecto BIP N°30043740-0. 24 pp.+ ANEXOS.

Canales CR & MJ Zúñiga. 2016. INFORME 1 DE ESTATUS. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales al año 2017 en sardina común V-X Regiones. Sardina común V-X Regiones, noviembre 2016. Subsecretaría de Economía y EM. Instituto Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 115 p + Anexos.

Castillo J, A Saavedra, F Leiva, H Reyes, M Pizarro, V Catasti, C Lang, E Molina, F Cerna, A López, S Nuñez, L Valenzuela & S Vásquez. 2012. Evaluación hidroacústica reclutamiento anchoveta sardina común entre la V y X Regiones, año 2011. Informe Final FIP 2010-04. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 275 pp + Figuras y Tablas.

Castillo J, A Saavedra, V Catasti, F Leiva, C Lang, R Vargas, H Reyes, M Pizarro, E Molina, F Cerna, A López, S Nuñez, L Valenzuela & J Silva. 2013. Evaluación hidroacústica reclutamiento anchoveta sardina común entre la V y X Regiones, año 2013. Informe Final FIP 2012-12. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 307 pp + Figuras y Tablas.

Castro L, G Claramunt, MC Krautz, A Llanos-Rivera & P Moreno. 2009. Egg trait variation in anchoveta *Engraulis ringens*: a maternal response to changing environmental conditions in contrasting spawning habitats. Marine Ecology Progress Series, 381: 237-248.

Castro L, G Claramunt, H González, MC Krautz, A Llanos-Rivera, J Méndez, W Schneider & S Soto. 2010.



Fatty acids in anchoveta eggs, *Engraulis ringens*, during two contrasting winter spawning seasons. Marine Ecology Progress Series, 420: 193-205.

Chavez FP, J Ryan, SE Lluch-Cota & M Niquen. 2003. From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. Science 299: 217–221.

Claramunt G, L Cubillos, L Castro, C Hernández & M Arteaga. 2013. Variation in the spawning periods of *Engraulis ringens* and *Strangomera bentincki* off the coasts of Chile: A quantitative analysis. Fisheries Research, 160: 96-102.

Cleveland WS, E Grosse & MJ Shyu. 1992. A Package of C and Fortran Routines for Fitting Local Regression Models, unpublished paper.

Cubillos LA & H Arancibia. 1993a. Análisis de la pesquería de sardina común y anchoveta del área de Talcahuano, situación actual y perspectivas. Documentos Técnicos del Instituto de Investigación Pesquera (IIP), Talcahuano, Chile 2(2): 1-19.

Cubillos LA & H Arancibia. 1993b. Análisis de la pesquería de sardina común (*Strangomera bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) del área de Talcahuano, Chile. Investigaciones Marinas, 21: 3-21.

Cubillos LA, R Alarcón, D Bucarey, M Canales, P Sobarzo & L Vilugrón. 1998. Evaluación indirecta del stock de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur. Informes Técnicos FIP, FIP-IT/ 96-10, 223 pp.

Cubillos LA, M Canales, D Bucarey, A Rojas & R Alarcón. 1999. Época reproductiva y talla media de primera madurez sexual de *Strangomera bentincki* y *Engraulis ringens* en el periodo 1993-1997, zona centro-sur de Chile (1993-1997). Investigaciones Marinas. 28: 73-85.

Cubillos LA, D Arcos, D Bucarey & M Canales. 2001. Seasonal growth of small pelagic fish off Talcahuano, Chile (**37°S, 73°W**): a consequence of their reproductive strategy to seasonal upwelling?. Aquatic Living Resources, 14: 115-124.

Cubillos LA & D Arcos. 2002. Recruitment of common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) off central-south Chile in the 1990s and the impact of the 1997-1998 El Niño. Aquatic Living Resources. 15: 87-94.

Cubillos LA, L Castro, G Claramunt. 2011. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur, año 2010. Informe Final FIP 2010-02. Universidad de Concepción. (Concepción, Chile). 90 pp.

Fournier DA, HJ Skaug, J Ancheta, J Ianelli, A Magnusson, MN Maunder, A Nielsen & J Sibert. 2012. AD Model Builder: using automatic differentiation for statistical inference of highly parameterized complex nonlinear models. Optimization Methods & Software 27 (2), 233-249.

Francis RIC. 2011. Data weighting in statistical fisheries stock assessment models. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 68: 1124-1138.



Francis RIC. 2014. Replacing the multinomial in stock assessment models: A first step. Fisheries Research. 151: 70-84.

Galleguillos R, J Chong, C Oyarzún, M Oliva & R Roa. 1994. Unidades de stock en los recursos sardina común y anchoveta de la zona Centro-Sur. Informes Técnicos FIP, FIP-IT/94-20, 64 pp

Gomez F, A Montecinos, S Hormazabal, L Cubillos, M Correa-Ramirez & FP Chavez. 2012. Impact of spring upwelling variability off southern-central Chile on common sardine (*Strangomera bentincki*) recruitment. Fisheries Oceanography. 21: 6, 405-414.

Haltuch MA, AE Punt & MW Dorn. 2009. Evaluating the estimation of fishery management reference points in a variable environment. Fisheries Research. 100: 42–56.

Hutchings L, M Barange, SF Bloomer, Aj Boyd, RJM Crawford, JA Huggett, M Kertsan, JL Korrubel, JAA De Oliveira, SJ Painting, AJ Richardson, IJ Shannon, FH Shulein, CD van der Lingen & HM Verheye. 1998. Multiple factors affecting South African anchovy recruitment in the spawning, transport and nursery areas. South African Journal Marine Science, 19: 211-225.

Ichinokawaa M, Okamura H & Y Takeuchi. 2014. Data conflict caused by model mis-specification of selectivity in an integrated stock assessment model and its potential effects on stock status estimation. Fisheries Research, 158: 147-157.

Klaer NL, RN O'Boyle, JJ Deroba, SE Wayte, LR Little, LA Alade, & PJ Rago. 2015. How much evidence is required for acceptance of productivity regime shifts in fish stock assessments: are we letting managers off the hook? Fisheries Research, 168: 49 –55.

Lee HH, KR Piner, RD Methot & MN Maunder. 2014. Use of likelihood profiling over a global scaling parameter to structure the population dynamics model: An example using blue marlin in the Pacific Ocean. Fisheries Research, 158: 138-146.

Maunder MN & PJ Starr. 1998. Validating the Hauraki Gulf snapper pre-recruit trawl surveys and temperature recruitment relationship using catch at age analysis with auxiliary information. New Zealand Fisheries Assessment Research Document 98/15.

Maunder MN & PJ Starr. 2003. Fitting fisheries models to standardized CPUE abundance indices. Fisheries Research, 63: 43-50.

McAllister MK & JN Ianelli. 1997. Bayesian stock assessment using catch-age data and the sampling-importance resampling algorithm. Canad. J. Fish. Aquat. Sci. 54, 284-300.

Mohn R. 1999. The retrospective problem in sequential population analysis: An investigation using cod fishery and simulated data. ICES Journal of Marine Science, 56: 473-488.

Montecinos A, S Purca & O Pizarro. 2003. Interannual to interdecadal sea surface temperature variability along the western coast of South America. Geophysical Research Letters 30,1570.19.1929/2003GL017345.



Montecinos A & F Gomez. 2010. ENSO modulation of upwelling season off southern-central Chile. *Geophysical Research Letters*, 37:L02708 1-4.

Mujica A & O Rojas. 1984. Fecundidad y estructura poblacional de sardina común (*Clupea bentincki*, Norman) (Clupeiformes-Clupeidae). *Investigación Pesquera*, 31: 59-69.

Parada C, F Colas, S Soto-Mendoza & L Castro. 2012. Effects of seasonal variability in across- and alongshore transport of anchoveta (*Engraulis ringens*) larvae on model-based pre-recruitment indices off central Chile. *Progress Oceanography*, 92(1): 192-205.

Parrish RH, A Bakun, DM Husby & CS Nelson. 1983. Comparative climatology of selected environmental process in relation to Eastern boundary current pelagic fish reproduction. In: Sharp, G.D. and J. Csirke (Eds.). *Proceeding of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources*. FAO Fish Rep., 291,3. pp 731-777.

Payá I, C Canales, D Bucarey, M Canales, F Contreras, F Espíndola, E Leal, C Montenegro, J Quiroz, R Tascheri & MJ Zúñiga. 2014. Revisión de los puntos biológicos de referencia (Rendimiento Máximo Sostenible) en las pesquerías nacionales. Primer Taller internacional. Informe de Avance 1. Subsecretaría de Economía - IFOP. 32 pp.+ 4 Anexos.

Pikitch E, PD Boersma, IL Boyd, DO Conover, P Cury, T Essington, SS Heppell, ED Houde, M Mangel, D Pauly, É Plagányi, K Sainsbury, & RS Steneck. 2012. *Little Fish, Big Impact: Managing a Crucial Link in Ocean Food Webs*. Lenfest Ocean Program. Washington, DC. 108 pp.

Polacheck T. 2014. Review report on the 2012 stock assessment of the common sardine (sardina común *Strangomera bentincki*). 74 pp

Polovina JJ. 2005. Climate variation, regime shifts, and implications for sustainable fisheries. *Bull. Mar. Sci.* 76 (2), 233–244.

Saavedra A, R Vargas, E Molina, C Lang, U Cifuentes, M Pizarro, C Grendi & A Bustamante. 2017. Evaluación hidroacústica de los stocks de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2017. Subsecretaría de Economía y EMT. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 33 p + Figuras y Tablas.

Saavedra A, R Vargas, E Molina. Informe de Avance N°2. Evaluación hidroacústica de los stocks de anchoveta y sardina común entre las Regiones de Valparaíso y Los Lagos, Año 2020. Subsecretaría de Economía y EMT. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 31 p + Figuras y Tablas.

Saavedra A, R Vargas, E Molina, C Grendi, A Bustamante, T Berger & K Gómez. 2021a. Informe de Avance N°1. Evaluación hidroacústica de los stocks de anchoveta y sardina común entre las Regiones de Valparaíso y Los Lagos, Año 2021. Subsecretaría de Economía y EMT. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 32 p + Anexos.

Saavedra A, R Vargas, E Molina, C Grendi, A Bustamante, U Cifuentes. 2021b. Informe de Avance N°2. Eva-



luación hidroacústica de los stocks de anchoveta y sardina común entre las Regiones de Valparaíso y Los Lagos, Año 2021. Subsecretaría de Economía y EMT. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 36 p + Anexos.

Serra R. 1978. La pesquería de la sardina común (*Clupea Strangomera bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) de Talcahuano: Análisis de su desarrollo y situación actual. IFOP, Santiago (Chile), 29, 21 p.

Soto-Mendoza S, C Parada, L Castro, F Colas & W Schneider. 2012. Modeling transport and survival of anchoveta eggs and yolk-sac larvae in the coastal zone off central-southern Chile: Assessing spatial and temporal spawning parameters. *Progress Oceanography*, 92(1): 178-191.

Swartzman G, A Bertrand, M Gutiérrez, S Bertrand & L Vasquez. 2009. The relationship of anchovy and sardine to water masses in the Peruvian Humboldt Current System from 1983 to 2005. *Progress in Oceanography*. 79: 228-237.

Van der Lingen C, A Bertrand, A Bode, R Brodeur & others .2009. Trophic dynamics. In: Checkley DM, Alheit J, Oozeki Y, Roy C (eds) *Climate change and small pelagic fish*. Cambridge University Press, Cambridge.

Vega R, L Ossa, B Suárez, A González, S Henríquez, R Ojeda, A Ramírez, A Simeone, M Sepúlveda, MJ Pérez & R Escobar. 2017. INFORME FINAL. Programa de Observadores Científicos, 2016. Subsecretaría de Economía y EM. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 232 p + Anexos.

Vega R, L Ossa, B Suárez, A González, S Henríquez, R Ojeda, MF Jiménez, A Ramírez, J Le-Bert, A Simeone, C Anguita, M Sepúlveda, MJ Pérez, M Santos & H Araya. 2018. INFORME FINAL. Programa de observadores científicos 2017-2018. Programa de investigación del descarte y captura de pesca incidental en pesquerías pelágicas. Programa de monitoreo y evaluación de los planes de reducción del descarte y de la pesca incidental 2017-2018. Subsecretaría de Economía y EM. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 241 p + Anexos.

Vega R, L Ossa, B Suárez, MF Jiménez, S Henríquez, A González, R Ojeda, A Simeone, C Anguita, M Sepúlveda, MJ Pérez, M Santos & H Araya. 2019. INFORME FINAL. Programa de observadores científicos 2018-2019. Programa de investigación del descarte y captura de pesca incidental en pesquerías pelágicas. Programa de monitoreo y evaluación de los planes de reducción del descarte y de la pesca incidental 2018-2019. Subsecretaría de Economía y EM. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 305 p + Anexos.

Vega R, L Ossa, B Suárez, MF Jiménez, S Henríquez, A González, R Ojeda, A Simeone, C Anguita, M Sepúlveda, MJ Pérez, M Santos, J Cavieres, P Paredes, I Cari, P Zárate & D Devia. 2020. INFORME FINAL. Programa de observadores científicos: Programa de investigación y monitoreo del descarte y de la captura de pesca incidental en pesquerías pelágicas, 2019-2020. Subsecretaría de Economía y EM. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 341 p + Anexos.

Wang SP, MN Maunder, KR Piner, AM Aires-da-Silva & HH Lee. 2014. Evaluation of virgin recruitment profiling as a diagnostic for selectivity curve structure in integrated stock assessment models. *Fisheries Research*, 158: 158-164.



Wayte S. 2013. Management implications of including a climate-induced recruitment shift in the stock assessment for jackass morwong (*Nemadactylus macropterus*) in south-eastern Australia, Fisheries Research. 142, 47-55.

Wiff R, M Lima, S Gelcich, M Canales, D Queirolo, M Ahumada, F López, S Gacitúa, A Flores & L Serramalera. 2017. Metodología para la estimación de las capturas totales anuales históricas. Caso de estudio: Pesquería de sardina común y anchoveta V-X Región. Informe Final. CAPES-UC- Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SSPA). Proyecto CUI 2015-72-DAP-27. 225 pp.

Yáñez E, C Silva, A Órdenes, F Gómez, A Valdenegro, S Hormazábal, A Montecinos, F Espíndola & O Pizarro. 2005. Análisis integrado histórico ambiente-recursos, I y II Regiones. Informe Final Proyecto FIP N° 2003-33. Valparaíso. 408 pp.

Zúñiga MJ & CR Canales. 2014. INFORME DE ESTATUS Y CUOTA. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales al año 2015 en sardina común V-X Regiones. Sardina común V-X Regiones, septiembre 2014. Subsecretaría de Economía y EM. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 87 p + Anexos.

Zúñiga MJ. 2017a. INFORME 2 DE ESTATUS. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales al año 2017 en sardina común V-X Regiones. sardina común V-X Regiones, marzo 2017. Subsecretaría de Economía y EM. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 135 p + Anexos.

Zúñiga MJ. 2017b. INFORME 3 DE ESTATUS. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales al año 2017 en sardina común V-X Regiones. Sardina común V-X Regiones, julio 2017. Subsecretaría de Economía y EMT. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 97 p + Anexos.

Zúñiga MJ & JC Quiroz. 2017c. INFORME 1 DE ESTATUS. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2018 en sardina común V-X regiones. Sardina común V-X regiones, septiembre 2017. Subsecretaría de Economía y EMT. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 161 p + Anexos.

Zúñiga MJ, D Bucarey, E Leal, F Espíndola, JC Quiroz. 2018a. INFORME 2 DE ESTATUS. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2018 en sardina común V-X regiones, marzo 2018. Subsecretaría de Economía y EMT. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 123 p + Anexos.

Zúñiga MJ, D Bucarey, E Leal, F Espíndola, JC Quiroz. 2018b. INFORME CONSOLIDADO. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2018 en sardina común V-X regiones, julio 2018. Subsecretaría de Economía y EMT. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 148 p + Anexos.

Zúñiga MJ. 2019. INFORME CONSOLIDADO. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2019 en sardina común V-X regiones, julio



2019. Subsecretaría de Economía y EMT. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 135 p + Anexos.

Zúñiga MJ, E Leal & JC Quiroz. 2020. Primer Informe. Estatus y posibilidad de explotación biológicamente sustentables de anchoveta, Región de Valparaíso a Los Lagos, año 2021. Subsecretaria de Economía y EMT. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 87 p + Anexos.

Zúñiga MJ, D Bucarey & JC Quiroz. 2021. Segundo Informe. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de anchoveta, Región de Valparaíso a Los Lagos, año 2021. Subsecretaria de Economía y EMT. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 95 p + Anexos.