



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 | 6 |
| 2.3. Reclutamiento | 6 |
| 2.4. Reproducción | 6 |
| 2.5. Pesquería | 7 |
| 2.6. Evaluación de stock | 9 |
| 2.7. Estatus | 11 |
| 2.8. Captura Biológicamente Aceptable (CBA) | 12 |
| 3. METODOLOGÍA DE TRABAJO | 14 |
| 3.1. Objetivo específico 1: | 14 |
| 3.1.1. Modelo Conceptual | 14 |
| 3.1.2. Datos de entrada al modelo de evaluación de stock | 15 |
| 3.1.3. Evaluación de stock | 21 |
| 3.2. Objetivo específico 2: | 32 |
| 3.2.1. Estatus | 32 |
| 3.3. Objetivo específico 3: | 35 |
| 3.3.1. Captura biológicamente aceptable (CBA) | 35 |
| 3.3.2. Proyección del stock | 42 |
| 3.4. Objetivo específico 4: | 43 |
| 4. RESULTADOS | 44 |
| 4.1. Objetivo específico 1: | 44 |
| 4.1.1. Datos de entrada al modelo de evaluación de stock | 44 |
| 4.1.2. Diagnóstico del modelo de evaluación de stock | 51 |
| 4.2. Objetivo específico 2: | 59 |
| 4.2.1. Tendencias poblacionales | 59 |
| 4.2.2. Puntos Biológicos de Referencia (PBRs) | 62 |
| 4.2.3. Estado de explotación | 64 |
| 4.3. Objetivo específico 3: | 69 |
| 4.3.1. Captura biológicamente aceptable (CBA) | 69 |
| CBA 2021 inicial (Asesoría de septiembre 2020) | 69 |
| Primera revisión CBA 2021 (Asesoría de marzo 2021) | 71 |
| Segunda revisión CBA 2021 (Asesoría de julio 2021) | 73 |
| 4.3.2. Proyección del stock (Asesoría de septiembre 2020) | 75 |
| 4.3.3. Proyección del stock (Asesoría de marzo 2021) | 77 |
| 4.3.4. Proyección del stock (Asesoría de julio 2021) | 79 |
| 4.4. Objetivo específico 4: | 81 |



| | |
|---|-----------|
| 4.4.1. Esquema de trabajo y plan de actividades | 81 |
| 4.4.2. Mejoras realizadas al modelo de evaluación de stock | 82 |
| 4.4.3. Avances en reducción de brechas | 83 |
| 4.4.4. Recomendaciones realizadas en Revisión por Pares Externa e independiente (RPEI) . | 89 |
| 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. | 92 |
| 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 93 |
| 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 97 |
| 7. ANEXOS | |
| ANEXO I. Datos y modelo de anchoveta centro-sur correspondiente a la Asesoría de septiembre 2020 (MAE0920b) y marzo 2021 (MAE0321b). | |



RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe contiene la segunda actualización del estatus del año biológico 2020/21 y la Captura Biológicamente Aceptable (CBA) del año calendario 2021 para el stock de anchoveta en la Unidad de Pesquería Centro-Sur (UPCS) de Chile (Región de Valparaíso a Región de Los Lagos) basado en un modelo en escala biológica. El análisis es actualizado con la siguiente información: (1) Estadísticas de desembarques de SERNAPESCA corregidas por IFOP los años 1998 al 2001, correspondiente al período 1996/97-2019/21. (2) El porcentaje de descarte obtenido mediante el Programa de Descarte de IFOP corresponde al período 2015-2019. (3) Información de captura a la edad y pesos individual es a la edad, proveniente del “Programa de Seguimiento de las Principales Pesquerías Nacionales (Pesquerías Pelágicas)” desde 1996/97 al 2019/21. (4) Series de biomasa acústicas y composiciones de edad de los cruceros de verano (años 2000-2021) y otoño (años 2003-2021) provenientes del programa de cruceros IFOP sobre evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta 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 a los datos de entrada al modelo de evaluación de stock, se observa que entre los años 2009 y 2017 se registraron los niveles más bajos de biomasa acústica de verano con un valor promedio de 101 mil t. Sin embargo, el año 2018 se observó un primer incremento importante hasta 347 mil t y los últimos tres años 2019 al 2021 se consolida éste incremento con valores cercanos a las 588 mil toneladas en promedio. Algo similar se observa en las tendencias de los cruceros de otoño, observándose una recuperación en la biomasa del stock desde el 2016, registrándose el año 2021 el nivel más alto de los últimos 11 años, en 1,3 millones de t. En relación a las capturas de anchoveta en la UPCS, su variación es consistente con los cambios en los niveles de biomasa estimados por los cruceros acústicos de verano y otoño. Entre los años 2011/12 y 2017/18 se registran los desembarques más bajos de la serie, en torno a 62 mil toneladas en promedio. Para el 2018/19 se incrementan a 135 mil toneladas y para el año 2019/20 a 160 mil toneladas, un 16 % mayor al año previo y para el año 2020/21 se incrementa a 205 mil toneladas, un 30 % mayor al año previo y un 159 % mayor al promedio de los últimos 9 años (período 2011/12 - 2019/20).

El modelo base utilizado en este estudio corresponde a un modelo anual en escala biológica el cual es eficiente en reproducir la tendencia general de la biomasa estimada en los cruceros hidroacústicos, especialmente a partir del año 2009/10. El análisis consigue ajustar apropiadamente la información de la proporción de edades en las capturas y cruceros de evaluación directa. Respecto a las variables poblacionales, el modelo en escala biológica es eficiente en recoger las fluctuaciones en los indicadores del stock, los cuales son consistentes con la variabilidad en los reclutamientos y en los índices (cruceros de verano y otoño) que calibran el modelo de evaluación.

El análisis histórico de la condición de anchoveta centro-sur muestra que entre los años 1996/97 al 2000/01 el stock se encontraba sobre-explotado con biomasa por debajo del objetivo de manejo ($BD < BD_{RMS}$). A partir del 2001/02 se incrementan los niveles de biomasa desovante, permitiendo que el stock transite y se mantenga en una condición de plena-explotación hasta el 2007/08. No obstante, los niveles de reclutamiento para el año 2008 se reducen drásticamente generando niveles de biomasa desovante por debajo del promedio histórico. Debido a la falla en los reclutamientos, desde el año 2009/10 el stock cambia drásticamente a una condición de colapso, manteniéndose en ese estatus durante 8 años (2009/10 al 2016/17). A partir de 2017/18 se manifiesta una recuperación del stock, transitando por una condición de sobreexplotación los años 2017/18 y 2018/19 para alcanzar y mantenerse en plena-explotación durante los años 2019/20 y 2020/21. En términos de los niveles de mortalidad por pesca ($Ft\text{ año}^{-1}$), en general, se ha mantenido históricamente por sobre el nivel objetivo de referencia F_{RMS} , no obstante, a partir del año



2016/17, los niveles de F_t estuvieron bajo el objetivo de manejo.

Por lo tanto, el incremento de los reclutamientos de los dos últimos años, más la disminución de la mortalidad por pesca por debajo del objetivo de manejo ($F < F_{RMS}$) y 2/3 por debajo de M ($M=0,7$ año⁻¹) y el incremento de la biomasa total y desovante 2019/20 y 2020/21 generan una condición de plenaexplotación con una baja probabilidad de sobreexplotación (3%), con un 13 % de probabilidad de sobrepesca y con una alta probabilidad (86 %) de mantenerse en una condición de plenaexplotación para el año 2021/22 (15 % probabilidad de sobreexplotación y 0 % probabilidad de colapso). Aunque el estatus 2021/22 es promisorio, posiblemente generando expectativas sobre los niveles de excedentes pesqueros, debe considerarse referencial debido a su carácter de transitorio en espera de datos que confirmen el crecimiento de la población adulta.

El rango de la Captura Biológicamente Aceptable (CBA) para el año calendario 2021 se obtiene bajo un criterio de explotación 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 2 % de descarte. De este modo, la captura para el año 2021 estimada bajo una condición de reclutamiento altos (período 1997-2009) y descontando el 2 % de descarte alcanza un rango entre 186,9 mil toneladas y 203,6 mil toneladas. Considerando reclutamientos bajos (período 2010-2021), con el descuento del 2 % de descarte el rango se encuentra entre 184,3 - 201,1 mil toneladas y bajo un escenario de reclutamiento promedio histórico el rango de captura se encuentre entre 185,8 - 202,5 mil toneladas.



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), la pesquería de anchoveta 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 anchoveta, con arreglo al nivel de información, conocimiento e incertidumbre correspondiente, conforme a los estándares actuales en ciencia pesquera.
2. Establecer el estatus actualizado de anchoveta, 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

2.1. Distribución del recurso

La anchoveta (*Engraulis ringens*) es reconocida junto con sardina común (*Strangomera bentincki*) 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 1983, Cubillos & Arancibia 1993 a y b, Arancibia *et al.* 1994, Cubillos *et al.* 2001). Ambos recursos, sostienen una importante actividad pesquera industrial y cerquera artesanal en el litoral que abarca las regiones de Valparaíso (33°S) y Los Lagos (42°S), siendo los principales puertos de desembarque; San Antonio (Región de Valparaíso), Coronel, San Vicente y Talcahuano (Región del Bio-Bio), Corral (Región de Los Ríos) y Calbuco y Puerto Montt (Región de Los Lagos). Los mayores desembarques se registran en un 90 y 95 % entre las Regiones de Valparaíso y Bio-Bio (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 (**Figura 1**).

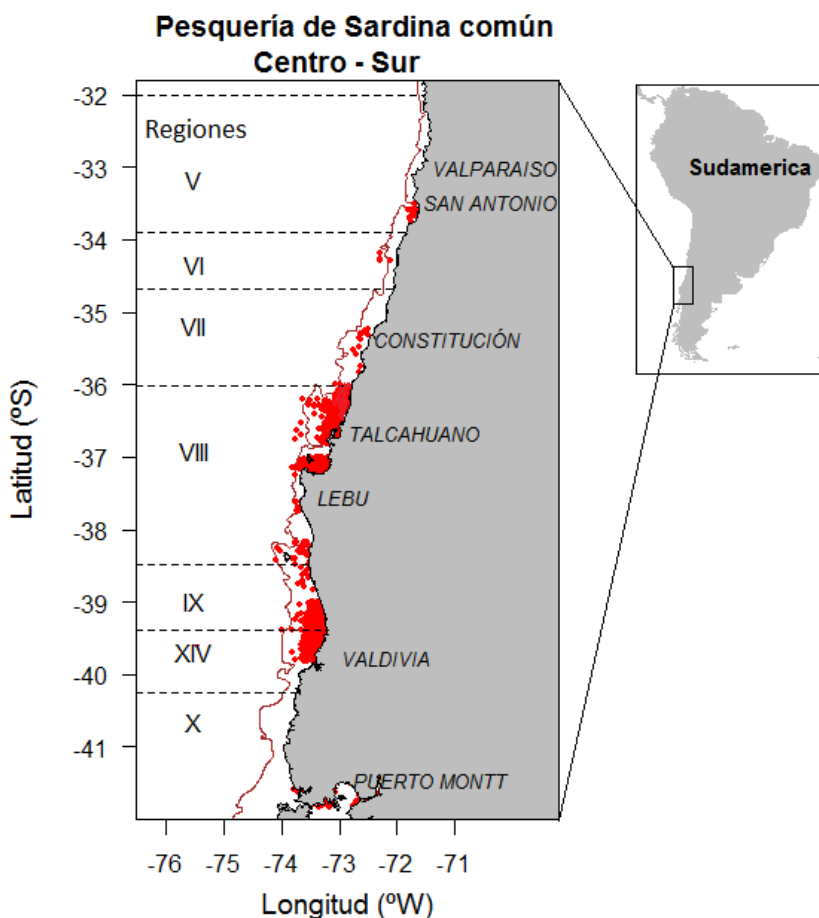


Figura 1. Distribución espacial de datos provenientes del muestreo biológico realizado por IFOP para el monitoreo de la pesquería de anchoveta de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos. La línea color café corresponde a la isóbata de los 200 metros.



2.2. Unidades de stock

La unidad de stock se define como “un grupo de peces que se mantiene temporal o especialmente 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 Bio-Bio, entre 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 la cual se desarrolla la pesquería.

2.3. Reclutamiento

El reclutamiento se presenta en forma masiva entre noviembre y marzo, siendo máximo a la mitad del verano (ejemplares en torno a una talla promedio de entre 5 y 9 cm), registrándose pulsos menores durante el invierno, provocados por la amplia extensión temporal del desove de invierno de anchoveta (Castillo *et al.* 2013). Entre abril y junio, los juveniles originados durante el desove del año anterior comienzan a ser pre-adultos y los adultos comienzan una migración activa para congregarse en agregaciones pre-reproductivas (Cubillos *et al.* 2001).

Las anchovetas pre-reclutas y reclutas menores a seis meses de edad crecen y se desarrollan en sistema de bahías de la zona centro-sur al norte de la Isla Mocha, constituidas como zonas de reclutamiento y crecimiento (VI y IX Regiones). 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 y 2008; Castillo *et al.* 2013).

Para evaluar la magnitud del reclutamiento anual se realiza la evaluación hidroacústica desde el año 2000, en enero de cada año donde se maximiza la presencia de juveniles de biomasa de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur. 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 o para capturar un eventual segundo pulso en el otoño (mayo), especialmente en anchoveta. 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; una reducción en la sardina junto a cambios en su distribución geográfica (Castillo *et al.* 2013).

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 centro-sur se ubica fundamentalmente en la zona de Lebu-Corral la cual correspondería a una zona de pre-reclutamiento/desove con un alto nivel de retención 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 (Parada *et al.* 2012, Soto-Mendoza *et al.* 2012). Anchoveta es un recurso iteróparo (parcial), con desarrollo asincrónico y

fecundidad indeterminada. El proceso reproductivo se iniciaría entre julio y septiembre, cuando los adultos ingresan a la región más costera para reproducirse. La época de desove ocurriría durante la transición invierno-primavera, cuando los vientos del norte favorecen la concentración y retención de huevos en la costa y los vientos del sur promoverían el enriquecimiento de aguas costeras con eventos de surgencia de moderada intensidad. (Cubillos *et al.* 1999 y 2001; Sepúlveda *et al.* 2003; Castillo-Jordán *et al.* 2007; Cubillos *et al.* 2007). La principal zona de desove y alimentación de los adultos de anchoveta se observarían preferentemente en las Regiones del Bio-Bio y Los Lagos (**Figura 2**), focalizada principalmente entre los 37°33'S y los 39°10'S (Cubillos *et al.* 1999, 2001), siendo la Región de la Araucanía una virtual área de refugio debido a la reducción de la actividad de pesca de la flota industrial, por prohibición de operar en sectores costeros (< 5 mn) y por inaccesibilidad de la flota artesanal de las Regiones de Bio-Bio y La Araucanía (Castillo *et al.* 2013).

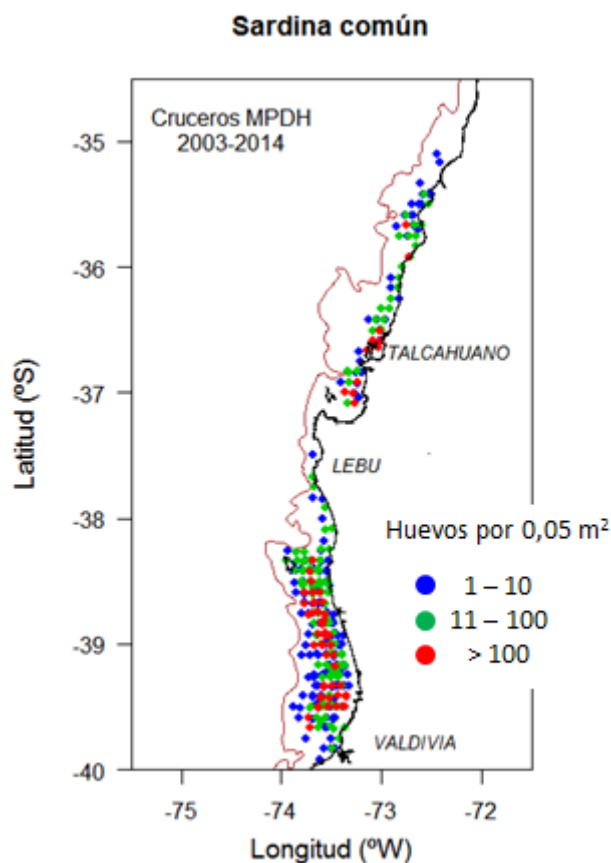


Figura 2. Distribución de huevos recolectados en Cruceros de huevos (MPDH, 2003 - 2014) de anchoveta de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos. La línea café representa isobata de 200 m.

2.5. Pesquería

Durante la década de los noventa, la flota cerquera de la Unidad de Pesquería Centro-Sur (UPCS) incrementó significativamente sus capturas alcanzando en promedio las 400 mil toneladas por año, destacándose el año 1999 cuando alcanzó casi el millón de toneladas extraídas. La extracción de pequeños pelágicos del período 1995-2000, estuvo marcada por condiciones ambientales “El Niño” 1997-1998 que se tradujo en

alteraciones de las comunidades costeras pelágicas, especialmente sobre el jurel, observándose 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 común y anchoveta durante los años 1999-2001, impulsado por evadir multas y declarar menos jurel (Aranis 2011). Otros antecedentes 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. El año 2000 la pesquería es reconocida bajo régimen de plena explotación, por lo cual se aplica la medida de administración pesquera denominada Límite Máximo de Captura por Armador correspondiente a fijar Cuotas Globales Anuales de Captura. Los desembarques se han mantenido en torno a las 238 mil toneladas. El período 2002 - 2007 se caracterizó por un sostenido crecimiento de los desembarques, en el que las capturas totales se triplicaron en respuesta a un período de mejores niveles de abundancia de este recurso. A partir del año 2012 se observa una caída manteniéndose en torno a las 61 mil toneladas hasta el 2018, mientras que el 2019 y 2020 se registra un incremento significativo, alcanzando las 162 mil toneladas en promedio (**Figura 3**).

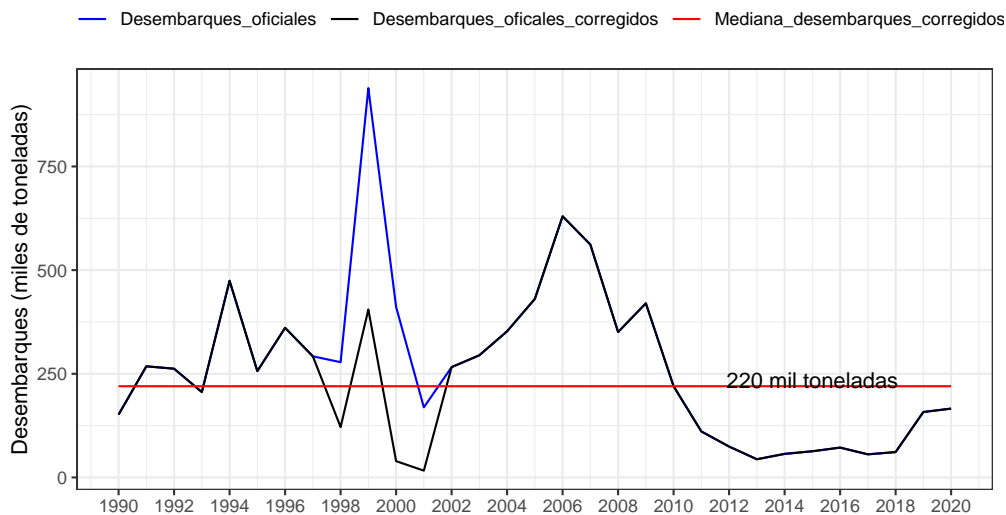


Figura 3. Desembarques (t) oficiales y corregidos de anchoveta de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos. Los años en el eje x corresponden a años calendarios.

La evolución histórica de las Cuotas Global de Captura (CGC) de anchoveta, a partir del año 2001 y asignadas a la unidad de pesquería (UP) Regiones de Valparaíso-Los Lagos, se muestran en la **Figura 4**. Desde el 2006 que los desembarques artesanales superan la cuota asignada a excepción de los años 2010 y 2013. A partir del año 2011 hasta el año 2018 se han asignado las cuotas más bajas de la serie histórica debido a la disminución en los indicadores poblacionales de anchoveta en esta UP. Sin embargo, estos han sido superados principalmente debido a la implementación de “imputación conjunta”, normativa asociada a la Ley de Descarte. La pesquería de anchoveta está estrechamente relacionada a la de sardina común, 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 (**Figura 5**). Como consecuencia del incremento en los niveles de biomasa de anchoveta en la zona centro-sur, el año 2019 la cuota asignada fue la mas alta de los últimos 9 años. Un nivel similar de CGC fue asignada inicialmente para el año en curso.

Considerando que anchoveta conforma una pesquería mixta junto con sardina común en la UPCS y con el objeto de dar viabilidad a la pesquería en su conjunto, el año 2013 se recomienda establecer una CGC de anchoveta de 120.000 toneladas. Para ello, una fracción de la cuota correspondiente al sector artesanal de la Región del Bio-Bio, se destinó para ser capturada en calidad de fauna acompañante en la pesca dirigida a la sardina común. Esto, con el objetivo de ser imputada una vez que la cuota de anchoveta asignada en calidad de especie objetivo haya sido consumida en su totalidad por efectos de la pesca. Para tales efectos, se consideró como fauna acompañante, no sobrepasar el 49 % de la captura de anchoveta medido en peso respecto de la suma de las capturas de anchoveta y sardina común por cada viaje de pesca (RPESQ 2013). Asimismo, la CGC 2014 se estableció entre un 7 y 13 % de la captura de sardina común. Esta asignación de CGC coincidió con 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 estableció que el Comité Científico Técnico será quien recomiende el marco biológico de referencia, estatus de conservación biológica y rango de Captura Biológicamente Aceptable (CBA).

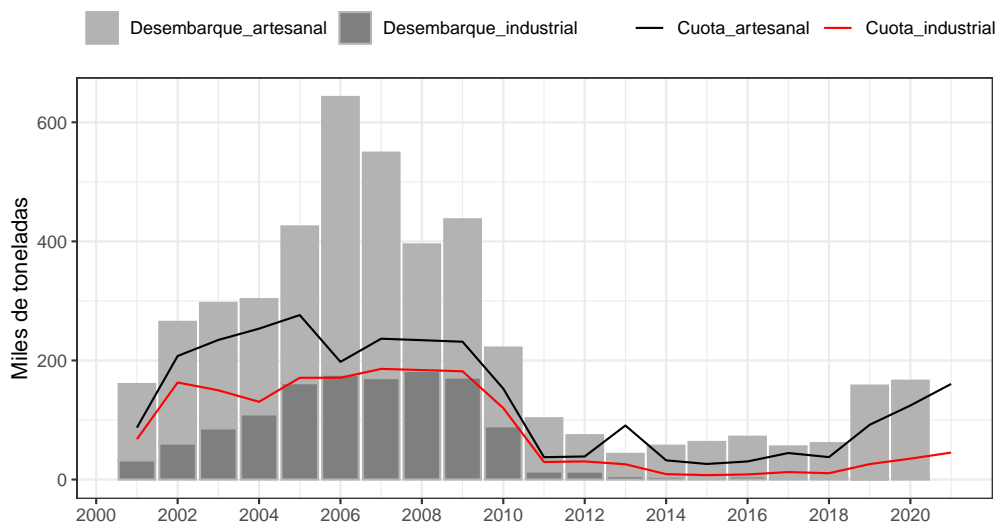


Figura 4. Relación de desembarques y cuotas anuales de anchoveta de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos por tipo de flota.

2.6. Evaluación de stock

La evaluación de stock en Chile ha sido desarrollada y perfeccionada por IFOP durante los últimos 15 años y cuya metodología se encuentra acorde con los estándares internacionales vigentes. A su vez y recientemente, los modelos y métodos 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 Técnico como de los lineamientos entregados por el equipo de expertos 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

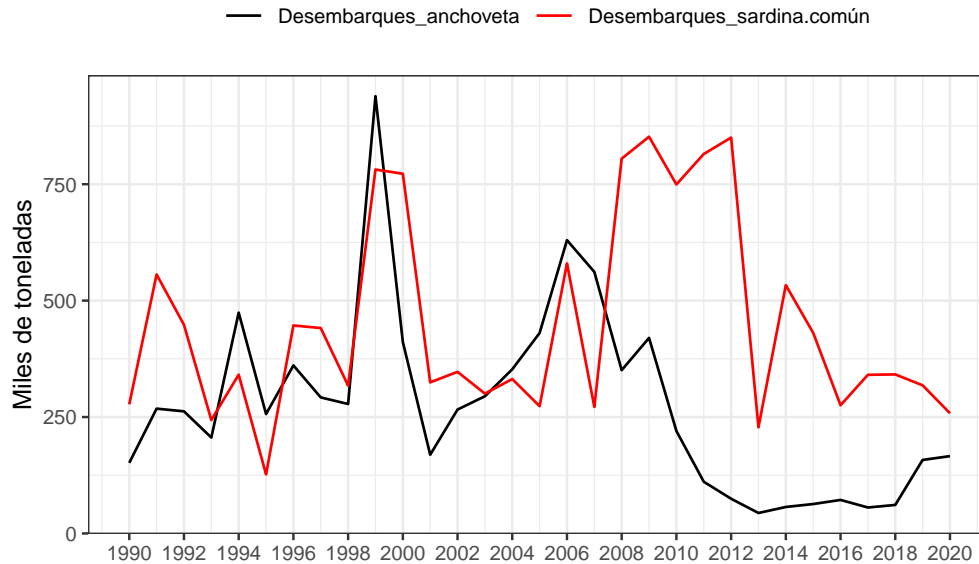


Figura 5. Desembarques oficiales de anchoveta y sardina común de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos. Los años en el eje x corresponden a años biológicos de los desembarques utilizados en la evaluación de stock de cada recurso.

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 anchoveta en la UPCS comenzó a ser evaluada oficialmente en 1996 por Barría *et al.* (1998) y (1999), con métodos estructurados por edad en escala calendaria. La **Tabla 1** muestra las características que ha tenido la evolución en la modelación de dinámica poblacional en los últimos 20 años. Luego de Excel, MATLAB fue la plataforma de computación por más de 10 años y en esta se implementaron modelos de dinámica en edades en escala anual y semestral con observaciones en tallas y edades. Recién el año 2010 se inicia la migración de los modelos hacia el lenguaje ADMB (Fournier *et al.* 2012) con lo cual IFOP queda inserto en la línea de las evaluaciones de stock cuyo lenguaje de programación es internacionalmente aceptado. En el presente estudio se realiza el cambio de modelo base en escala año calendaria (MAE) a escala año biológica (MAEB), el cual fue adoptado recientemente por el CCT-PP en la sesión de mayo 2020 (Acta Sesión N°3 y Zúñiga *et al.*, 2020 en ANEXO I), reemplazando al modelo en año calendario históricamente utilizado.

**Tabla 1.** Evolución de los modelos de evaluación empleados en anchoveta centro-sur.

| Años | Modelo | Plataforma | Índices |
|-----------|---|------------|---------------------------|
| <2000 | Producción excedentaria | Excel | CPUE |
| 2000-2005 | Anual edad-estructurado (MAE) año calendario | MATLAB | CPUE RECLAS |
| 2005-2010 | Anual edad-estructurado (MAE), año calendario Anual talla-estructurado (MAT), Semestral talla-estructurado (MST) | MATLAB | CPUE RECLAS PELACES |
| 2010-2012 | Anual edad-estructurado (MAE) año calendario Semestral talla-estructurado (MST) | ADMB | RECLAS PELACES |
| 2012-2013 | Anual edad-estructurado (MAE) año calendario | ADMB | RECLAS PELACES MPH |
| 2014-2020 | Anual edad-estructurado (MAE) año calendario | ADMB | RECLAS PELACES |
| 2021 | Anual edad-estructurado (MAEB) año biológico | ADMB | RECLAS PELACES |

En base al modelo conceptual de la dinámica del stock de anchoveta centro-sur se sustentará el enfoque y modelo de evaluación, que permitirá asesorar al Comité Científico Técnico de Pesquerías Pelágicas Pequeñas 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 anchoveta, con su incertidumbre asociada. El análisis considera como criterio de explotación, aquel nivel de mortalidad que conduce al Rendimiento Máximo Sostenido (F_{RMS}), la proyección poblacional bajo condiciones de incertidumbre y la generación de tablas de decisión sobre las consecuencias de determinadas acciones en base a posibles estados de la naturaleza (optimista, neutro, pesimista) de variables de estado relevantes tales como biomasa desovante y/o niveles de reclutamiento, junto al riesgo de no lograr determinados objetivos.

2.7. Estatus

Debido a los bajos reclutamientos registrados en los últimos años, los que se ubican bajo el nivel promedio de la serie histórica, el estatus de esta pesquería, se mantuvo en una condición de colapso desde el 2009 hasta el 2017. Dicha condición podría ser producto de diversos factores biológicos (fenómenos depensatorios 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. Considerando que la

anchoveta constituye una pesquería mixta con 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 (**Figura 6**). El año 2018 y 2021 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 consecutivos han generado una disminución de los niveles de biomasa desovante, registrándose una condición de sobreexplotación para el año 2021.

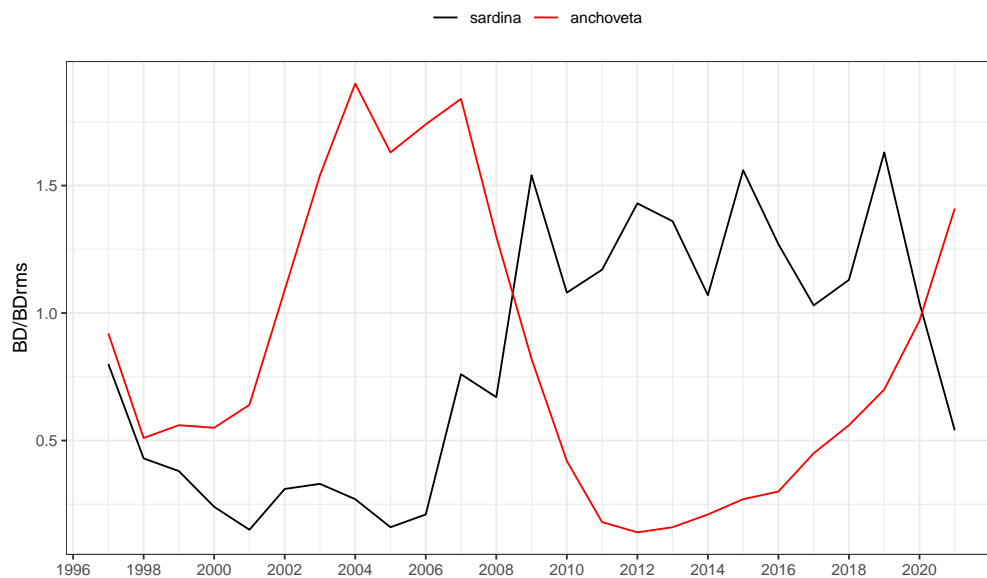


Figura 6. Razón BD/BD RMS de sardina común y anchoveta de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos.

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, en septiembre de cada año, establecer el estatus y recomendar el rango de CBA para el año siguiente. En el mes de enero, 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 (marzo). 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 (julio).

En el caso de anchoveta en la UPCS, el cálculo de la CBA durante la 1era y 2da revisión se basa principalmente en los peces que sobrevivieron al año anterior, más que en los peces que están reclutando en el año actual (información entregada por cruceros de verano y otoño). Por lo tanto, debido a que estos últimos años la condición del stock no ha sido favorable, cuando se ha actualizado el modelo con información del año anterior (pesquería) ha provocado una disminución de la fracción explotable y como consecuencia



una disminución de la CBA. El problema desde un punto de vista práctico y administrativo se traduce es la imposibilidad de disminuir la Cuota asignada, ya que por lo general a mitad de año (segunda revisión) 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 la 1era o 2da revisión. Sin embargo, aun cuando la CBA no ha sido disminuida, los desembarques han sobrepasado los niveles de capturas recomendados por el CCT-PP, producto de la incorporación del programa de descarte el año 2013. Una de las consecuencias es que los desembarques superan entre 1,35 – 1,84 veces la CBA establecida por el CCT-PP. Entre el 2017 y 2018 los desembarques estuvieron en torno de la CBA recomendada en 0.95 – 1,03 veces la CBA respectivamente, sin embargo, el año 2019 el desembarque vuelve a sobrepasar la CBA recomendada. A diciembre del 2020 se han capturado 166 mil toneladas y la CBA recomendada para el 2021 está en torno a las 210 mil toneladas, un 23 % mayor a lo recomendado el año previo (**Tabla 2**).

Tabla 2. Capturas biológicamente aceptables recomendadas por el CCT-PP en las distintas etapas de establecimiento de CBA, desembarque registrado y sus diferencias.

| AÑO | CBA inicial (miles de t) | 1era revisión CBA (miles de t) | 2da revisión CBA (miles de t) | Desembarques (miles de t) | Diferencia entre desembarque y CBA |
|------|-----------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| 2014 | 42.200 | 42.200 | - | 56.842 | 1,3 veces la CBA |
| 2015 | 34.400 | 34.400 | 34.400 | 63.168 | 1,84 veces la CBA |
| 2016 | 34.400 | 39.900 | 39.900 | 71.985 | 1,80 veces la CBA |
| 2017 | 58.400 | 58.400 | 58.400 | 55.709 | 0,95 veces la CBA |
| 2018 | 49.440 | 49.440 | 59.500 | 61.176 | 1,03 veces la CBA |
| 2019 | 81.347 | 120.500 | 127.150 | 160.968 | 1,27 veces la CBA |
| 2020 | 162.876 | 162.876 | 162.876 | 166.031 | 1,02 veces la CBA |
| 2021 | 210.167 | - | - | - | - |



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 anchoveta, 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 anchoveta centro-sur 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: 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 $M=0.7$ por año para anchoveta centro-sur.
- 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 anchoveta se basa en un análisis estadístico de la dinámica de estructuras de edad anual que incorpora información biológica y pesquera agregada en año biológico. El modelo actual fue adoptado recientemente por el CCT-PP en la sesión de mayo 2020 (Acta Sesión N°3¹ y Zúñiga *et al.*, 2020 en ANEXO I), reemplazando al modelo en año calendario históricamente utilizado. De este modo, el modelo en escala biológica mejora la representación del reclutamiento y de la dinámica de anchoveta. La información que ingresa a este 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, junto con sus respectivas composiciones de edad. En base a esta información el modelo estima las variables de estado y flujo 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 7**).

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 Rendimiento Máximo Sostenible (RMS) se utiliza la estrategia de niveles y de acuerdo con la clasificación del estándar de información se definen los

¹http://www.subpesca.cl/portal/616/articles-107809_documento.pdf

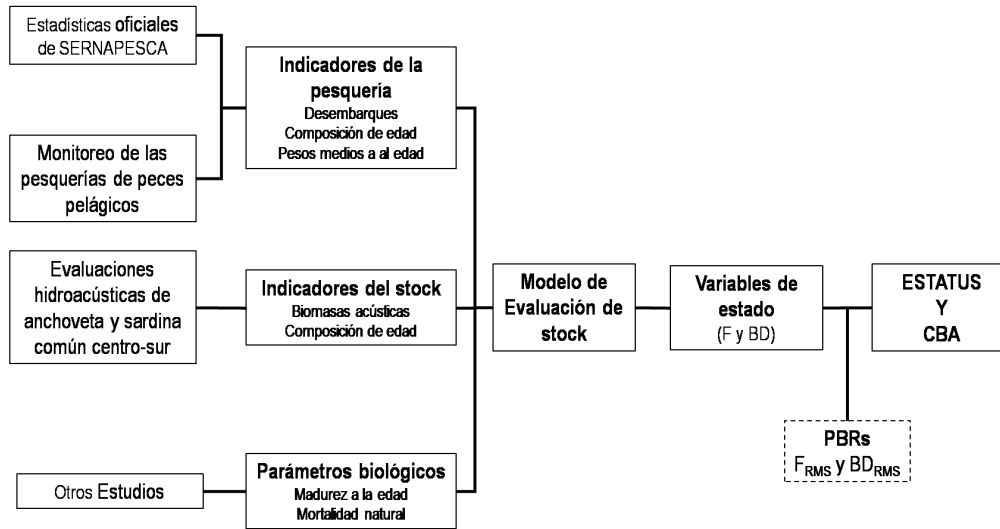


Figura 7. Procedimiento de evaluación de stock de anchoveta de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos.

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 (RMS) 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 específico para las pesquerías en Chile (**Figura 8**). Además, para determinar el estatus de los recursos evaluados, 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. Estos antecedentes permiten clasificar a la anchoveta y sardina común en la UPCS en el Tier o nivel 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 stock.

Desembarques

Corresponde a la extracción registrada en puerto, independiente de la zona de procedencia. Tiene valor

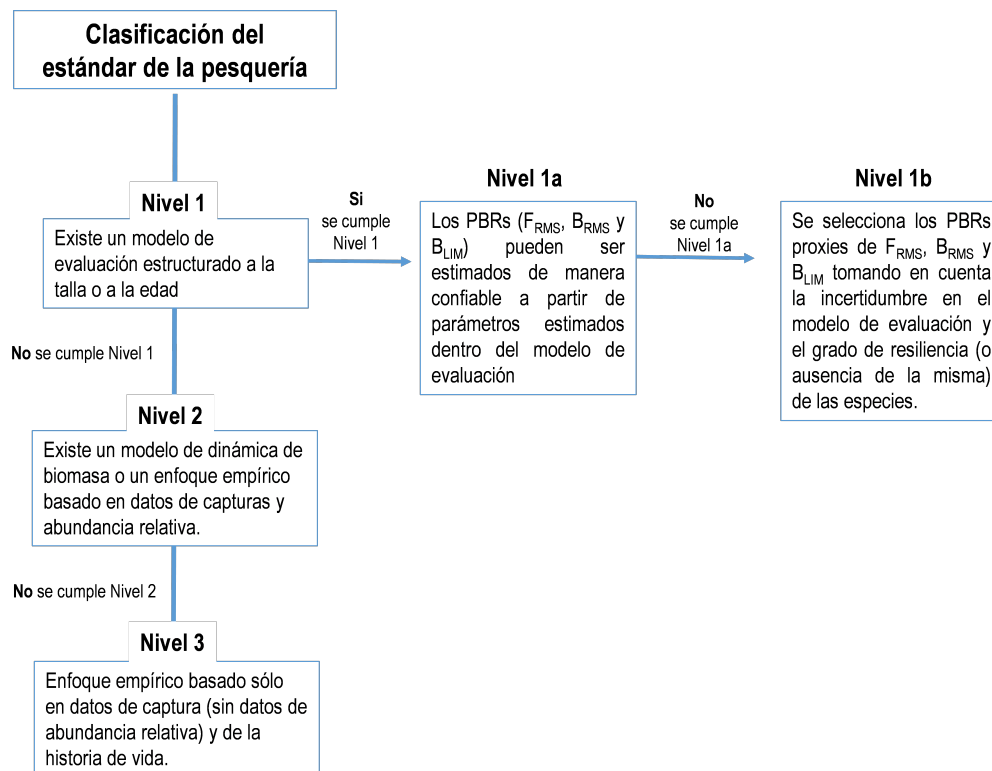


Figura 8. Sistema de niveles para la determinación de los PBRs de acuerdo a la cantidad, tipo y la calidad de la información disponible y, métodos de evaluación de stock empleados en cada pesquería.

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 por especie que ocurre en la unidad de pesquería, comenzando la serie desde el año 1997 hasta 2020. 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 corregida de desembarques anuales antes descrita.

Sobre-reporte

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 y durante “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, impulsado 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 representaba 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. Finalmente, 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). No obstante, esta corrección debe ser revisada durante el transcurso de este proyecto para considerar el análisis de la serie completa.

Sub-reporte

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.* 2019). Para propósitos de la evaluación de stock, esta información será analizada en el transcurso de este proyecto, con el objeto 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.

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 de la actual Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA, N° 18.892 ²) 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, 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 ³) donde fue seleccionado el escenario 5 que considera un 4 % de descarte para el período 2001-2015, un 2 % descarte para el año 2016, 6 % descarte para el año 2017 y 1 % descarte para el 2018. En este informe se actualiza el descarte 2019 estimado en un 2 % (**Tabla 3**).

Tabla 3. Estimaciones de captura total, retenida y descartada para anchoveta en la zona centro-sur, para la pesquería industrial y artesanal años 2017, 2018 y 2019. Estimaciones en toneladas. Datos de observador científico. A partir de la estimación de la proporción de especies en la captura. Fuente: Programa de Descarte IFOP.

| Año | Flota | Zona | Captura Total | Captura Retenida | Captura Descartada | %descarte |
|------|--------------------|-------------------|----------------|------------------|--------------------|------------|
| 2017 | industrial | Centro-sur | 6.032 | 5.856 | 176 | 3 % |
| 2017 | artesanal | Valparaíso | 3.861 | 3.667 | 195 | 5 % |
| 2017 | artesanal | Biobio | 42.682 | 39.823 | 2.859 | 7 % |
| 2017 | artesanal | Los Rios | 4.727 | 4.616 | 111 | 2 % |
| 2017 | Flota total | Zona total | 57.302 | 53.961 | 3.342 | 6 % |
| - | - | - | - | - | - | - |
| 2018 | industrial | Centro-sur | 33 | 33 | 0 | 0 % |
| 2018 | artesanal | Valparaíso | 3.596 | 3.596 | 0 | 0 % |
| 2018 | artesanal | Biobio | 65.074 | 64.425 | 649 | 1 % |
| 2018 | artesanal | Los Rios | 13.586 | 13.401 | 185 | 1,4 % |
| 2018 | Flota total | Zona total | 82.289 | 81.455 | 834 | 1 % |
| - | - | - | - | - | - | - |
| 2019 | industrial | Centro-sur | - | - | - | - |
| 2019 | artesanal | Valparaíso | - | - | - | - |
| 2019 | artesanal | Biobio | 126.615 | 123.865 | 2.750 | 2 % |
| 2019 | artesanal | Los Rios | 3.830 | 3.361 | 468 | 12 % |
| 2019 | Flota total | Zona total | 130.444 | 127.226 | 3.218 | 2 % |

Seguimiento de la pesquería

El monitoreo de la pesquería de anchoveta en la UPCS, realizado por el Proyecto 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.

²<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=13315>

³http://www.subpesca.cl/portal/616/articles-98715_documento.pdf



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 1996/97. 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 clave edad-talla utilizada en la evaluación actual utiliza asignación en año biológico la cual permite asignar adecuadamente la edad en función de la fecha de nacimiento, que se corresponde con el período de desove. Esta metodología fue adoptada por el CCT-PP en el Taller de Datos y Modelos (Acta Sesión N°3⁴ y en Zúñiga *et al.*, 2020 en ANEXO I**)

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 anchoveta 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 anchoveta se realiza una revisión y corrección del método de estimación el cual es presentado como una mejora al caso base de la 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.

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

Cruceros de evaluación hidroacústica

Desde diciembre de 1999 se ha realizado cruceros de evaluación hidroacústicos en el área de estudio con el objetivo de evaluar la biomasa de pequeños pelágicos en Chile centro sur. Existe un programa de cruceros de verano, cuyo objetivo es evaluar la fuerza de los reclutamientos de anchoveta y sardina (RECLAS) y otro de otoño (PELACES) cuyo objetivo es evaluar la biomasa disponible a la flota y corroborar las estimaciones

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



del crucero de verano. La zona de evaluación corresponde a la delimitada entre los 33°30'S y 41°50'S en la cual se desarrolla la mayor parte de la pesquería (**Figura ??**).

La evaluación hidroacústica contempla la realización de transectas diurnas y replicas nocturnas, y además se realizan lances de pesca de media agua y de cerco. Paralelamente, se evalúa también el sesgo de orilla a bordo de L/M artesanales. 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 anchoveta por subzona queda determinada por el área prospectada en cada subzona, el coeficiente de ecointegración 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.

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 con asignación en año biológico. 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 cada una 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. Las biomasa estimadas a través de estos cruceros 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 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. Sin embargo, algunos años de las evaluaciones acústicas de otoño (PELACES), no son muy consistentes en términos del área cubierta y periodo del año en que se realizaban (mayo de 2003, marzo-abril y 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 eliminan los datos de biomasa acústicas del crucero de otoño (PELACES) correspondientes a los años 2003, 2005 y 2015, además de la estructura de edad del año 2015 por las razones antes expuestas.



Parámetros de historia de vida

Para la implementación del procedimiento de evaluación se recoge el conocimiento de otros estudios 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 actual de anchoveta en la UPCS 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 1996/97 – 2019/20) y de los cruceros acústicos de verano (RECLAS, desde 2001 - 2020) y otoño (PELACES, desde 2007 - 2020) y acústicos (biomasa de reclutas en verano, desde 2000 -2020 y biomasa vulnerable en otoño, desde 2003 al 2020) y los desembarques totales (período 1996/97 – 2019/20). Las fuentes de información utilizados en la evaluación de anchoveta se resumen en la **Tabla 4**. Adicionalmente, en la **Sección 3.3.1** de este informe se detallan los datos utilizados en las distintas etapas de estimación de la CBA 2021.

Tabla 4. Resumen de los datos e información de entrada al modelo de evaluación de stock de anchoveta.

| Datos de entrada | Período | Fuente de la información |
|----------------------------------|--|--|
| Desembarques totales anuales | Desde julio 1996- junio 1997 hasta el año biológico julio 2019- junio 2020 | Estadísticas oficiales corregidos de desembarques del Servicio Nacional de Pesca. |
| Composición de talla/edad | | |
| 1. Flota | Desde julio 1996- junio 1997 hasta el año biológico julio 2019- junio 2020 | 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 de anchoveta y sardina común entre la V y X regiones. |
| 3. Cruceros de otoño | Desde mayo 2007 hasta mayo 2020 | |
| Biomasa acústica | | |
| 1. Cruceros de verano | Desde enero del 2000 hasta enero del 2021 | |
| 2. Cruceros de otoño | 2003,2005-2007,2009-2020 | |
| Pesos medios a la edad | Desde julio 1996- junio 1997 hasta el año biológico julio 2019- junio 2020 | 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> (2006) |
| Mortalidad natural | Constante | Cubillos <i>et al.</i> (1998b) |



La población de anchoveta centro-sur constituye una unidad de stock en el 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) representarían el peso de la biomasa desovante que ocurre en agosto y los cruceros de otoño que ocurren en mayo (**Tabla 5**).



Tabla 5. 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 $n^f = 10$. |
| 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 $n^{cv} = 11$. |
| 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 $n^{co} = 7$. |
| 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. |

El método ha sido empleado bajo un enfoque en edades agrupado en año biológico y que incorpora los siguientes elementos:

- a) Modelo de dinámica poblacional estructurada por edad (**Tabla 6**).



- b) Modelos de las observaciones y penalizaciones a priori que permiten relacionar el modelo de dinámica con las observaciones (**Tabla 7**)
- c) Identificación de la estructura del error a través de funciones de log-verosimilitud negativas (**Tabla 8**)
- d) 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 9**).

Tabla 6. 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 | $N_{(0,a)} = R_0 e^{(-aM)}$ $N_{(a>0,t=1)} = N_{(0,a>0)} e^{(\varepsilon_{(a>0)} + 0,5\sigma_R^2)}$ | $\varepsilon \sim N(0, \sigma_R^2)$ $\ln R_0 \sim U[a, b]$ |
| 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 7. 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 8. 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 | $-(q^{cv}) = \frac{1}{2\sigma_q^{cv}} \ln(q^{cv})^2 + cte$ $-(q^{co}) = \frac{1}{2\sigma_q^{co}} \ln(q^{co})^2 + cte$ | σ_q^{cv} es la desviación estándar de la capturabilidad del crucero de verano. σ_q^{co} es la desviación estándar de la capturabilidad del crucero de otoño. |
| Función objetivo | | $-l(I^{cv}) - l(I^{co}) - l(Y) - l(p^f) - l(p^{cv}) - l(p^{co}) - l(R) - l(q^{cv}) - l(q^{co})$ | |



Tabla 9. Parámetros y prioris empleadas en el Modelo Anual con información en Edades (MAE).

| Parámetro | Nº de parámetros | Prior | Descripción |
|--|------------------|---|--|
| Mortalidad natural | 1 | $M = 0, 7$ (fijo) | La mortalidad natural se asume constante entre años y edades. |
| Mortalidad por pesca | 25 | $\ln F \sim U[-6; 1, 6]$ | F_t representa el efecto anual de la mortalidad por pesca. |
| Selectividad de la flota | 2 | $\ln A_{50\%}^f \sim U[-1; 2]$ $\ln \Delta^f \sim U[-4; 0]$ | 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 init bounded vector <code>logdesvNo(1,nedades-1,10,10,optdevNo)</code> init bounded dev vector <code>logdesvRt(1,nanos,-10,10,optdevR)</code> |
| Desvíos de reclutamiento ε_t | 25 | $\ln \varepsilon_t \sim N[0; \sigma_R^2]$ | |
| 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) $\sigma_R = 0, 6$ $\sigma_{q^{cv}} = 100(\text{verano})$ $\sigma_{q^{co}} = 100(\text{otoño})$ | La capturabilidad del crucero de otoño y verano es un parámetro que puede ser estimado libremente por el modelo |

Tamaño 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 2017 (Zúñiga 2017a), se estimó un tamaño de muestra considerando las recomendaciones emanadas del workshop sobre el tratamiento 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) (**Tabla 10**). Ambos procesos comienzan con un valor arbitrario de tamaños de muestra, comenzando con el valor empleado por defecto de la asesoría de septiembre 2016 (Canales & Zúñiga 2016), $n_m=60$ para la flota y $n_m=34$ para el crucero de verano y $n_m=6$ 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 (**Tabla 10**). A menudo es deseable verificar estas estimaciones cuando en el modelo se van integrando nuevas composiciones de edades/tallas o como estos valores pueden variar dependiendo de cambios en los supuestos del modelo.

Tabla 10. 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 | $\frac{\sum_a \hat{p}_{(y,a)}(1-\hat{p}_{(y,a)})}{\sum_a (\hat{p}_{(y,a)} - \hat{p}_{(y,a)})^2}$ |
| 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) | $n_1 \text{var} \left[\frac{(\bar{O}_y - \bar{E}_y)}{\left(\frac{\sum_a a^2 \hat{p}_{(y,a)} - \bar{E}_y^2}{n_1} \right)^{0.5}} \right]^{-1}$ |

Coeficiente de variación

Son empleados en los índices de abundancia y en las capturas. Son utilizados para asignar 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.

Por ejemplo y como medida de referencia, para dos series de índices con igual número de observaciones, un $cv=0,1$ (por ejemplo, un IC al 95 % de $\pm 20\%$ la media) tiene un peso en la verosimilitud total de 4 veces más respecto del índice que asume un $cv=0,2$. En este razonamiento a menudo se supone que el modelo representa la naturaleza de manera perfecta, lo cual ya es cuestionable y por ende el establecimiento de ponderadores es un punto de debate. Este tema ha sido recientemente discutido por Francis (2011) sin que por ahora se disponga de reglas claras para su determinación, sino más bien criterios a tomar en cuenta.

Estos factores son a menudo consensuados entre especialistas y es común asumir desviaciones que reflejen el nivel de credibilidad relativa que se tienen a ciertas piezas de información. 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 estos tienen mayor incertidumbre y/o son tratados como medidas relativas de abundancia.

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. Canales *et al.* (2012) aplicó este procedimiento a las biomásas estimadas en los cruceros acústicos, empleando polinomios de orden 2 y 3 como estimadores de tendencia central lo que generó valores de $cv=0,99$ para el crucero de verano y un $cv=0,67$ para el crucero de otoño. Para fines de evaluación se consideró como referente un valor aproximado a $cv=0,3$ ya que de otro modo imposibilitaría el uso de estas series como índice de abundancia.

Adicionalmente, los CVs estimados para la biomasa desovante en 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 mucho 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 la revisión por pares de sardina común 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. En consecuencia, en Zúñiga & Canales (2014) se presentaron los resultados de los cambios en los supuestos mencionados anteriormente y la comparación entre caso base actual y el anterior, concluyendo de esta forma que el valor de CV para el crucero de huevos es igual a 100, lo cual significa que esta pieza de información no tiene peso en la evaluación de stock actual.

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, lo cual fue considerado también para la anchoveta centro-sur.

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 esencialmente en la invariabilidad 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 más longevos fuera de la zona donde opera la pesquería, lo que pudiera sugerir un modelo tipo “domo”. En el caso de los cruceros de



verano y otoño, el patrón de explotación se supone igualmente logístico, pero se estiman independientemente a los de la flota.

Capturabilidad de los cruceros

Con respecto a la capturabilidad del crucero de otoño, esta era estimada en torno a 1 sujeto a una distribución a priori, mientras en el crucero de verano es un parámetro que puede ser estimado libremente por el modelo. Al respecto, en el taller de Revisión Por Pares (RPP) de sardina común 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, no existiría 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. Por lo tanto, se asume un prior no informativo como elección más apropiada para el caso base actual.

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.

Análisis retrospectivo tradicional

Este análisis es un diagnóstico que implica correr el modelo eliminando años de datos sucesivos consecutivamente para estimar el sesgo del modelo (Cadrin & Vaughn 1997; Cadigan & Farrell 2005). 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. De esta forma podemos 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 anchoveta centro-sur.

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 anchoveta, con el objeto de evaluar la influencia de las distintas piezas de información y desempeño del modelo MAE.

Se implementó 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 anchoveta, 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 estableció 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:

- a) Biomasa desovante en el Rendimiento Máximo Sostenible (BD_{RMS}), bajo la cual el recurso califica en sobre-explotación.
- b) Mortalidad por Pesca en el Rendimiento Máximo Sostenible (F_{RMS}), sobre la cual el recurso califica en sobre-explotación.
- c) Biomasa desovante límite (B_{LIM}) bajo la cual una pesquería califica de agotada o colapsada.
- d) Mortalidad por Pesca límite (F_{LIM}) a partir de la cual el recurso califica en sobrepesca.

En este informe se presenta 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). Este 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 11**).



Tabla 11. Dinámica de la abundancia utilizado para estimar la biomasa desovante por recluta y su función objetivo para resolver el parámetro de F_{RMS} .

| Variabes | 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 a y \bar{w}_a^{ini} es el peso medio a la edad al inicio del año biológico. |
| Función objetivo | $f = \left(\frac{BDPR_{F_{RMS}}}{BDPR_{F=0}} - 0,60 \right)^2$ | 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 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}) x BD promedio / %BD(F_{mh}).
6. Cálculo de BD_{LIM} (seleccionado como 27,5% BD_0 para todos los stocks de sardina y anchoveta) o 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 9** muestra el 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 número 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:

- 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.
- 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).

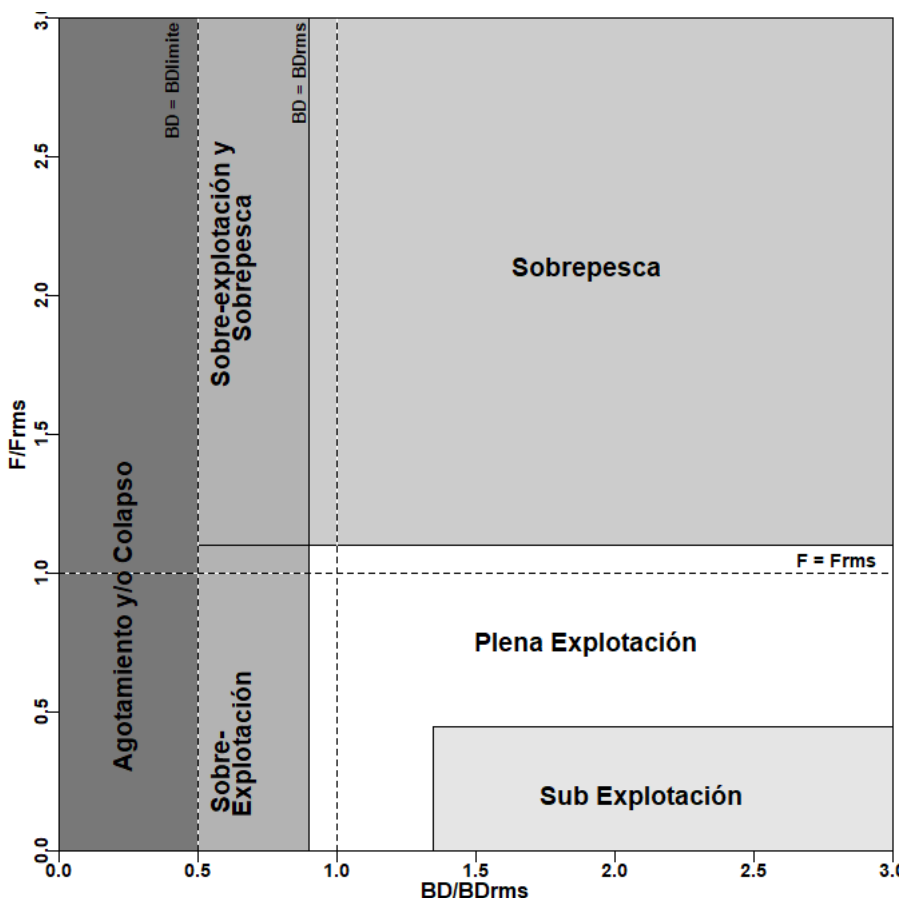


Figura 9. Diagrama de fase definido por el CCT-PP para las pesquerías de pelágicos pequeños.

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 proceso de asesoría

La pesquería de anchoveta 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 %BD0 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 %BD0, definidas como $F_{60\%BDPR}$ por el Comité Científico Técnico Pesquerías de Pequeños Pelágicos (CCT-PP) para minimizar el efecto de la pesca sobre el stock de anchoveta centro-sur (Informe Técnico CCT-PP N°01/2015⁵).

De acuerdo al ciclo de manejo histórico de esta pesquería, la recomendación de CBA comienza después

⁵http://www.subpesca.cl/portal/616/articles-87217_documento.pdf

de la veda reproductiva, donde se reporta la CBA inicial (“Primer Informe de Estatus”), y que permitirá 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, RECLAS), esta información junto a datos provenientes de la pesquería es utilizada para la primera revisión de la CBA (“Segundo Informe de Estatus”). 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 (“Tercer Informe de Estatus”) (**Figura 10**).

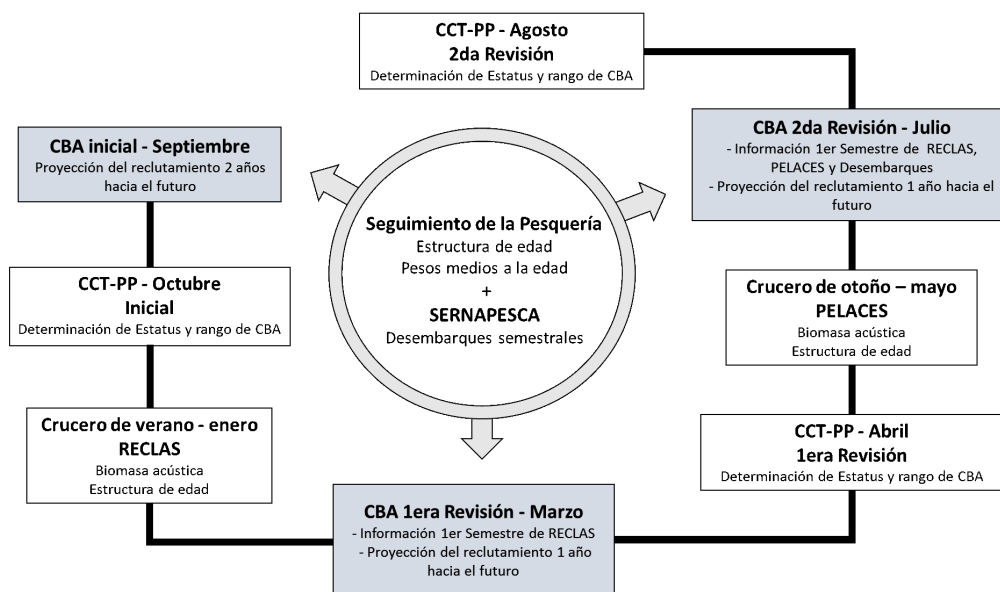


Figura 10. Procedimiento de manejo actual para anchoveta de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos.

La **Tabla 12** detalla la información disponible en cada etapa de cálculo de CBA 2021, destacando que en la primera etapa de estimación (CBA inicial) no se cuenta con información actualizada de los años biológicos 2020-2021 y 2021-2022, 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 2021 en año calendario. En la segunda etapa (1era revisión) contamos con información parcial del año biológico 2020-2021 y en la tercera etapa (2da revisión) con información casi completa del año biológico 2020-2021. Sin embargo, para realizar el cálculo de la CBA 2021 en año calendario, en ambas etapas es necesario proyectar un año biológico hacia el futuro (2021-2022).

El proceso de cálculo de la CBA 2021 para las tres etapas del ciclo de manejo de anchoveta centro-sur (**Tabla 13**) 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:



Tabla 12. Información relevante para el cálculo de CBA 2021 en cada una de las etapas de estimación.

| Datos de entrada al modelo | CBA INICIAL Septiembre 2020 | 1ERA REVISIÓN Marzo 2021 | 2DA REVISIÓN Julio 2021 |
|---|---|--|---|
| Desembarques | Julio 1991 - junio 2020 | Julio 1991- junio 2020 + Supuesto de captura 2020/2021 | Julio 1991 - preliminar a junio 2021 |
| Biomasa acústica Crucero de verano | 2000 – 2020 | 2000 – 2021 | 2000 – 2021 |
| Biomasa acústica Crucero de otoño | 2003 – 2020 | 2003 – 2020 | 2003 – 2021 |
| Composición de edad Flota | Julio 1991 - junio 2020 | Julio 1991 - junio 2020 | Julio 1991 - mayo 2021 |
| Composición de edad Cruceros de verano | 2001 – 2020 | 2001 – 2021 | 2001 – 2021 |
| Composición de edad Cruceros de otoño | 2007 – 2020 | 2007 – 2020 | 2007 – 2021 |
| Pesos medios a la edad | Julio 1991 - junio 2020 | Julio 1990 - junio 2020 Promedio de los últimos 5 años de la serie histórica para julio 2020-junio 2021 | Julio 1990 - mayo 2021 |
| Madurez sexual a la edad | Constante | Constante | Constante |
| Mortalidad natural | Constante | Constante | Constante |
| Proyección del reclutamiento | 2 años biológicos (años 2020/21 y 2021/22) | 1 año biológico (año 2021/22) | 1 año biológico (año 2021/22) |

- 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).

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

- Proporción de captura semestral (p_{s1} , primer semestre y p_{s2} , segundo semestre).
- Probabilidad que la captura exceda el objetivo de manejo $F_{RMS}=F60\%BDPR$.
- Porcentaje de resguardo de la Captura al RMS.

Tabla 13. Métodos de estimación de la CBA 2021 para las tres etapas del ciclo de manejo de anchoveta centro-sur.

| Mes de Asesoría | Etapas de cálculo | Métodos de estimación |
|-----------------|----------------------|---|
| Septiembre 2020 | $CBA_{inicial}$ | $p_{s1} * Y_{PRMS(t+1)} + p_{s2} * Y_{PRMS(t+2)}$ |
| Marzo 2021 | $CBA_{1eraRevisión}$ | $p_{s1} * Y_{RMS(t)} + p_{s2} * Y_{PRMS(t+1)}$ |
| Julio 2021 | $CBA_{2daRevisión}$ | $p_{s1} * Y_{RMS(t)} + p_{s2} * Y_{PRMS(t+1)}$ |

A continuación, se detallan cada uno de los pasos mencionados anteriormente,

Paso 1: Captura proyectada ($Y_{P_{RMS}}$) 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>.

La **Figura 11** muestra tres niveles de reclutamiento detectados por el análisis de quiebres de la serie histórica: a) un escenario favorable que consiste en el reclutamiento promedio del período 1997-2009 (59,2 mil millones de ind.), b) un escenario desfavorable que corresponde al promedio de los reclutamientos del período 2010 - 2021 (25,9 mil millones de ind.) y un escenario que representa el reclutamiento promedio histórico (1997-2021) (43,2 mil millones de ind.).

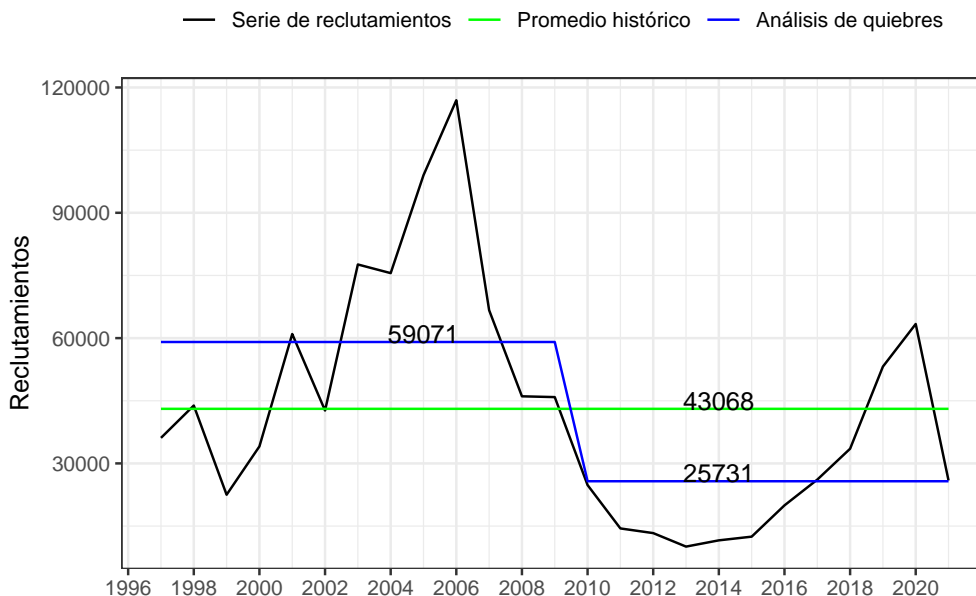


Figura 11. Análisis de quiebres de la serie histórica de los reclutamientos de anchoveta de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos.

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 12**). Este supuesto fue acordado con el CCT-PP en la sesión 02/2019⁶. 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 14**).

⁶http://www.subpesca.cl/portal/616/articles-107809_documento.pdf

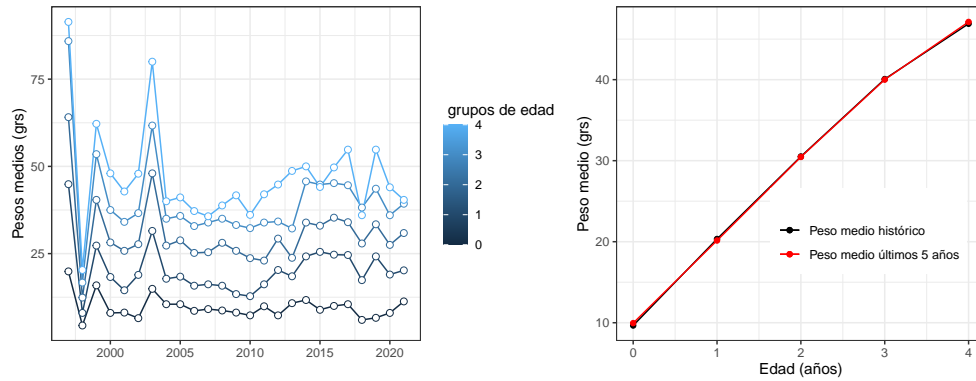


Figura 12. a) Variabilidad de los pesos medios de cada grupo de edad (edad 0 a 4) y b) comparación del supuesto de pesos medios igual al promedio histórico vs peso promedio de los últimos 5 años de la serie.

Tabla 14. Proceso de estimación de la Captura (Y_{PRMS}) 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_p reclutamiento promedio de los años iniciales entre los años 1997-2009, n es el número de años iniciales | $R_{p(a=0)} = \frac{\sum R_{(1997-2009)}}{n_{(1997-2009)}}$ |
| Escenario de reclutamiento: R_p reclutamiento promedio histórico 1997-año actual, n es el número de años del período | $R_{p(a=0)} = \frac{\sum R_{(1997-añoactual)}}{n_{(1997-añoactual)}}$ |
| Escenario de reclutamientos: R_p reclutamiento promedio entre los años 2010 - año actual, n es el número de años del período | $R_{p(a=0)} = \frac{\sum R_{(2010-añoactual)}}{n_{(2010-añoactual)}}$ |
| Mortalidad por pesca y total al RMS | $F_{RMS} = sel_{naños} F_{60}(\cdot)$ $Z_{RMS} = F_{RMS} + M,$ $S_p = exp(-Z_{RMS})$ |
| Dinámica de la abundancia proyectada | $N_{p(a=0)} = R_p,$ $N_{p(a+1)} = N_{p(a-1)} S_p,$ $N_{p(a=4)} = N_{p(a-1)} S_p + N_{p(a=4)} S_p$ |
| Captura en número proyectada | $C_{PRMS} =$ |
| Captura en peso proyectada | $F_{RMS}/Z_{RMS} * N_{p(1-exp(-Z_{RMS}))}$ $Y_{PRMS} = \sum C_{PRMS} * w_{5años}^{med}$ |

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, $N_{p(a=0)}$ 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.

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

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 actual de anchoveta centro-sur 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 2006 la proporción disminuye en torno al 70 % para el primer semestre (**Figura 13**). 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 ⁷.

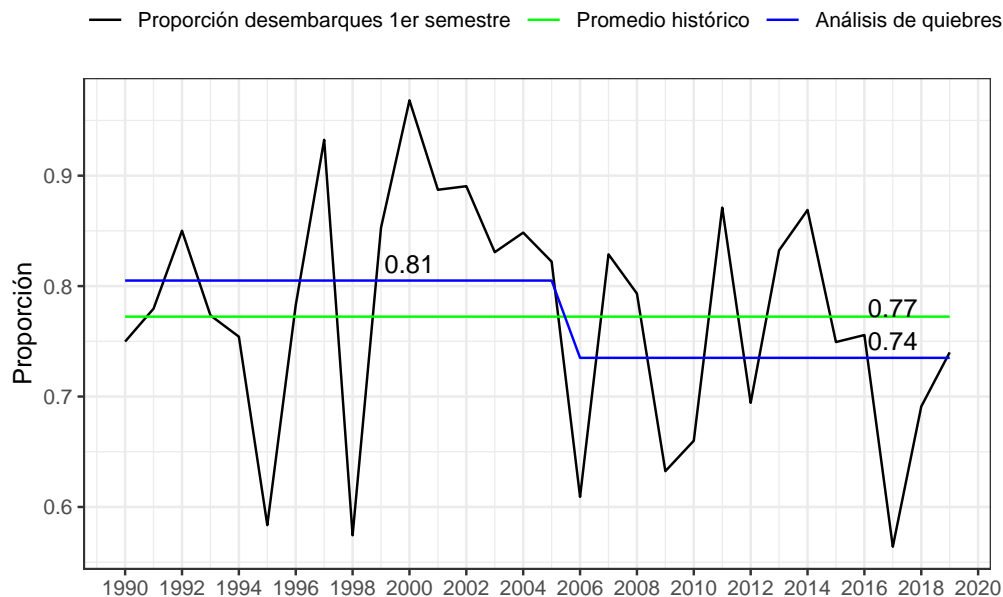


Figura 13. a) Serie histórica de la proporción de los desembarques durante el primer semestre de anchoveta de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos.

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

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 14**). El CCT-PP determina el rango de CBA seleccionado el percentil de probabilidad y 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 capturara estimada para cada percentil de probabilidad (10 % - 50 %) y $Captura_{RMS}$ corresponde a la media (50 % probabilidad).

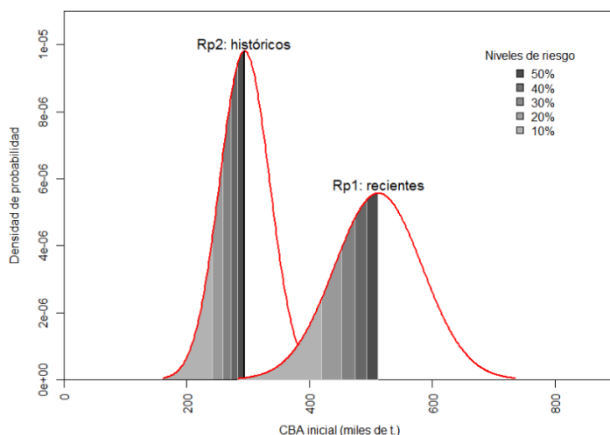


Figura 14. CBA inicial ante distintos percentiles de probabilidad de exceder la estrategia de explotación y bajo un escenario de reclutamiento histórico.

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 2021. La



proporción del descarte (pd) supuesto para el año 2021 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 (RPP-EI) 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
- 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 anchoveta, 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 1996/97 hasta el año 2020/21. A continuación, se detalla los datos actualizados en la asesoría de julio 2021 (**Figura 15**).

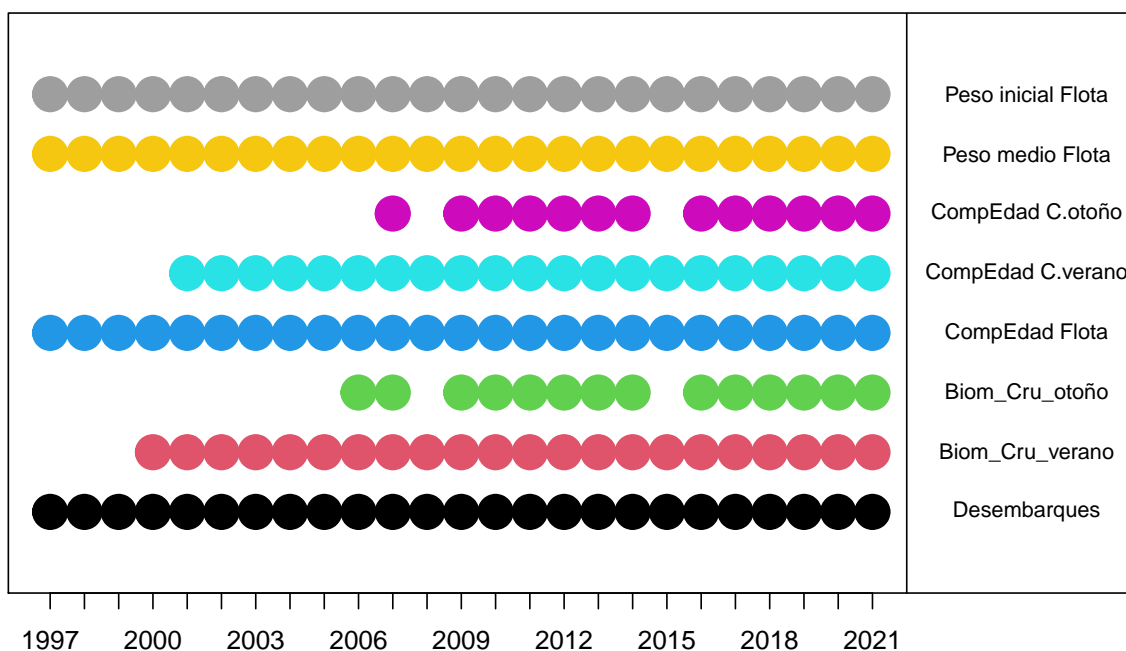


Figura 15. Series de tiempo de los datos de entrada al modelo de evaluación de stock de anchoveta de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos.

Datos actualizados

- Biomasa del crucero acústico de enero 2021 (**Tabla 15**)
- Composición de edad del crucero acústico de enero 2021
- Biomasa del crucero acústico de mayo 2021 (**Tabla 15**)
- Composición de edad del crucero acústico de mayo 2021
- Captura 2020/21 sin incorporar descarte (**Tabla 16**)
- Captura 2020/21 con descarte incorporado (**Tabla 16**)
- 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 2 % de descarte (acordado en sesión del 25 de febrero del CCT-PP) (**Tabla 16**)

Supuestos de proyección de 1 año biológico 2021/2022

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

Descripción de datos de entrada

Entre los años 2009 y 2017 se registraron los niveles más bajos de biomasa acústica de verano con un valor promedio de 101 mil t. Sin embargo, el año 2018 se observó un primer incremento importante hasta 347 mil t y los últimos tres años 2019 al 2021 se consolida éste incremento con valores cercanos a las 588 mil toneladas en promedio. Algo similar se observa en las tendencias de los cruceros de otoño. Sin embargo, en este estudio, la recuperación en la biomasa del stock se apreció a partir del año 2016, observándose una recuperación en la biomasa del stock desde el 2016, registrándose el año 2021 el nivel más alto de los últimos 11 años, en 1,3 millones de t. En relación a las capturas de anchoveta de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos, su variación es consistente con los cambios en los niveles de biomasa estimados por los cruceros acústicos de verano y otoño. Entre el 2011/12 y 2017/18 se registran desembarques en torno a 62 mil toneladas en promedio. Para el 2018/19 se incrementan a 135 mil toneladas, para el año 2019/20 a 160 mil toneladas, un 16 % mayor al año previo, y para el año 2020/21 se incrementa 205 mil toneladas, un 30 % mayor al año previo y 159 % mayor al promedio de los últimos 9 años (período 2011/12 - 2019/20) (**Tabla 16** y **Figura 16**). La pesquería está sustentada principalmente por la abundancia de los grupos de edad (GE) 1 y 2. A partir del 2017 el GE 0 muestra una tendencia al incremento, sin embargo, para el 2020/21 su aporte a la abundancia total es inferior al 10 %. Respecto a los pesos medios, para el GE 0 se encuentra en torno a los 10-15 grs, para el GE 1 en los 20-25 grs en promedio. Desde el año 2014 se observa un incremento en esta variable en todos los GE, excepto en los ejemplares de edad 0 (**Figura 17** y **18**).

En relación a la información proveniente de los cruceros acústicos, la composición de edad registrada por el estudio de verano muestra que el GE 0 representa en torno al 67 % de la captura en número, mientras que el crucero de otoño muestra mayor variabilidad y un aporte cercano al 60 % del grupo de edad 0 (**Figura 19** y **20**). La biomasa estimada por el crucero acústico de otoño 2021 está sustentada principalmente por peces de edad 0 y 1 (47 % y 45 % respectivamente).



Tabla 15. Índices de abundancia utilizadas en la evaluación de stock de anchoveta centro-sur provenientes de los cruceros de Verano (RECLAS), Otoño (PELACES) y crucero de huevos (MPDH).

| Año calendario | Biomasa crucero de Verano | Biomasa crucero de otoño | Biomasa desovante MPDH |
|----------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|
| 1997 | 0 | 0 | 0 |
| 1998 | 0 | 0 | 0 |
| 1999 | 0 | 0 | 0 |
| 2000 | 370.054 | 0 | 0 |
| 2001 | 412.103 | 0 | 0 |
| 2002 | 1.494.267 | 0 | 112.323 |
| 2003 | 250.295 | 0 | 0 |
| 2004 | 1.289.818 | 0 | 153.150 |
| 2005 | 931.140 | 0 | 637.223 |
| 2006 | 785.840 | 2.062.538 | 0 |
| 2007 | 897.777 | 1.500.000 | 255.016 |
| 2008 | 1.040.062 | 0 | 313.432 |
| 2009 | 184.774 | 1.874.556 | 73.983 |
| 2010 | 17.550 | 323.000 | 77.613 |
| 2011 | 25.797 | 250.000 | 109.348 |
| 2012 | 100.020 | 174.000 | 50.772 |
| 2013 | 73.551 | 83.755 | 0 |
| 2014 | 82.996 | 137.374 | 0 |
| 2015 | 120.727 | 0 | 0 |
| 2016 | 218.442 | 501.740 | 0 |
| 2017 | 84.188 | 490.994 | 0 |
| 2018 | 347.160 | 745.055 | 0 |
| 2019 | 605.670 | 786.931 | 0 |
| 2020 | 569.463 | 1.005.239 | 0 |
| 2021 | 516.376 | 1.338.007 | 0 |



Tabla 16. Desembarques en toneladas, porcentaje de descarte supuesto, captura descartada (toneladas) y captura total (toneladas) estimadas en año biológico para anchoveta de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos.

| Año biológico | Desembarques toneladas | Porcentaje Descarte | Captura descartada t | Captura total t |
|---------------|------------------------|---------------------|----------------------|-----------------|
| 1996-97 | 350.755 | 0 % | 0 | 350.755 |
| 1997-98 | 77.701 | 0 % | 0 | 77.701 |
| 1998-99 | 442.110 | 0 % | 0 | 442.110 |
| 1999-00 | 56.441 | 0 % | 0 | 56.441 |
| 2000-01 | 13.986 | 4 % | 559 | 14.545 |
| 2001-02 | 226.307 | 4 % | 9.052 | 235.359 |
| 2002-03 | 259.572 | 4 % | 10.383 | 269.955 |
| 2003-04 | 345.847 | 4 % | 13.834 | 359.681 |
| 2004-05 | 415.290 | 4 % | 16.612 | 431.902 |
| 2005-06 | 316.159 | 4 % | 12.646 | 328.805 |
| 2006-07 | 614.773 | 4 % | 24.591 | 639.364 |
| 2007-08 | 395.911 | 4 % | 15.836 | 411.747 |
| 2008-09 | 348.914 | 4 % | 13.957 | 362.871 |
| 2009-10 | 299.548 | 4 % | 11.982 | 311.530 |
| 2010-11 | 161.306 | 4 % | 6.452 | 167.758 |
| 2011-12 | 64.116 | 4 % | 2.565 | 66.681 |
| 2012-13 | 57.910 | 4 % | 2.316 | 60.226 |
| 2013-14 | 56.524 | 4 % | 2.261 | 58.785 |
| 2014-15 | 54.919 | 4 % | 2.197 | 57.116 |
| 2015-16 | 70.367 | 4 % | 2.815 | 73.181 |
| 2016-17 | 49.016 | 4 % | 1.961 | 50.977 |
| 2017-18 | 66.757 | 1,4 % | 935 | 67.692 |
| 2018-19 | 135.804 | 2,1 % | 2.852 | 138.656 |
| 2019-20 | 157.646 | 1,8 % | 2.838 | 160.484 |
| 2020-21 | 205.398 | 2 % | 4.108 | 209.506 |

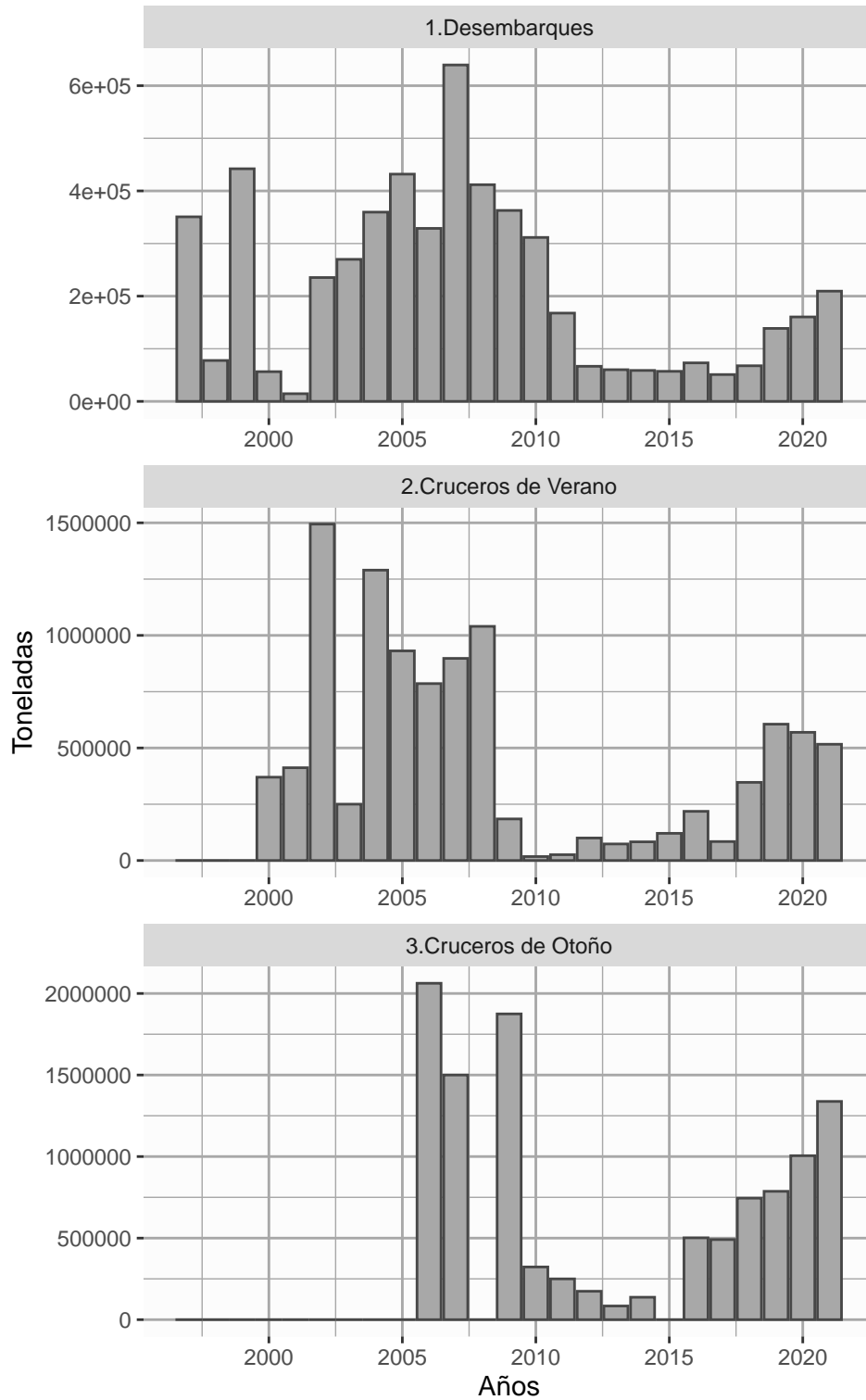


Figura 16. Serie de desembarques y biomazas estimadas por la evaluación hidroacústica de verano y otoño utilizadas como datos de entrada al modelo de evaluación de stock de anchoveta de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos.

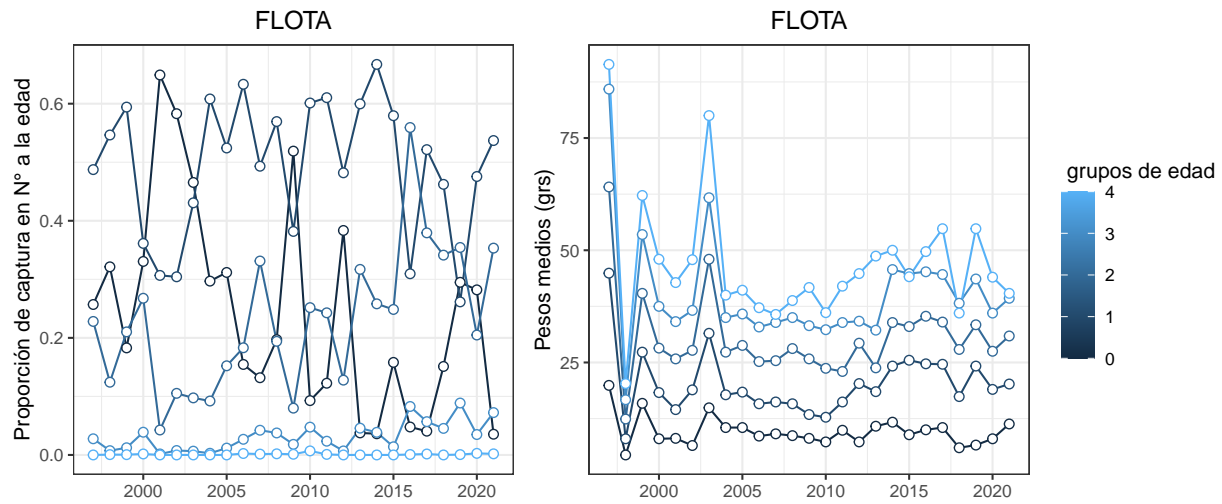


Figura 17. Variabilidad interanual de la proporción de la captura de la flota (panel izquierdo) y pesos medios (panel derecho) de cada grupo de edad (edad 0 a 4) de anchoveta de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos.

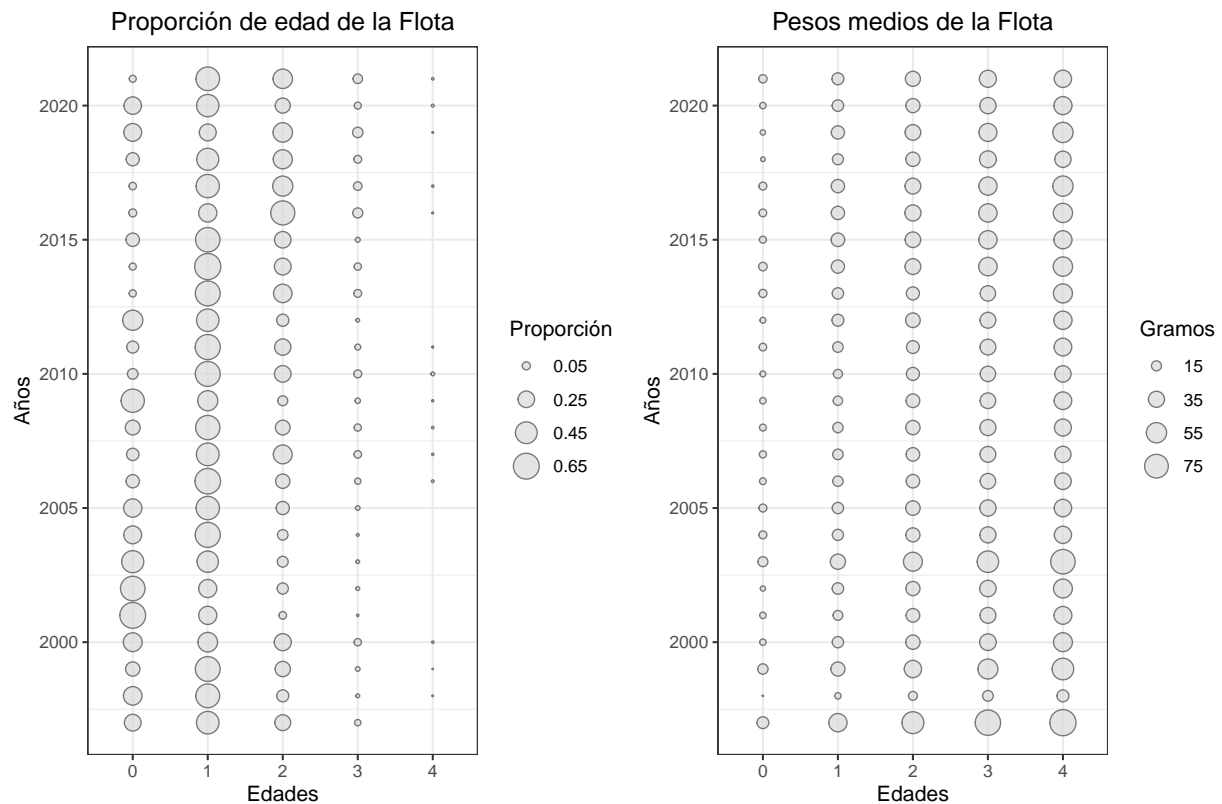


Figura 18. Composición de edad de la captura de la flota (panel izquierdo) y pesos medios (panel derecho) utilizados en la evaluación de stock de anchoveta de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos.

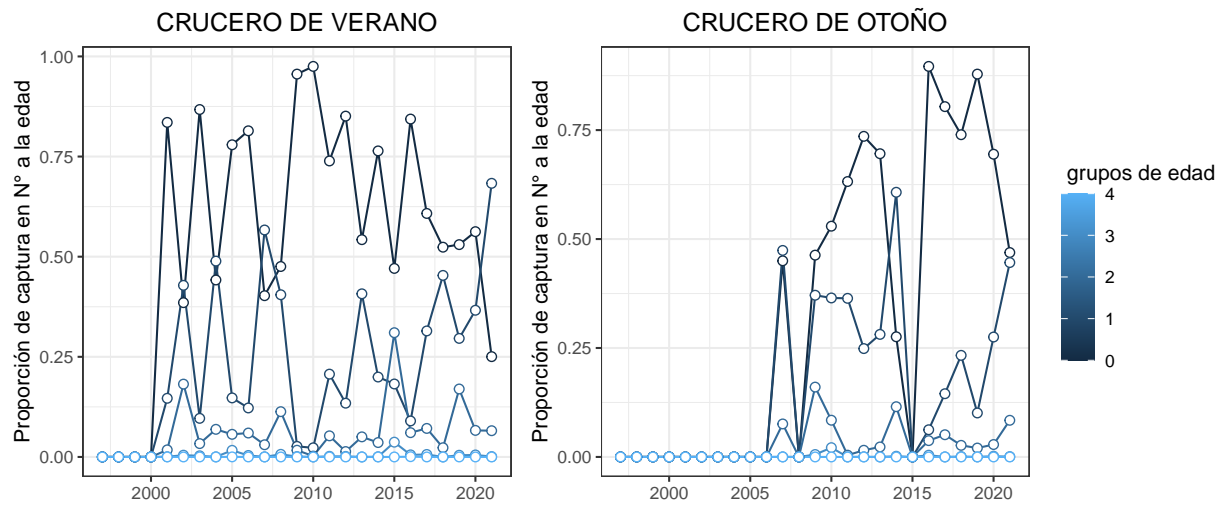


Figura 19. Variabilidad interanual de la proporción de la captura del crucero de verano (panel izquierdo) y crucero de otoño (panel derecho) de cada grupo de edad (edad 0 a 4).

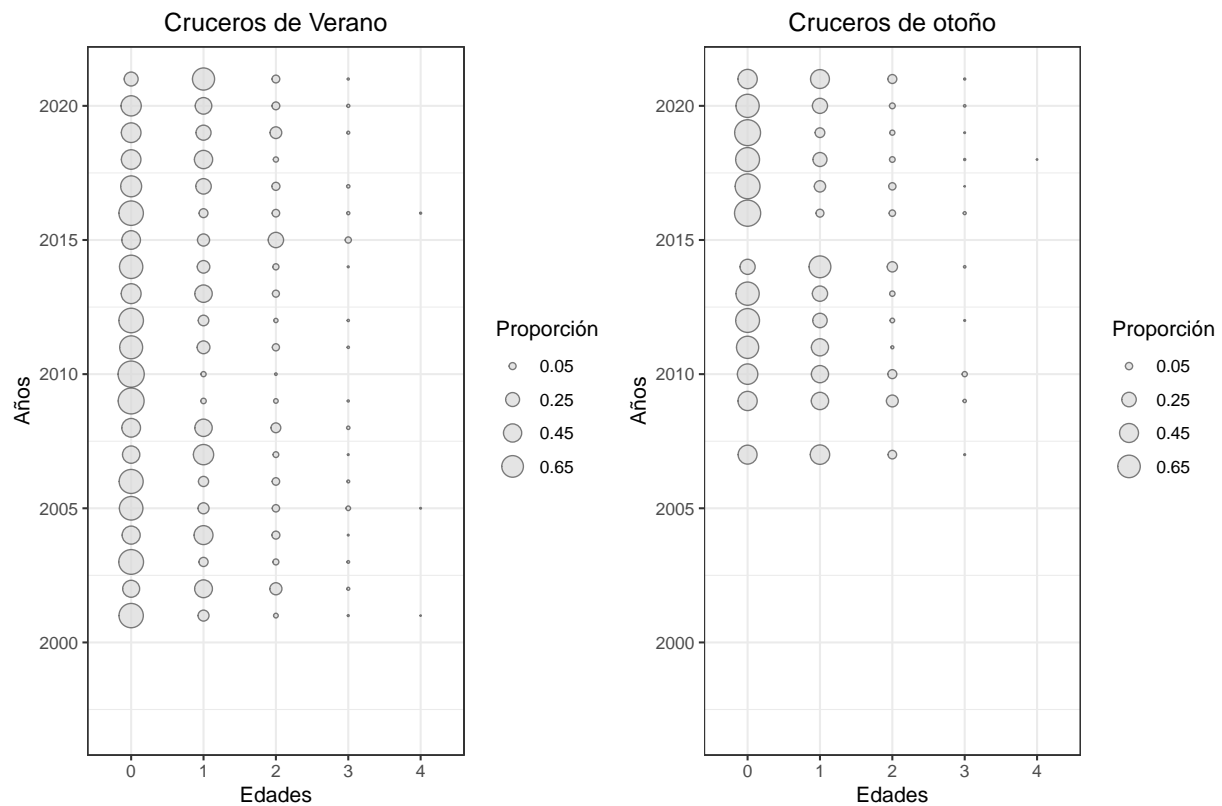


Figura 20. Composición de edad de la captura de los cruceros de verano (panel izquierdo) y otoño (panel derecho) utilizados en la evaluación de stock .

4.1.2. Diagnóstico del modelo de evaluación de stock

Ajuste del modelo a los datos y análisis de residuos

El modelo de evaluación utilizado para estudiar la dinámica del stock, sigue la tendencia general de las estimaciones de biomasa de los cruceros hidroacústicos, principalmente a partir del año 2009. El modelo reproduce de manera satisfactoria los bajos niveles poblacionales en el período 2009-2015 y su tendencia al incremento a partir del año 2016. Sin embargo, los valores más altos del crucero de verano, que poseen mayor incertidumbre, no son ajustados de manera satisfactoria (período 2002-2008). La alta variabilidad de estos índices de abundancia se evidencia en la amplitud de los intervalos de confianza supuestos con un coeficiente de variación de $cv=0,3$ (**Figura 21**).

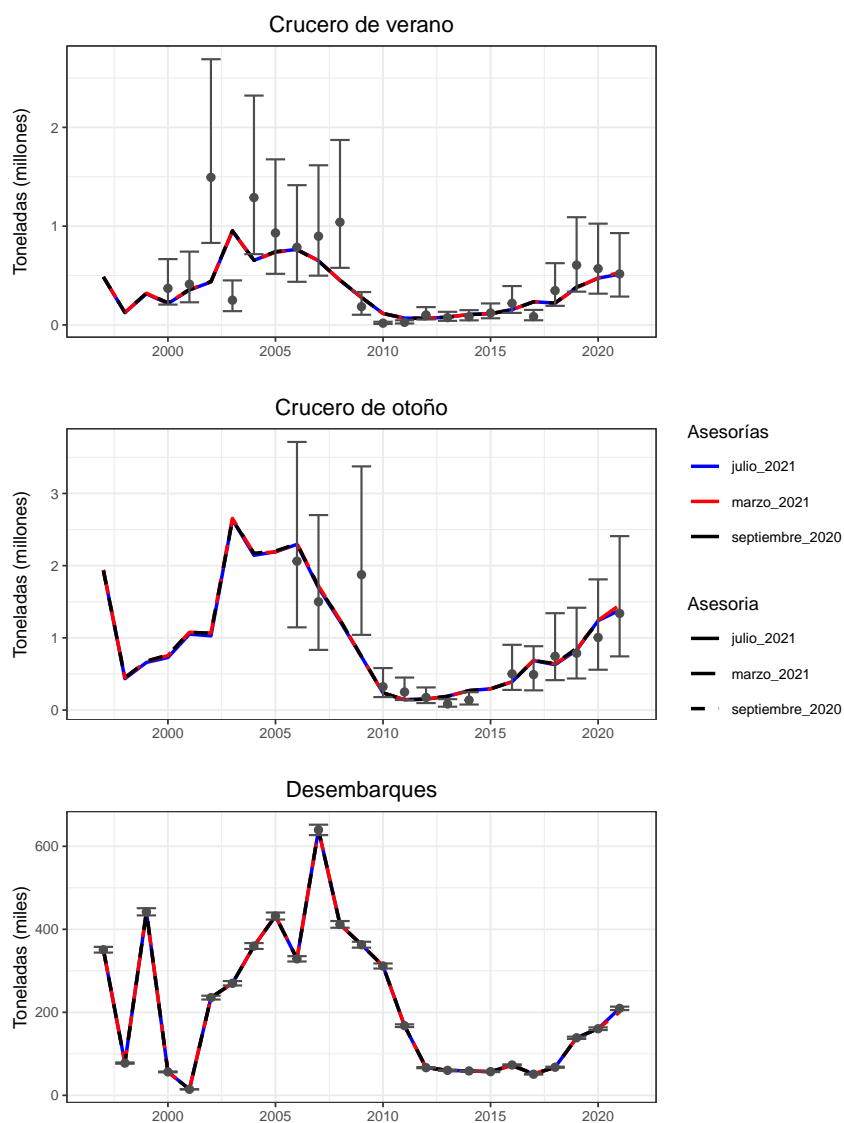


Figura 21. Ajustes del modelo anual en edades a los valores de biomazas de cruceros de verano, otoño y desembarques. Las barras corresponden al intervalo de confianza asíntótico y el círculo al valor del estimador

En cuanto al análisis de los residuales del modelo, estos no sugieren tendencias. El diagrama QQ corrobora, en términos generales, la linealidad en la escala log en todos los índices. No obstante, observando la mayor variabilidad y lejanía relativa respecto de la línea esperada, el análisis evidencia la falta de ajuste a los valores más altos del crucero de verano. Los datos de la captura (desembarques), se asumen insesgados y precisos con un $cv=0,01$, lo cual es reflejado en un buen ajuste del modelo a los valores observados (**Figura 22**).

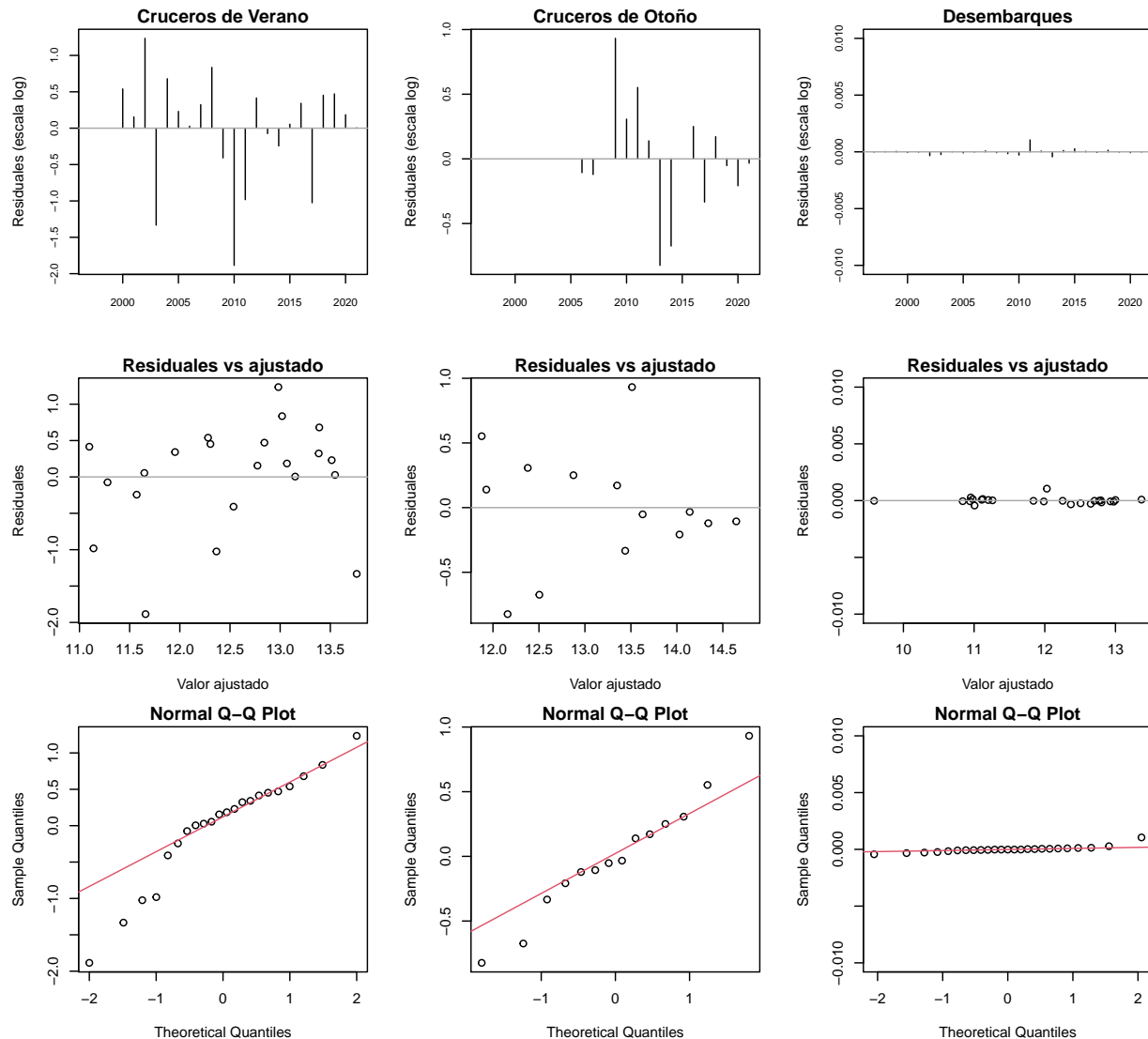


Figura 22. Residuales (escala log) del ajuste del modelo base actual a los datos observados.

En relación al ajuste a los datos de composiciones de edades, se observa que el modelo recoge la variabilidad general de la estructura de edades proveniente de la flota, con patrones de sobre-estimación del grupo de edad 0 desde el 2010 al 2018 producto de los bajos niveles de abundancia registrados en ese período (**Figura 23**). En el caso de los cruceros, el modelo muestra un mejor desempeño en ajustar la composición de edades de los estudios de verano (**Figura 24**). En el caso de los cruceros de otoño, el ajuste es menos consistente, subestimando el GE de 0 en los últimos años (**Figura 25**).

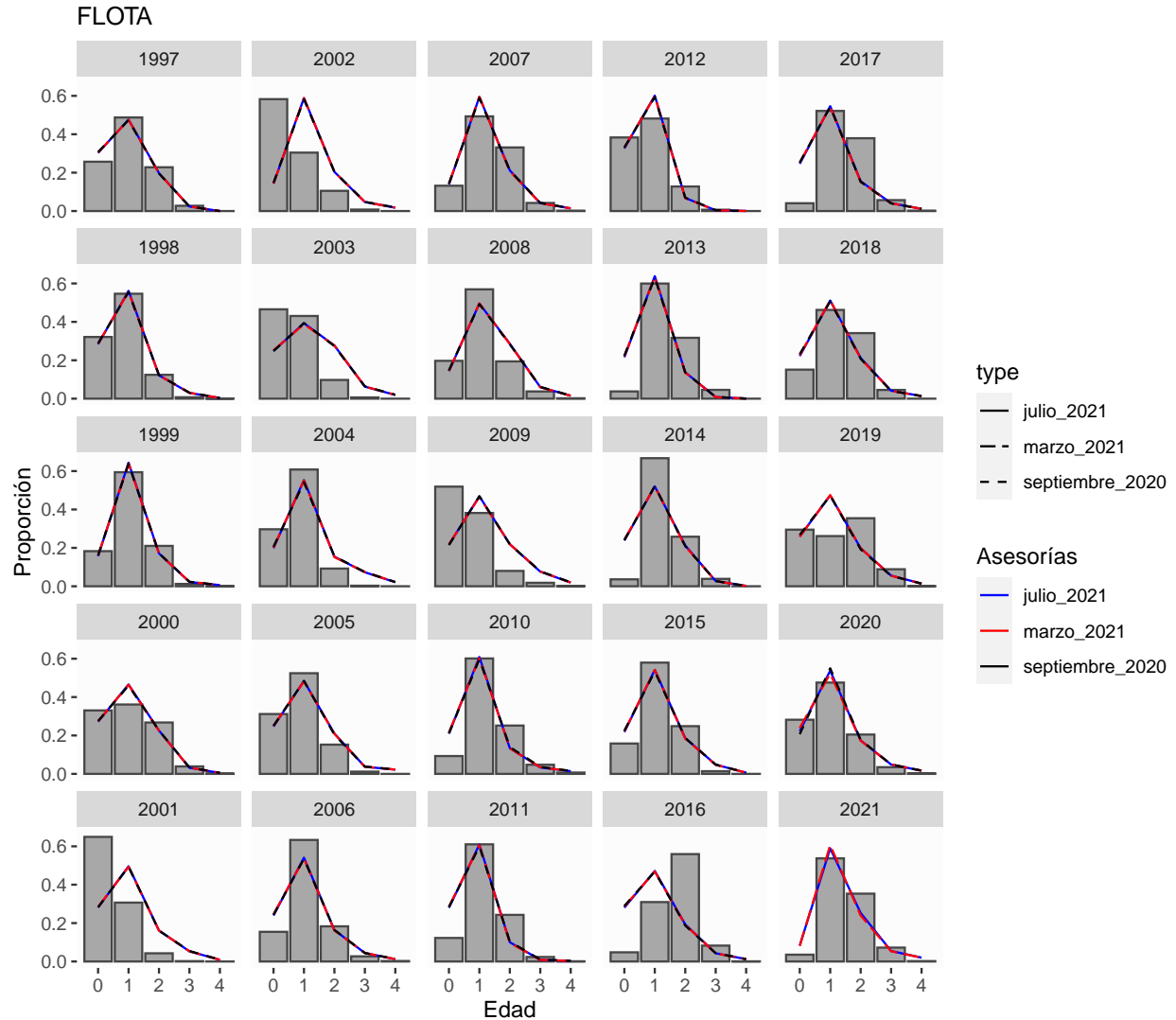


Figura 23. Ajuste del modelo base a las composiciones de edades de la flota de anchoveta de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos.

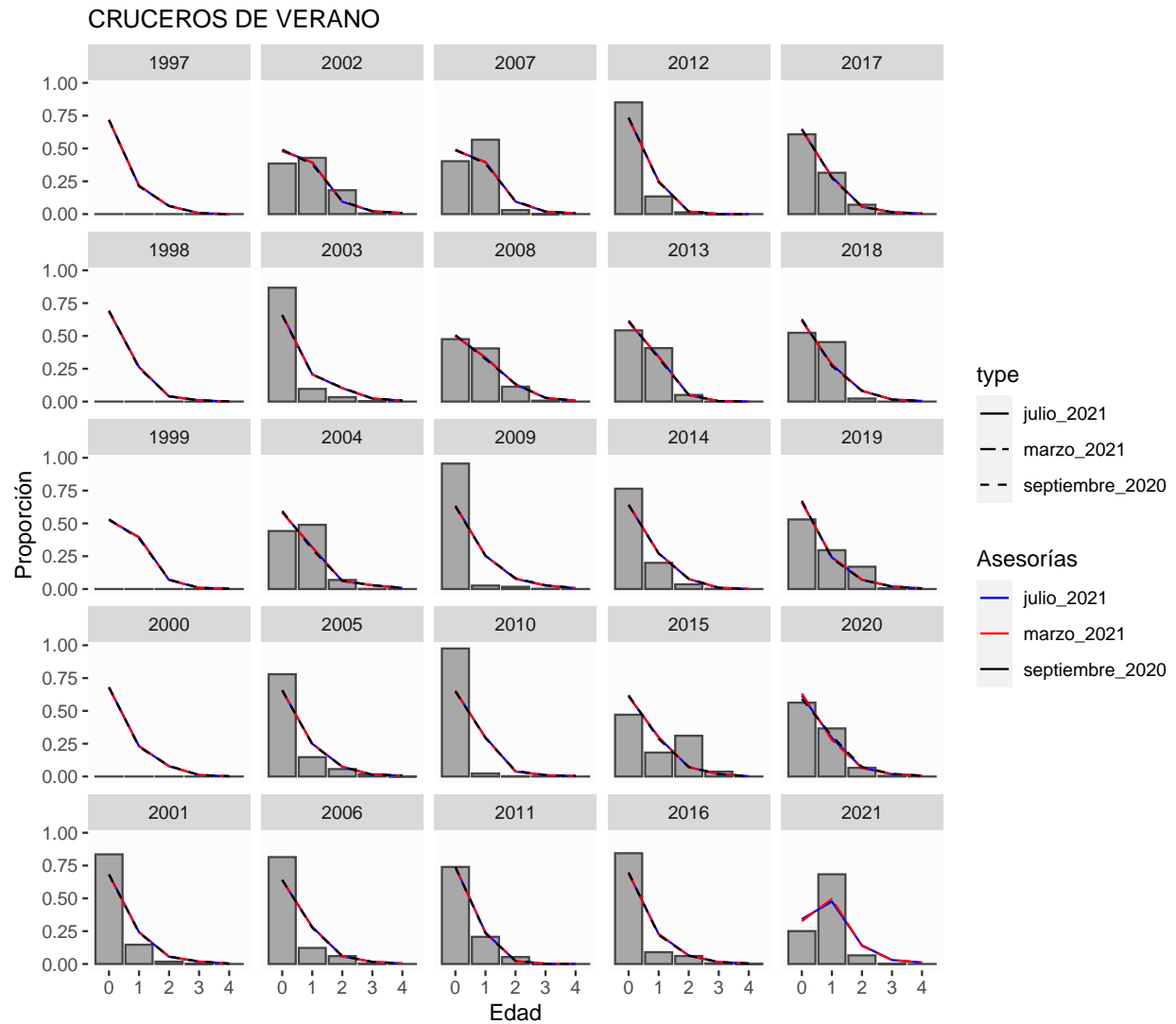


Figura 24. Ajuste del modelo base a las composiciones de edades de los Cruceros de verano de anchoveta de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos.

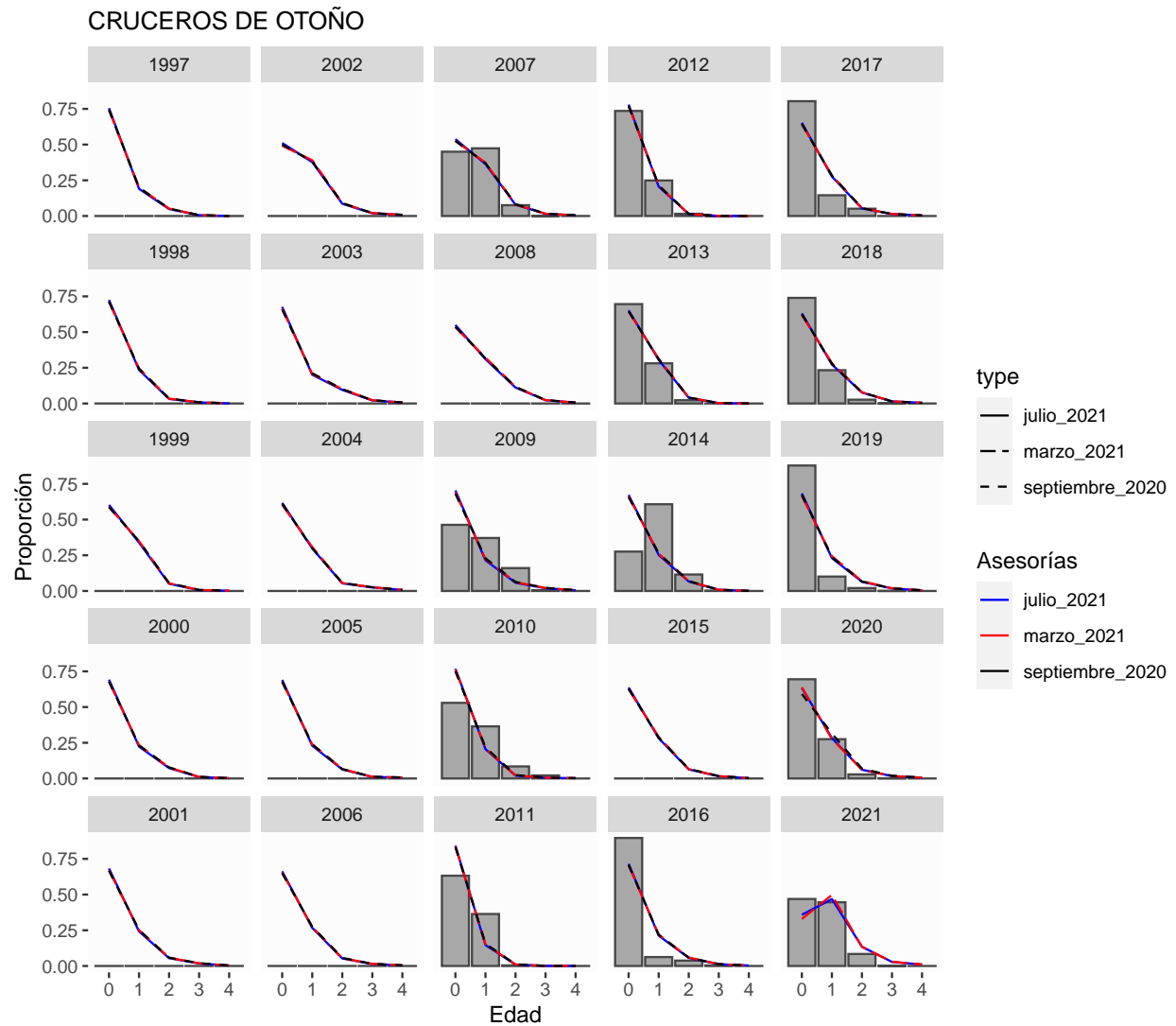


Figura 25. Ajuste del modelo base a las composiciones de edades de los Cruceros de otoño de anchoveta de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos.

El comportamiento de los residuales a las composiciones de edades de la flota, sugieren patrones de subestimación del grupo de edad 0 entre los años 2001 al 2009 y de sobre-estimación desde el 2010 al 2018 correspondiente al período con bajos niveles poblacionales. En el caso de los cruceros de verano, no hay patrones evidentes, mientras que en el caso de los cruceros de otoño se observan ciertos patrones que reflejan la tendencia a la subestimación del GE 0 desde el 2016 (**Figura 26**).

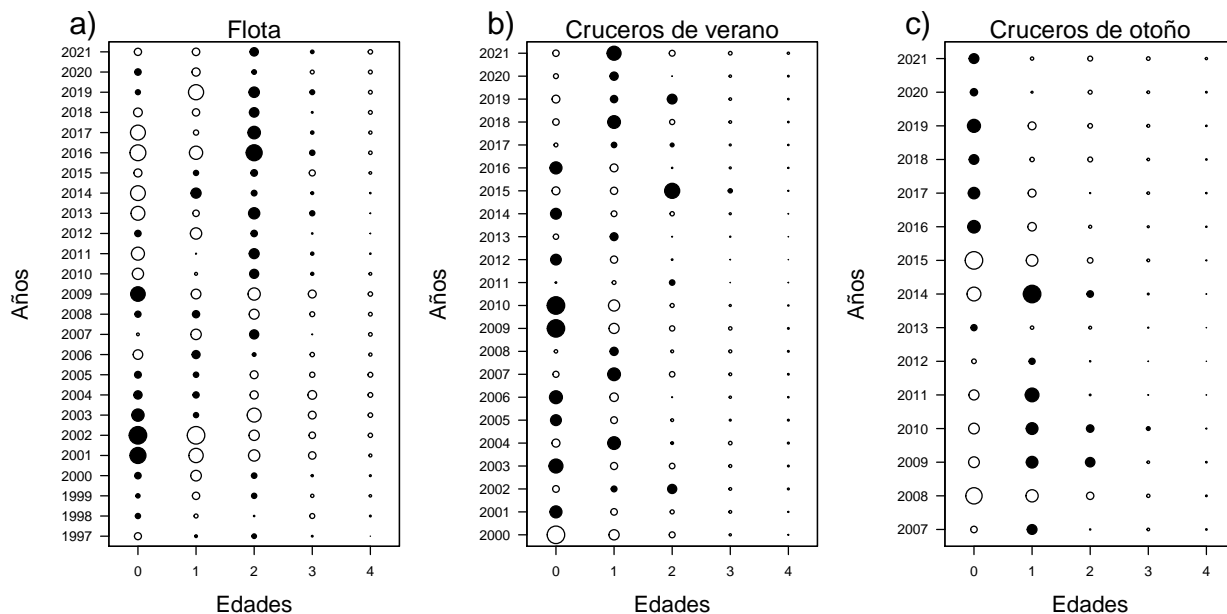


Figura 26. Residuales del modelo base actual a las composiciones de edades de la flota y cruceros. Subestimaciones (círculos negros) y sobreestimaciones (circulo blanco), donde el tamaño corresponde a la magnitud relativa de error por edad.

Análisis retrospectivo

En la **Figura 27** se muestra el patrón retrospectivo estándar y relativo de los reclutamientos, BD y F de la anchoveta en la UPCS para el modelo base actual (julio 2021). 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 del reclutamiento ($\rho = -0,03$) y de la mortalidad por pesca ($\rho = -0,04$) y un patrón de sobre-estimación de la biomasa desovante ($\rho = 0,02$). En general, las estimaciones de reclutamientos, biomasa y F para los últimos años pueden variar sustancialmente entre las sucesivas actualizaciones, mientras que en los primeros años tienden a converger a valores estables. No obstante, el modelo presenta una baja varianza estadística, lo que se traduce en una menor incertidumbre, generando estimaciones más confiables para medidas de manejo.

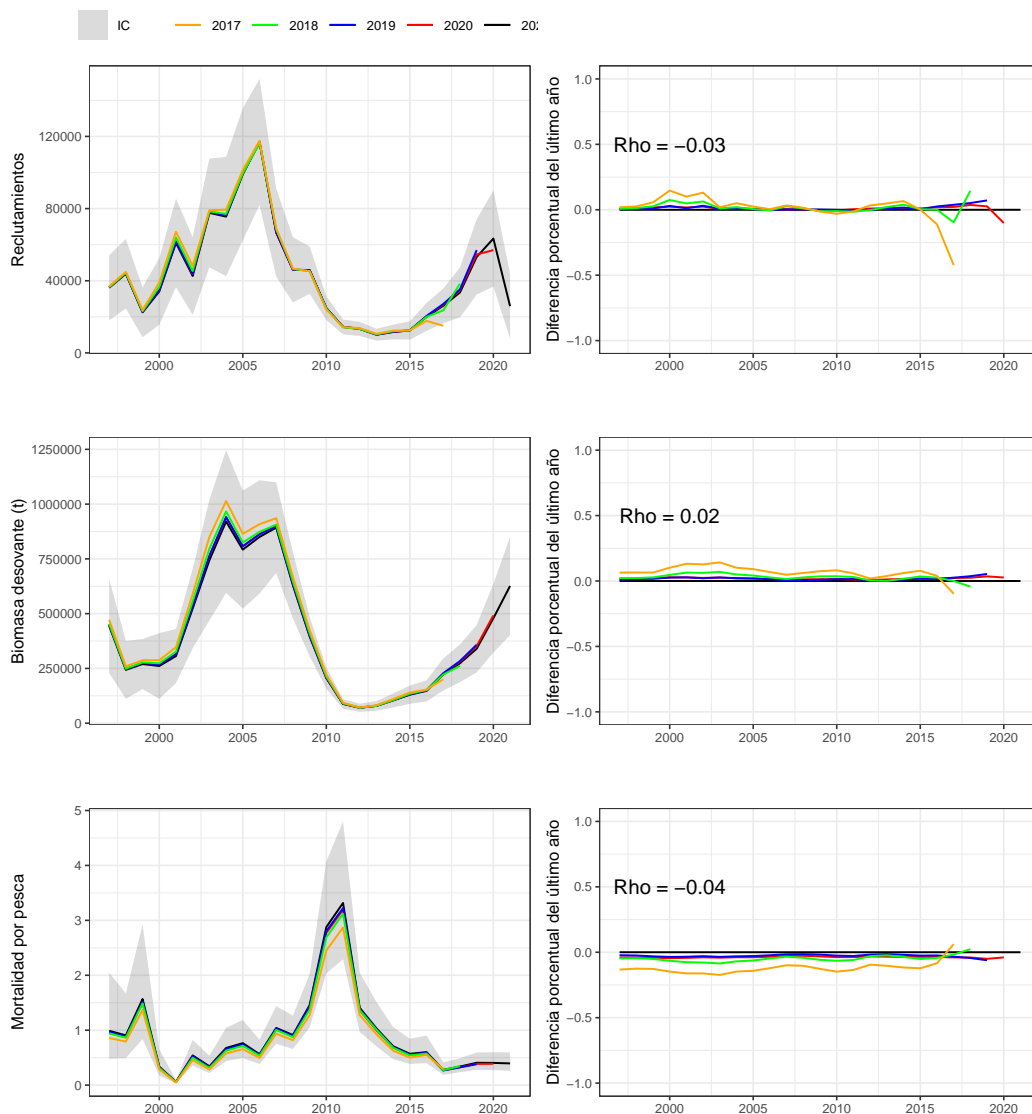


Figura 27. Patrón retrospectivo estándar (panel izquierdo) y relativo (panel derecho) de los reclutamientos, biomasa desovante y de la mortalidad por pesca de anchoveta centro-sur para el modelo base actual.

Perfiles de verosimilitud

La **Figura 28** muestra el perfil de verosimilitud 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. 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 $\chi^2=1,92$ fue la proporción de edad de la flota (propF).

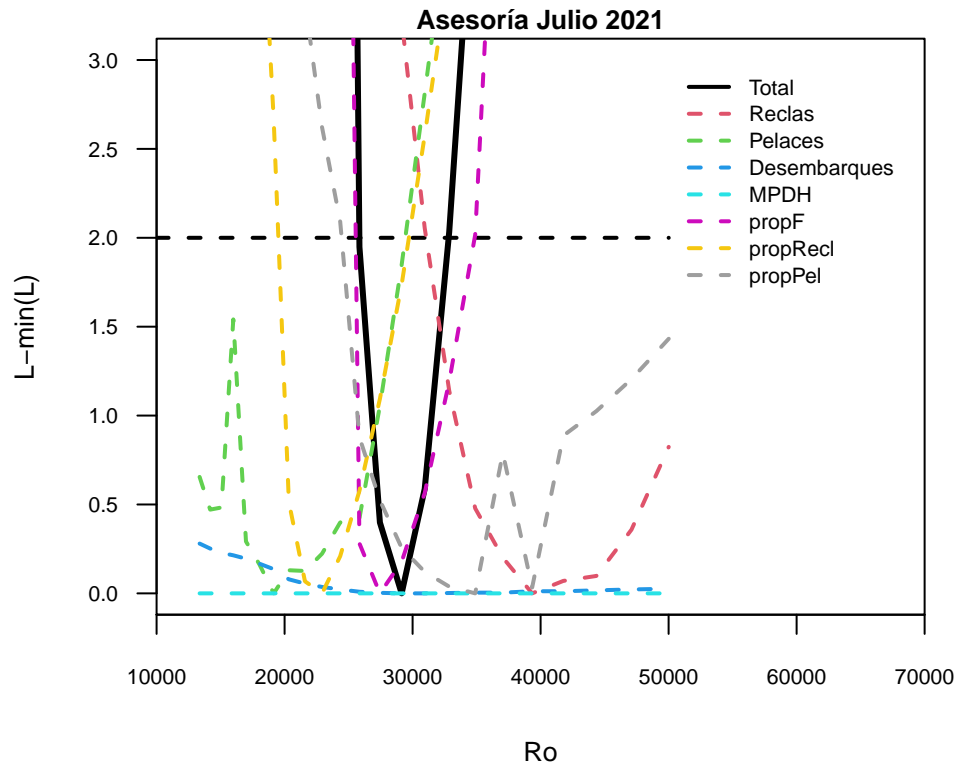


Figura 28. Perfiles de verosimilitud donde la línea horizontal representa el nivel crítico para el test χ^2 .



4.2. Objetivo específico 2:

“Establecer el estatus actualizado de anchoveta, 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. Tendencias poblacionales

La **Figura 29** y la **Tabla 17** muestran los cambios que ha experimentado anchoveta en sus tendencias poblacionales en un período de 25 años (1996/97 - 2020/21). El análisis respecto a la media histórica de los indicadores de estado y flujo ($R_{\text{promedio}} = 43$ mil millones de peces, $BT_{\text{promedio}} = 777$ mil t, $BD_{\text{promedio}} = 401$ mil t, $F_{\text{mediana}} = 0,68$) permite identificar claramente dos ciclos con altos y bajos niveles de abundancia de una duración de 10 años aprox. El período de altos niveles de abundancia de anchoveta se registra desde el año 2002/03 hasta el año 2008/09 con valores sobre el promedio histórico ($R_{\text{alto}} = 75$ mil millones de peces, $BT_{\text{alto}} = 1,45$ millones de t, $BD_{\text{alto}} = 746$ mil t). Los niveles bajo el promedio histórico se registran desde el año 2009/10 hasta el 2017/18 ($R_{\text{bajo}} = 18$ mil millones de peces, $BT_{\text{bajo}} = 280$ mil t., $BD_{\text{bajo}} = 147$ mil t).

Los mayores niveles de mortalidad por pesca se registraron durante el período de baja abundancia ($F > F_{\text{mediana}}$) debido a los bajos rendimientos. A partir del año 2015/16, se observa el inicio de un nuevo ciclo con tendencia positiva generada por la fuerza de la clase anual reclutada que se incorpora a la población y a los bajos niveles de mortalidad por pesca ($F < F_{\text{mediana}}$). El incremento de los reclutamientos 2018/19 y 2019/20, la disminución de la mortalidad por pesca 2/3 por debajo de M ($M=0,7 \text{ año}^{-1}$) y el incremento de la biomasa total y desovante 2019/20 permiten la recuperación de anchoveta centro-sur para los dos últimos años de la serie.

La selectividad de la flota indica que anchoveta es próximo a su completo reclutamiento a la pesquería a la edad de 2 años cuya retención es del orden del 98 %, mientras que los individuos de edad 0 y 1 son vulnerados en un 10 % y 68 % respectivamente. Respecto a la selectividad de los cruceros acústicos, en enero el arte de pesca selecciona el 74 % de peces de edad 0 y 100 % de peces de edad 1 y en mayo se selecciona un 74 % de peces de edad 0 y 100 % de peces de edad 1 (**Figura 30**).

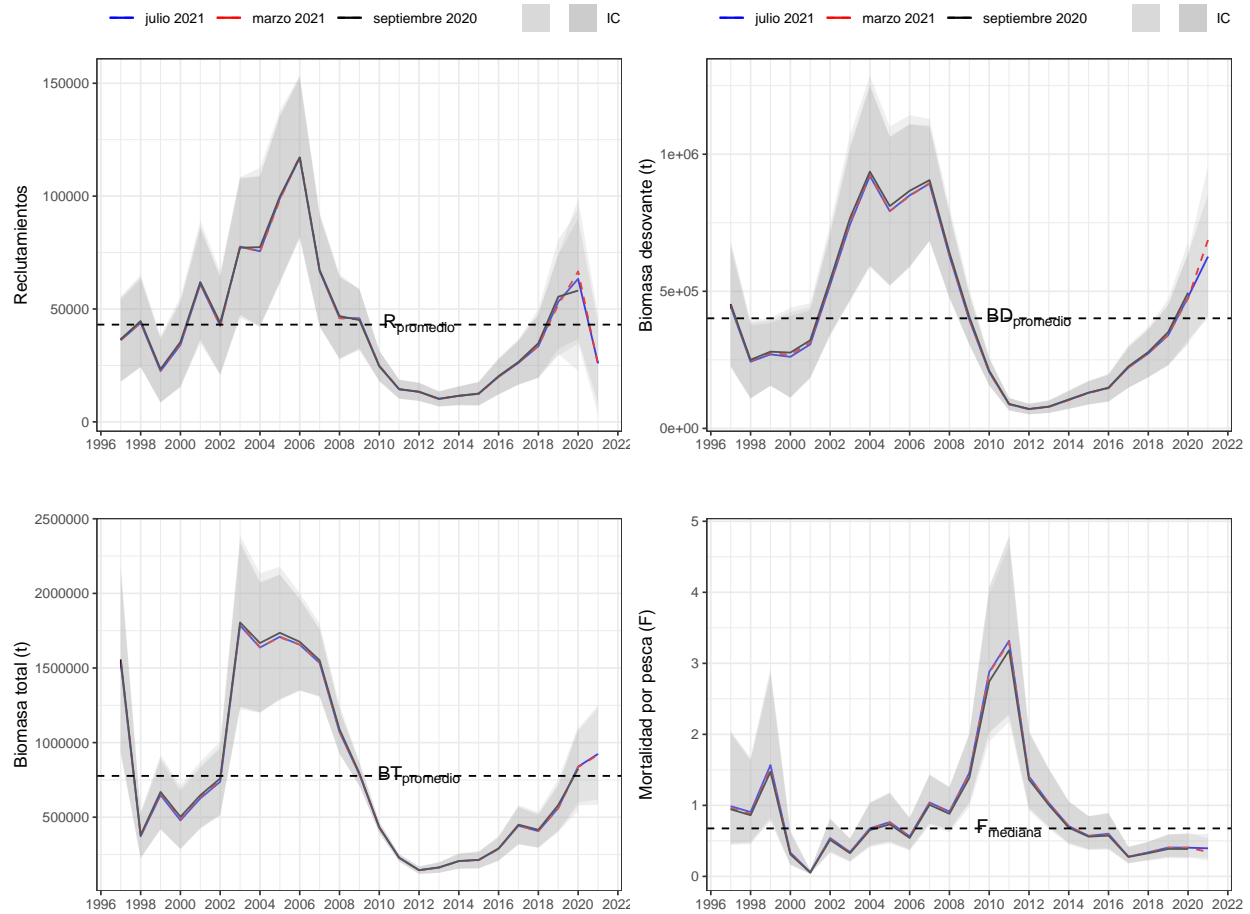
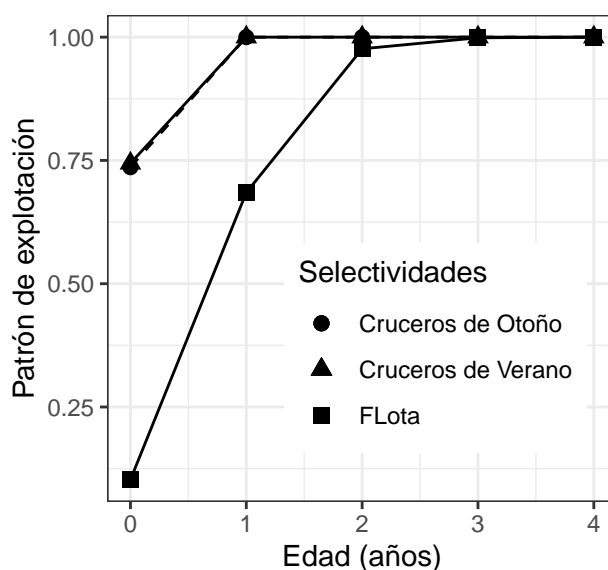


Figura 29. Estimaciones medias de los reclutamientos, biomasa total, biomasa desovante y mortalidad por pesca y su respectivo Intervalo de Confianza (IC). Las línea segmentada corresponde al promedio y mediana de la serie respectiva.

**Tabla 17.** Variables poblacionales estimadas en la evaluación de septiembre 2020, marzo y julio 2021 de anchoveta de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos.

| Año | BD_{sept} | BD_{mar} | BD_{jul} | BT_{sept} | BT_{mar} | BT_{jul} | R_{sept} | R_{mar} | R_{jul} | F_{sept} | F_{mar} | F_{jul} |
|---------|-------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
| 1996/97 | 453.760 | 449.330 | 443.792 | 1.557.700 | 1.544.300 | 1.532.630 | 36.643 | 36.327 | 36.114 | 0,945 | 0,963 | 0,989 |
| 1997/98 | 250.220 | 246.830 | 243.421 | 380.750 | 376.310 | 372.225 | 44.651 | 44.137 | 43.856 | 0,862 | 0,882 | 0,906 |
| 1998/99 | 279.850 | 274.410 | 269.947 | 669.670 | 659.290 | 648.361 | 23.370 | 22.999 | 22.500 | 1,472 | 1,520 | 1,567 |
| 1999/00 | 276.440 | 268.420 | 261.093 | 502.520 | 489.730 | 478.819 | 35.358 | 34.607 | 34.070 | 0,31 | 0,322 | 0,335 |
| 2000/01 | 321.480 | 313.470 | 306.495 | 647.350 | 637.170 | 626.269 | 61.911 | 61.647 | 60.974 | 0,054 | 0,056 | 0,058 |
| 2001/02 | 540.380 | 532.230 | 523.559 | 759.600 | 746.790 | 737.871 | 43.864 | 42.404 | 42.663 | 0,515 | 0,527 | 0,54 |
| 2002/03 | 767.190 | 751.530 | 744.117 | 1.805.300 | 1.794.500 | 1.785.330 | 77.144 | 77.704 | 77.627 | 0,327 | 0,336 | 0,342 |
| 2003/04 | 936.650 | 925.060 | 920.598 | 1.667.000 | 1.640.700 | 1.637.000 | 77.383 | 75.394 | 75.553 | 0,652 | 0,666 | 0,676 |
| 2004/05 | 810.880 | 792.710 | 792.302 | 1.735.700 | 1.704.800 | 1.709.420 | 99.828 | 98.343 | 98.997 | 0,733 | 0,756 | 0,764 |
| 2005/06 | 866.660 | 847.350 | 850.165 | 1.675.600 | 1.657.200 | 1.656.100 | 117.200 | 117.750 | 116.943 | 0,542 | 0,559 | 0,563 |
| 2006/07 | 905.580 | 894.650 | 892.636 | 1.551.300 | 1.539.100 | 1.533.900 | 67.306 | 67.258 | 66.687 | 1,008 | 1,030 | 1,041 |
| 2007/08 | 641.420 | 633.110 | 629.190 | 1.089.100 | 1.074.100 | 1.071.210 | 46.859 | 45.869 | 46.064 | 0,881 | 0,899 | 0,912 |
| 2008/09 | 407.330 | 397.670 | 395.986 | 795.160 | 786.660 | 787.690 | 45.117 | 45.408 | 45.877 | 1,388 | 1,436 | 1,457 |
| 2009/10 | 210.310 | 204.780 | 205.889 | 433.410 | 429.780 | 430.634 | 24.575 | 24.924 | 24.814 | 2,744 | 2,865 | 2,878 |
| 2010/11 | 89.235 | 87.492 | 87.969 | 228.700 | 227.210 | 227.531 | 14.467 | 14.507 | 14.434 | 3,185 | 3,295 | 3,317 |
| 2011/12 | 70.979 | 70.070 | 70.406 | 145.380 | 144.100 | 144.770 | 13.330 | 13.250 | 13.317 | 1,364 | 1,398 | 1,408 |
| 2012/13 | 79.514 | 78.341 | 78.959 | 163.950 | 161.480 | 162.233 | 10.277 | 10.083 | 10.087 | 1,005 | 1,030 | 1,033 |
| 2013/14 | 105.350 | 103.220 | 103.902 | 206.620 | 204.780 | 205.737 | 11.484 | 11.559 | 11.583 | 0,686 | 0,706 | 0,708 |
| 2014/15 | 130.490 | 129.170 | 129.992 | 214.120 | 211.870 | 213.265 | 12.539 | 12.369 | 12.468 | 0,560 | 0,569 | 0,57 |
| 2015/16 | 148.550 | 146.480 | 147.467 | 290.990 | 286.960 | 288.424 | 20.268 | 19.948 | 19.956 | 0,574 | 0,587 | 0,601 |
| 2016/17 | 225.790 | 221.930 | 222.044 | 450.090 | 444.140 | 442.739 | 26.548 | 26.318 | 26.122 | 0,274 | 0,281 | 0,278 |
| 2017/18 | 278.450 | 274.050 | 273.533 | 415.500 | 407.650 | 406.733 | 34.824 | 33.685 | 33.514 | 0,326 | 0,334 | 0,338 |
| 2018/19 | 351.370 | 340.830 | 339.853 | 581.470 | 558.780 | 561.985 | 55.430 | 51.784 | 53.182 | 0,387 | 0,402 | 0,407 |
| 2019/20 | 495.110 | 473.920 | 479.011 | 824.040 | 835.630 | 838.744 | 58.165 | 66.653 | 63.379 | 0,385 | 0,405 | 0,404 |
| 2020/21 | NA | 686.790 | 626.493 | NA | 918.000 | 923.891 | NA | 25.359 | 25.914 | NA | 0,345 | 0,395 |

**Figura 30.** Patrón de explotación o selectividad de la flota y de los cruceros acústicos de anchoveta de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos.



4.2.2. Puntos Biológicos de Referencia (PBRs)

En la **Tabla 18** y **Figura 31** se presentan los valores calculados de F_{RMS} , BD_{RMS} y BD_{LIM} recomendados por el Comité Científico Técnico 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). En relación al cálculo de BD_0 , en la sesión de agosto 2020 del CCT-PP se revisó los datos utilizados en la estimación de los Puntos Biológicos de Referencia (PBR) dado que el cambio del modelo de año calendario a año biológico provoca un acortamiento en la serie utilizada para la estimación de BD_0 de 19 a 12 años y considerando que la anchoveta cierra su ciclo decreciente iniciado el 2009, el cual en su oportunidad determinó su exclusión del cálculo de BD_0 a la hora de aplicar la metodología descrita en el taller de PBR (Payá *et al.* 2014), considerándose un caso excepcional. Conforme a lo anterior, el CCT-PP establece que para efectos de la determinación del estatus y CBA 2021, se utilice la serie completa de datos para el cálculo de BD_0 . De esta manera se aplica íntegramente la metodología recomendada y se estandariza con lo aplicado en sardina común (Acta Sesión N° 5 20-21/08/2020⁸).

Los pasos para el cálculo de BD_0 , BD_{RMS} y BD_{LIM} se describe en la **Tabla 18**. Este procedimiento busca encontrar un balance entre la serie histórica de las BD y de F a partir del cálculo de $BD_{promedio}$ y F_{mh} . Al respecto, la **Figura 31** muestra las series de Biomasa desovante y mortalidad por pesca junto a los PBRs calculados, donde se observa que en el período de menores niveles de BD se registraron los mayores niveles de F. Cuando los niveles de BD incrementan las Fs son bajas. Según Patterson (1992), para que el valor de F_{mh} fuera sostenible las biomásas deberían ser estables o crecientes y el nivel de F encontrarse bajo 2/3 de M. Respecto a la mortalidad por pesca al RMS, el Comité Científico Técnico de Pequeños Pelágicos recomendó considerar un F_{RMS} precautorio ($F_{60\%BDPR}$, **Figura 32**) debido a su condición de pesquería mixta junto a sardina común y por su rol ecosistémico, considerado clave para otros eslabones de la trama trófica.

Tabla 18. Puntos biológicos de referencia de biomasa (miles t) estimados en la evaluación de stock de septiembre 2020, marzo y julio 2021 para anchoveta de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos, calculados siguiendo los pasos descritos en la metodología de este informe.

| Etapas | Cálculo | Aproximación | Septiembre | Marzo | Julio |
|--------|--|-------------------|------------|-----------|-----------|
| Paso 1 | Promedio de la serie histórica entre 1997-2020 de la evaluación de stock | $BD_{promedio}$ | 402 mil t | 406 mil t | 402 mil t |
| | Mediana de la serie histórica entre 1997-2020 de la evaluación de stock | F_{mh} | 0,67 | 0,67 | 0,68 |
| Paso 2 | Cálculo de la curva de biomasa por recluta (BDPR) | $\%BDPR(F_{mh})$ | 50,3 % | 50,4 % | 50,4 % |
| | | $\%BDPR(F_{RMS})$ | 60 % | 60 % | 60 % |
| Paso 3 | $\%BDPR(F_{mh}) - 5\%$ | $\%BD(F_{mh})$ | 45,3 % | 45,4 % | 45,4 % |
| | $\%BDPR(F_{RMS}) - 5\%$ | $\%BD(F_{RMS})$ | 55 % | 55 % | 55 % |
| Paso 4 | $BD_0 = BD_{promedio} / \%BD_{F_{mh}}$ | BD_0 | 878 mil t | 886 mil t | 879 mil t |
| Paso 5 | $BD_{RMS} = BD_0 * \%BD(F_{RMS})$ | $BD_{55\%}$ | 483 mil t | 487 mil t | 484 mil t |
| Paso 6 | $BD_{LIM} = BD_0 * \%BD(F_{LIM})$ | $BD_{27,5\%}$ | 241 mil t | 244 mil t | 242 mil t |

⁸http://www.subpesca.cl/portal/616/articles-108563_documento.pdf

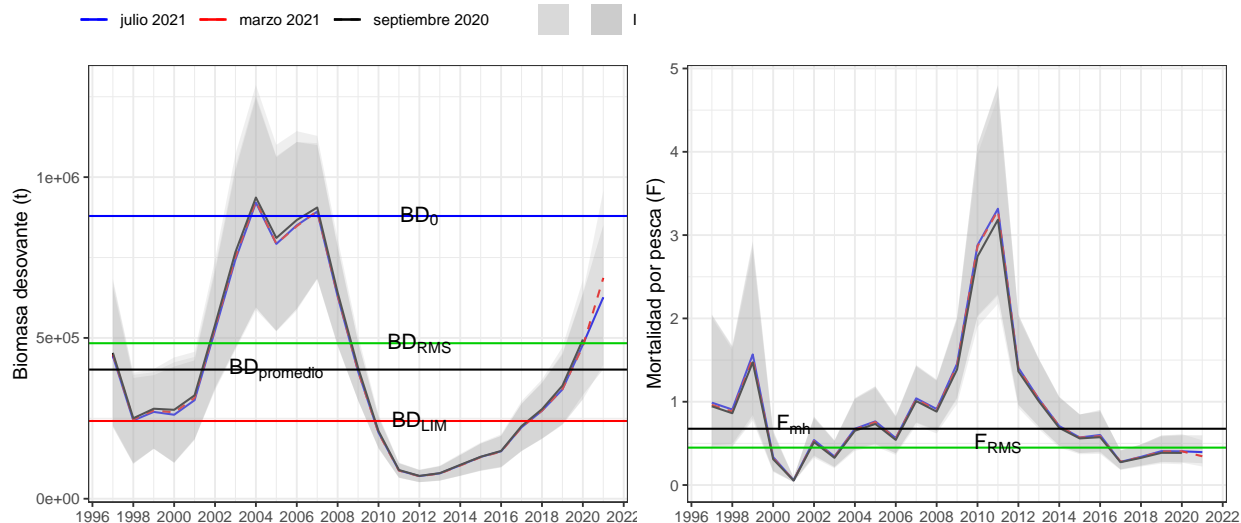


Figura 31. Series de Biomasa desovante y mortalidad por pesca junto a los PBRs calculados a partir de la BD promedio y mediana de F (F_{mh}) para el período 1997-2021.

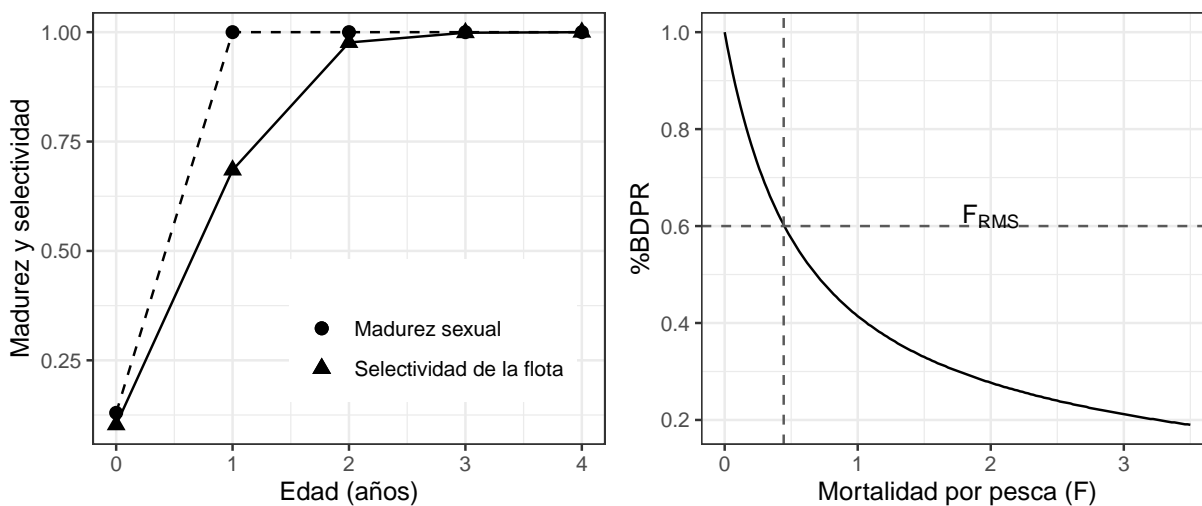


Figura 32. Madurez, selectividad (Panel izquierdo) y Curva de Biomasa por Recluta (%BDPR) (Panel derecho), utilizados en los cálculos de F_{RMS} .

4.2.3. Estado de explotación

Los resultados de este estudio muestran que entre los años 1996/97 y 2000/01 el stock de anchoveta centro-sur se encontraba sobre-explotado con biomásas por debajo del objetivo de manejo ($BD < BD_{RMS}$). A partir del 2001/02 se incrementan los niveles de biomasa desovante, permitiendo que el stock transite y se mantenga en una condición de plena-explotación hasta el 2007/08. No obstante, los niveles de reclutamiento para el año 2008 se reducen drásticamente generando niveles de biomasa desovante por debajo del promedio histórico para el 2008/09. Debido a la falla en los reclutamientos, desde el año 2009/10 la anchoveta de la zona centro-sur cambia drásticamente su estatus a una condición de agotamiento y/o colapso, manteniéndose en esa condición durante 8 años (2009/10 al 2016/17). A partir del año 2017/18 se manifiesta una recuperación del stock, transitando de la zona de colapso a la zona de sobre-explotación los años 2017/18 y 2018/19 y de plena-explotación el 2019/20 y 2020/21. En términos de los niveles de mortalidad por pesca ($Ft \text{ año}^{-1}$), en general, se ha mantenido históricamente por sobre el nivel objetivo de referencia F_{RMS} , no obstante, a partir del año 2016/17, los niveles de Ft estuvieron bajo el objetivo de manejo (Figura 33 y Tabla 19).

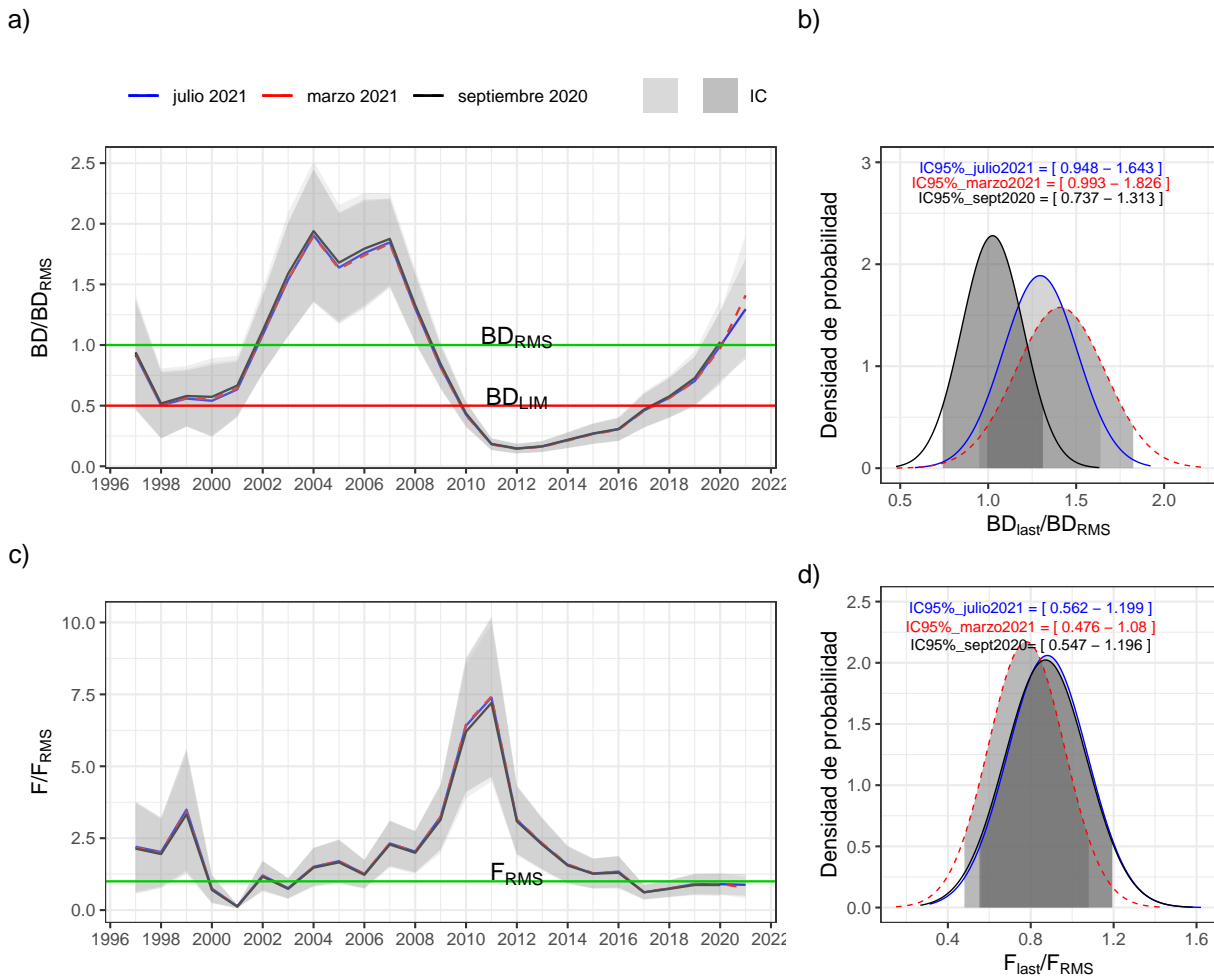


Figura 33. a) Razón BD/BD_{RMS} , b) la distribución de probabilidad de BD_{last}/BD_{RMS} , c) razón F/F_{RMS} y d) la distribución de probabilidad F_{last}/F_{RMS}



Tabla 19. Comparación de los índices de reducción de F respecto de F_{RMS} (F/F_{RMS}), BD respecto de BD_{RMS} (BD/BD_{RMS}) estimados en la asesoría de septiembre 2020, marzo y julio 2021 de anchoveta de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos.

| Año | $F/F_{RMS_{sept}}$ | $F/F_{RMS_{mar}}$ | $F/F_{RMS_{jul}}$ | $BD/BD_{RMS_{sept}}$ | $BD/BD_{RMS_{mar}}$ | $BD/BD_{RMS_{jul}}$ |
|---------|--------------------|-------------------|-------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| 1996/97 | 2,137 | 2,170 | 2,203 | 0,940 | 0,922 | 0,918 |
| 1997/98 | 1,949 | 1,988 | 2,019 | 0,518 | 0,507 | 0,503 |
| 1998/99 | 3,330 | 3,426 | 3,492 | 0,580 | 0,563 | 0,558 |
| 1999/00 | 0,701 | 0,726 | 0,747 | 0,572 | 0,551 | 0,540 |
| 2000/01 | 0,122 | 0,126 | 0,129 | 0,666 | 0,643 | 0,634 |
| 2001/02 | 1,164 | 1,187 | 1,204 | 1,119 | 1,092 | 1,083 |
| 2002/03 | 0,738 | 0,758 | 0,763 | 1,589 | 1,542 | 1,539 |
| 2003/04 | 1,474 | 1,502 | 1,506 | 1,940 | 1,899 | 1,904 |
| 2004/05 | 1,658 | 1,705 | 1,703 | 1,679 | 1,627 | 1,639 |
| 2005/06 | 1,226 | 1,261 | 1,255 | 1,795 | 1,739 | 1,758 |
| 2006/07 | 2,279 | 2,321 | 2,319 | 1,875 | 1,836 | 1,846 |
| 2007/08 | 1,993 | 2,028 | 2,033 | 1,328 | 1,299 | 1,301 |
| 2008/09 | 3,140 | 3,238 | 3,246 | 0,844 | 0,816 | 0,819 |
| 2009/10 | 6,205 | 6,458 | 6,412 | 0,436 | 0,420 | 0,426 |
| 2010/11 | 7,202 | 7,429 | 7,39 | 0,185 | 0,180 | 0,182 |
| 2011/12 | 3,084 | 3,152 | 3,136 | 0,147 | 0,144 | 0,146 |
| 2012/13 | 2,273 | 2,322 | 2,302 | 0,165 | 0,161 | 0,163 |
| 2013/14 | 1,551 | 1,592 | 1,577 | 0,218 | 0,212 | 0,215 |
| 2014/15 | 1,265 | 1,284 | 1,271 | 0,270 | 0,265 | 0,269 |
| 2015/16 | 1,299 | 1,323 | 1,339 | 0,308 | 0,301 | 0,305 |
| 2016/17 | 0,619 | 0,633 | 0,619 | 0,468 | 0,455 | 0,459 |
| 2017/18 | 0,738 | 0,752 | 0,754 | 0,577 | 0,562 | 0,566 |
| 2018/19 | 0,874 | 0,906 | 0,906 | 0,728 | 0,700 | 0,703 |
| 2019/20 | 0,872 | 0,913 | 0,901 | 1,025 | 0,973 | 0,991 |
| 2020/21 | NA | 0,778 | 0,880 | NA | 1,41 | 1,296 |



Tabla 20. Comparación de las tasas de explotación anual referidos a la biomasa (Y/BT) y a la abundancia estimada ($C\#/N\#$), estimadas en la evaluación de septiembre 2020, marzo y julio 2021 de anchoveta de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos.

| Año | Y/BT_{sept} | Y/BT_{mar} | Y/BT_{jul} | C/N_{sept} | C/N_{mar} | C/N_{jul} |
|---------|---------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| 1996/97 | 0,225 | 0,227 | 0,229 | 0,162 | 0,163 | 0,164 |
| 1997/98 | 0,204 | 0,206 | 0,209 | 0,154 | 0,155 | 0,156 |
| 1998/99 | 0,660 | 0,671 | 0,682 | 0,317 | 0,322 | 0,327 |
| 1999/00 | 0,112 | 0,115 | 0,118 | 0,062 | 0,063 | 0,064 |
| 2000/01 | 0,022 | 0,023 | 0,023 | 0,011 | 0,011 | 0,011 |
| 2001/02 | 0,310 | 0,315 | 0,319 | 0,136 | 0,139 | 0,14 |
| 2002/03 | 0,150 | 0,150 | 0,151 | 0,07 | 0,07 | 0,07 |
| 2003/04 | 0,216 | 0,219 | 0,220 | 0,144 | 0,147 | 0,147 |
| 2004/05 | 0,249 | 0,253 | 0,253 | 0,145 | 0,148 | 0,147 |
| 2005/06 | 0,196 | 0,198 | 0,199 | 0,111 | 0,112 | 0,112 |
| 2006/07 | 0,412 | 0,415 | 0,417 | 0,248 | 0,250 | 0,25 |
| 2007/08 | 0,378 | 0,383 | 0,384 | 0,221 | 0,225 | 0,224 |
| 2008/09 | 0,456 | 0,461 | 0,461 | 0,273 | 0,275 | 0,273 |
| 2009/10 | 0,719 | 0,725 | 0,724 | 0,444 | 0,447 | 0,446 |
| 2010/11 | 0,733 | 0,738 | 0,737 | 0,433 | 0,436 | 0,435 |
| 2011/12 | 0,459 | 0,463 | 0,461 | 0,211 | 0,212 | 0,211 |
| 2012/13 | 0,368 | 0,373 | 0,371 | 0,200 | 0,203 | 0,202 |
| 2013/14 | 0,284 | 0,287 | 0,286 | 0,139 | 0,140 | 0,139 |
| 2014/15 | 0,267 | 0,270 | 0,268 | 0,120 | 0,121 | 0,120 |
| 2015/16 | 0,247 | 0,250 | 0,254 | 0,107 | 0,108 | 0,109 |
| 2016/17 | 0,115 | 0,117 | 0,115 | 0,057 | 0,058 | 0,057 |
| 2017/18 | 0,162 | 0,165 | 0,166 | 0,071 | 0,073 | 0,073 |
| 2018/19 | 0,238 | 0,248 | 0,247 | 0,077 | 0,081 | 0,08 |
| 2019/20 | 0,195 | 0,192 | 0,191 | 0,089 | 0,085 | 0,086 |
| 2020/21 | NA | 0,218 | 0,227 | NA | 0,117 | 0,13 |

Respecto a la condición actual de anchoveta centro-sur, los resultados de este estudio indican una recuperación del estatus generada por el incremento de los reclutamientos 2018/19 y 2019/20, la disminución de la mortalidad por pesca por debajo del objetivo de manejo ($F < F_{RMS}$) y 2/3 por debajo de M ($M=0,7 \text{ año}^{-1}$) y el incremento de la biomasa total y desovante 2019/20 y 2020/21. Por lo tanto, anchoveta centro-sur se encuentra en una condición de plena-explotación con una baja probabilidad de sobre-explotación (3 %) y de sobrepesca (13 %) (**Figura 34 y Tabla 21**).

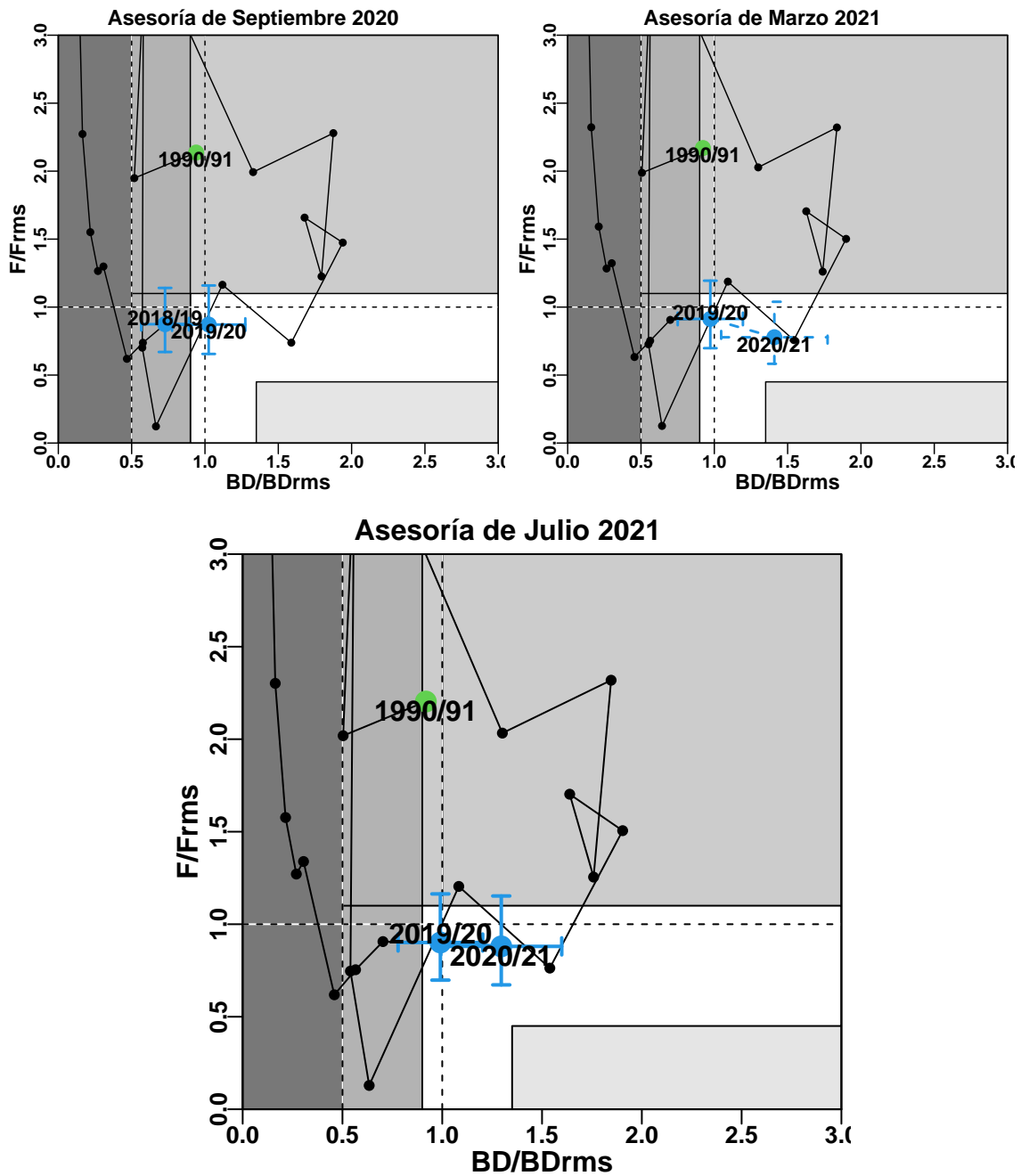


Figura 34. Diagrama de fases de explotación de la biomasa desovante respecto de la mortalidad por pesca de la asesoría de septiembre 2020, marzo 2021 (panel superior) y julio 2021 (panel inferior). Los ejes están estandarizados a los valores que generan el RMS proxy. Cruz azul corresponde a los intervalos 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 21. Puntos Biológicos de referencia (PBRs) y probabilidades de estar bajo BD_{RMS} y sobre F_{RMS} y en sobreexplotación, colapsado o sobrepesca.

| | Septiembre 2020 | Marzo 2021 | Julio 2021 |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Año biológico | 2019/20 | 2020/21 | 2020/21 |
| F_{RMS} | 0,44 año ¹ | 0,44 año ¹ | 0,45 año ¹ |
| BD_{RMS} | 483 mil t | 487 mil t | 484 mil t |
| BD_{LIM} | 241 mil t | 244 mil t | 242 mil t |
| $p(BD_{last} < BD_{RMS})$ | 0,44 | 0,05 | 0,08 |
| $p(F_{last} > F_{RMS})$ | 0,26 | 0,11 | 0,27 |
| $p(sobre - explotación)$ | 0,24 | 0,02 | 0,03 |
| $p(agotado/colapsado)$ | 0 | 0 | 0 |
| $p(sobrepesca)$ | 0,12 | 0,04 | 0,13 |

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

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.”

4.3.1. Captura biológicamente aceptable (CBA)

CBA 2021 inicial (Asesoría de septiembre 2020)

Para el cálculo de la CBA inicial 2021 se proyectó el stock dos años biológicos hacia el futuro (julio2020 - junio2021 y julio2021 - junio2022) en base a tres escenarios de reclutamiento: a) un escenario que considera un período favorable entre los años 1997-2009 (59,7 mil millones de ind.). b) un escenario que consiste en el reclutamiento medio histórico de la serie (44,1 mil millones de ind.), c) un escenario que considera el período desfavorable y baja productividad de anchoveta a partir del año 2010 a la fecha (25,6 mil millones de ind.) (Figura 35).

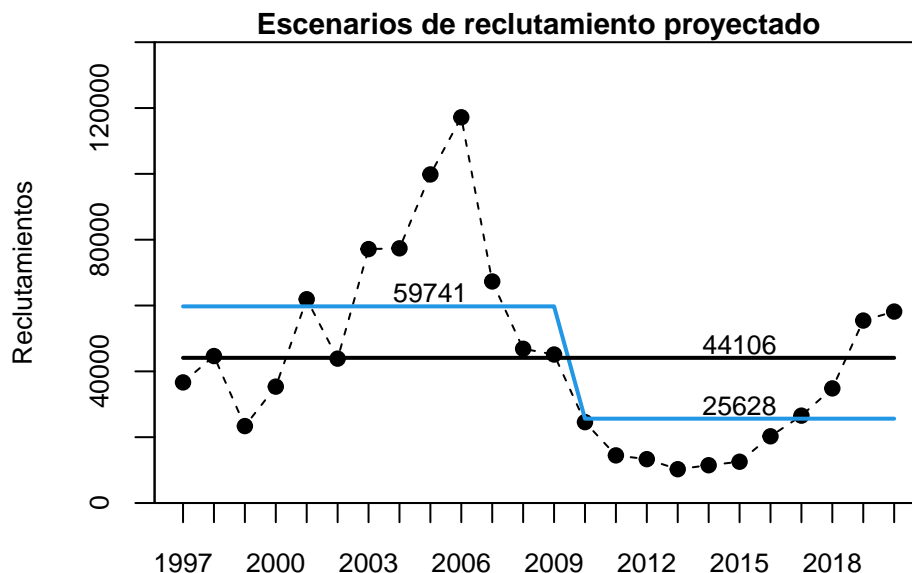


Figura 35. Escenarios de reclutamiento proyectado de anchoveta centro-sur para la asesoría de septiembre 2020.

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 F60 %SPR, sujeto a percentiles de probabilidad entre el 10 % y 50 %.

La **Tabla 22** muestra los rangos de capturas para el año 2021 estimada bajo un escenario de $R_{prom}(1997-2009)$ podría situarse entre 189,6 mil t y 255 mil t y bajo un escenario de reclutamiento histórico entre 175,7 mil t y 241 mil t y bajo un escenario de $R_{prom}(2010-2020)$ entre 159 mil t y 225 mil t. Para evaluar el efecto que tiene la decisión de la CBA en base a los percentiles de probabilidad de sobrepasar el objetivo de manejo (10 %-50 %), se calculó el resguardo de la captura al RMS a lo cual equivale cada percentil (**Tabla**



23). Esos niveles variaron entre un 5 % - 26 % en promedio, considerando un percentil de probabilidad del 40 % - 10 % para los tres escenarios de reclutamiento. En la sexta sesión del CCT-PP 2020 (Acta de Sesión N°6, octubre 2020 ⁹.) se recomienda una CBA máxima 2021 de 210.167 toneladas correspondiente al escenario de reclutamiento promedio histórico (1997-2020), 30 % de percentil de captura (equivalente a un 11 % resguardo) y el descuento del 2 % de descarte (**Tabla 24**).

Tabla 22. CBA inicial 2021 de anchoveta centro-sur bajo $F_{cte} = F_{RMS}$ con sus respectivos percentiles de probabilidad entre 10 % y 50 % y tres escenarios de reclutamiento.

| | $R_{1997-2009}$ | $R_{histórico}$ | $R_{2010-2020}$ |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|
| mean | 255.100 | 241.310 | 225.010 |
| std | 51.141 | 51.209 | 51.386 |
| 10 % | 189.560 | 175.683 | 159.156 |
| 20 % | 212.059 | 198.211 | 181.762 |
| 30 % | 228.282 | 214.456 | 198.063 |
| 40 % | 242.144 | 228.336 | 211.992 |
| 50 % | 255.100 | 241.310 | 225.010 |

Tabla 23. Resguardo de la Captura al RMS.

| | $R_{1997-2009}$ | $R_{histórico}$ | $R_{2010-2020}$ |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 10 % | 0,26 | 0,27 | 0,29 |
| 20 % | 0,17 | 0,18 | 0,19 |
| 30 % | 0,11 | 0,11 | 0,12 |
| 40 % | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| 50 % | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Tabla 24. CBA 2021 menos el 2 %descarte. *CBA máxima recomendada por el CCT-PP = 210.167 t.

| | $R_{1997-2009}$ | $R_{histórico}$ | $R_{2010-2020}$ |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 10 % | 185.769 | 172.169 | 155.973 |
| 20 % | 207.817 | 194.247 | 178.127 |
| 30 % | 223.716 | 210.167* | 194.102 |
| 40 % | 237.301 | 223.770 | 207.752 |
| 50 % | 249.998 | 236.484 | 220.510 |

⁹http://www.subpesca.cl/portal/616/articles-107809_documento.pdf

Primera revisión CBA 2021 (Asesoría de marzo 2021)

Para el cálculo de la CBA 2021 se proyectó el stock 1 año biológico hacia el futuro (julio2021 - junio2022) en base a tres escenarios de reclutamiento: a) un escenario que considera un período favorable entre los años 1997-2009 (59,2 mil millones de ind.). b) un escenario que consiste en el reclutamiento medio histórico de la serie (43,2 mil millones de ind.), c) un escenario que considera el período desfavorable y baja productividad de anchoveta a partir del año 2010 a la fecha (25,9 mil millones de ind.) (**Figura 36**).

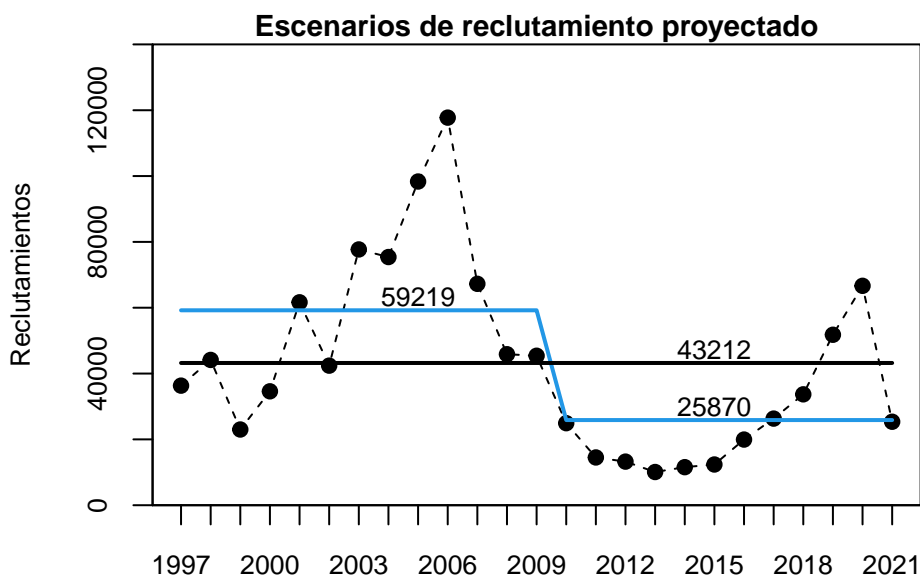


Figura 36. Escenarios de reclutamiento proyectado de anchoveta centro-sur para la asesoría de marzo 2021.

El cálculo de la primera revisión de la CBA 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 25** muestra los rangos de capturas para el año 2021 estimada bajo un escenario de $R_{prom}(1997-2009)$ podría situarse entre 185,3 mil t y 205,4 mil t y bajo un escenario de reclutamiento histórico entre 184,2 mil t y 204,3 mil t y bajo un escenario de $R_{prom}(2010-2021)$ entre 183,7 mil t y 202,9 mil t. Para evaluar el efecto que tiene la decisión de la CBA en base a los percentiles de probabilidad de sobrepasar el objetivo de manejo (10 %-50 %), se calculó el resguardo de la captura al RMS a lo cual equivale cada percentil (**Tabla 26**). Esos niveles variaron entre un 2 % - 10 % en promedio, considerando un percentil de probabilidad del 40 % - 10 % para los tres escenarios de reclutamiento.

En la primera sesión del CCT-PP 2021 (febrero 2021) se acordó utilizar un 2 % de descarte para el supuesto de descarte proyectado de anchoveta centro-sur, en base a esto, la **Tabla 27** muestra los rangos de captura menos el 2 % de descarte. La **Tabla 28** muestra las diferencias porcentuales entre la CBA inicial menos el 2 % de descarte y la primera revisión de CBA 2021 menos el 2 % de descarte.

En la segunda sesión del CCT-PP 2021 (Acta de Sesión N°2, marzo 2021 ¹⁰.) el Comité recomienda mantener

¹⁰http://www.subpesca.cl/portal/616/articles-107809_documento.pdf



status quo de CBA máxima 2021 de 210.167 toneladas.

Tabla 25. Primera revisión de CBA 2021 de anchoveta centro-sur bajo $F_{cte} = F_{RMS}$ con sus respectivos percentiles de probabilidad entre 10 % y 50 % y tres escenarios de reclutamiento.

| | $R_{1997-2009}$ | $R_{histórico}$ | $R_{2010-2021}$ |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|
| mean | 205.360 | 204.260 | 202.860 |
| std | 15.645 | 15.671 | 15.709 |
| 10 % | 185.310 | 184.177 | 182.728 |
| 20 % | 192.193 | 191.071 | 189.639 |
| 30 % | 197.156 | 196.042 | 194.622 |
| 40 % | 201.396 | 200.290 | 198.880 |
| 50 % | 205.360 | 204.260 | 202.860 |

Tabla 26. Resguardo de la Captura al RMS.

| | $R_{1997-2009}$ | $R_{histórico}$ | $R_{2010-2021}$ |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 10 % | 0,10 | 0,10 | 0,10 |
| 20 % | 0,06 | 0,06 | 0,07 |
| 30 % | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| 40 % | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| 50 % | 0 | 0 | 0 |

Tabla 27. CBA 2021 menos el 2 %descarte

| | $R_{1997-2009}$ | $R_{histórico}$ | $R_{2010-2020}$ |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 10 % | 181.604 | 180.493 | 179.074 |
| 20 % | 188.349 | 187.250 | 185.846 |
| 30 % | 193.213 | 192.121 | 190.730 |
| 40 % | 197.368 | 196.284 | 194.903 |
| 50 % | 201.253 | 200.175 | 198.803 |

Tabla 28. Diferencia porcentuales entre la CBA inicial menos el 2 %descarte y la primera revisión de CBA 2021 menos el 2 %descarte. $(1-(1^{ra}RevisiónCBA/CBAinicial)*100)$

| | $R_{1997-2009}$ | $R_{histórico}$ | $R_{2010-2021}$ |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 10 % | -2 % | 5 % | 15 % |
| 20 % | -9 % | -4 % | 4 % |
| 30 % | -14 % | -9 % | -2 % |
| 40 % | -17 % | -12 % | -6 % |
| 50 % | -19 % | -15 % | -10 % |

Segunda revisión CBA 2021 (Asesoría de julio 2021)

Para el cálculo de la CBA 2021 se proyectó el stock 1 año biológico hacia el futuro (julio2021 - junio2022) en base a tres escenarios de reclutamiento: a) un escenario que considera un período favorable entre los años 1997-2009 (59,1 mil millones de ind.). b) un escenario que consiste en el reclutamiento medio histórico de la serie (43,1 mil millones de ind.), c) un escenario que considera el período desfavorable y baja productividad de anchoveta a partir del año 2010 a la fecha (25,7 mil millones de ind.) (**Figura 37**).

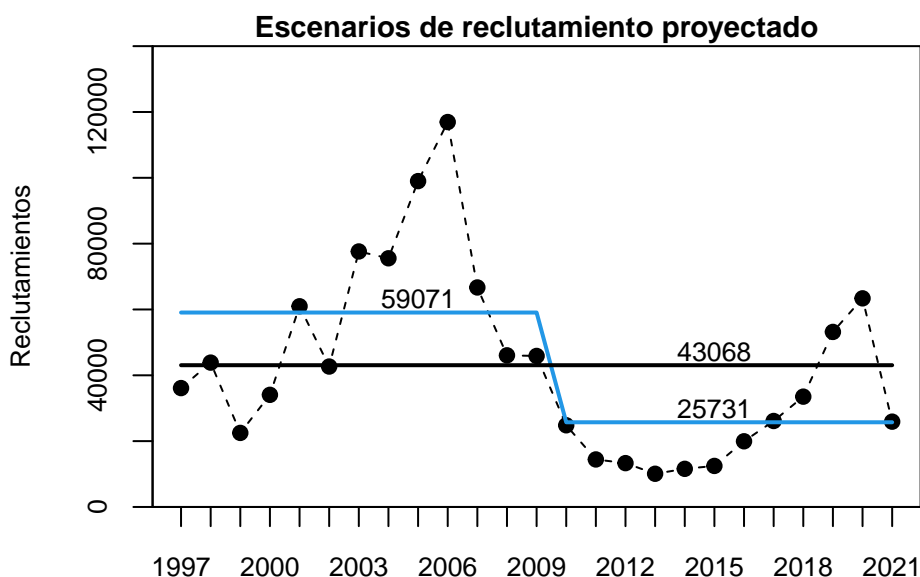


Figura 37. Escenarios de reclutamiento proyectado de anchoveta centro-sur para la asesoría de julio 2021.

El cálculo de la primera revisión de la CBA 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 29** muestra los rangos de capturas para el año 2021 estimada bajo un escenario de $R_{prom}(1997-2009)$ podría situarse entre 190,7 mil t y 207,8 mil t y bajo un escenario de reclutamiento histórico entre 189,6 mil t y 206,6 mil t. y bajo un escenario de $R_{prom}(2010-2021)$ entre 188,1 mil t y 205,2 mil t.

Para evaluar el efecto que tiene la decisión de la CBA en base a los percentiles de probabilidad de sobrepasar el objetivo de manejo (10 %-50 %), se calculó el resguardo de la captura al RMS a lo cual equivale cada percentil (**Tabla 30**). Esos niveles variaron entre un 2 % - 8 % en promedio, considerando un percentil de probabilidad del 40 % - 10 % para los tres escenarios de reclutamiento.

En la primera sesión del CCT-PP 2021 (febrero 2021) se acordó utilizar un 2 % de descarte para el supuesto de descarte proyectado de anchoveta centro-sur, en base a esto, la **Tabla 31** muestra los rangos de captura menos el 2 % de descarte. La **Tabla 32** muestra las diferencias porcentuales entre la CBA inicial menos el 2 % de descarte y la segunda revisión de CBA 2021 menos el 2 % de descarte.



Tabla 29. Segunda revisión de CBA 2021 de anchoveta centro-sur bajo $F_{cte} = F_{RMS}$ con sus respectivos percentiles de probabilidad entre 10 % y 50 % y tres escenarios de reclutamiento.

| | $R_{1997-2009}$ | $R_{histórico}$ | $R_{2010-2021}$ |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|
| mean | 207.760 | 206.640 | 205.210 |
| std | 13.322 | 13.328 | 13.342 |
| 10 % | 190.687 | 189.559 | 188.112 |
| 20 % | 196.548 | 195.423 | 193.981 |
| 30 % | 200.774 | 199.651 | 198.213 |
| 40 % | 204.385 | 203.263 | 201.830 |
| 50 % | 207.760 | 206.640 | 205.210 |

Tabla 30. Resguardo de la Captura al RMS.

| | $R_{1997-2009}$ | $R_{histórico}$ | $R_{2010-2021}$ |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 10 % | 0,08 | 0,08 | 0,08 |
| 20 % | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| 30 % | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| 40 % | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| 50 % | 0 | 0 | 0 |

Tabla 31. CBA 2021 menos el 2 %descarte

| | $R_{1997-2009}$ | $R_{histórico}$ | $R_{2010-2021}$ |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 10 % | 186.873 | 185.768 | 184.349 |
| 20 % | 192.617 | 191.514 | 190.101 |
| 30 % | 196.758 | 195.658 | 194.249 |
| 40 % | 200.297 | 199.198 | 197.793 |
| 50 % | 203.605 | 202.507 | 201.106 |

Tabla 32. Diferencia porcentuales entre la CBA inicial menos el 2 %descarte y la segunda revisión de CBA 2021 menos el 2 %descarte. $(1 - (2da\ revisión\ CBA / CBA\ inicial)) * 100$

| | $R_{1997-2009}$ | $R_{histórico}$ | $R_{2010-2021}$ |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 10 % | 1 % | 8 % | 18 % |
| 20 % | -7 % | -1 % | 7 % |
| 30 % | -12 % | -7 % | 0 % |
| 40 % | -16 % | -11 % | -5 % |
| 50 % | -19 % | -14 % | -9 % |

4.3.2. Proyección del stock (Asesoría de septiembre 2020)

En relación al estatus 2020/21, se proyectó el stock bajo tres escenarios reclutamientos que representan los períodos más relevantes de la historia conocida de anchoveta centro-sur y con una mortalidad por pesca en torno al F_{RMS} (ponderadores de F_{RMS}). Al respecto, si bien la anchoveta centro-sur se mantuvo en una condición de colapso entre 2009/10 y 2016/17 y de sobre-explotación entre el 2017/18 y 2018/19, el incremento del reclutamiento los años 2018/19 y 2019/20 junto al aumento de la biomasa adulta (1+ años) permiten la recuperación del stock para el año 2019/20 y con una alta probabilidad (95 %) de mantenerse en una condición de plena-explotación para el año 2020/21 (4 % probabilidad de sobre-explotación y 0 % probabilidad de colapso) (**Tabla 33**) independiente de los escenario de reclutamiento futuros y ponderadores de F_{RMS} (**Figura 38**). El incremento de los reclutamientos y biomasa de anchoveta centro-sur durante los dos años previos y la baja probabilidad de sobre-explotación y colapso generan un escenario favorable para el stock de anchoveta el 2020/21.

Tabla 33. 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 | $F_{RMS} * 1,0$ | $F_{RMS} * 0,9$ | $F_{RMS} * 0,7$ |
|-------------------------|---------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|
| $R_{1997-2009}$ | 2018/19 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 0,94 | 0,94 | 0,94 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| | 2019/20 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 0,24 | 0,24 | 0,24 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 2020/21 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 0,04 | 0,04 | 0,03 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $R_{histórico}$ | 2018/19 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 0,94 | 0,94 | 0,94 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| | 2019/20 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 0,24 | 0,24 | 0,24 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 2020/21 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $R_{2010-2020}$ | 2018/19 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 0,94 | 0,94 | 0,94 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| | 2019/20 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 0,24 | 0,24 | 0,24 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 2020/21 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

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

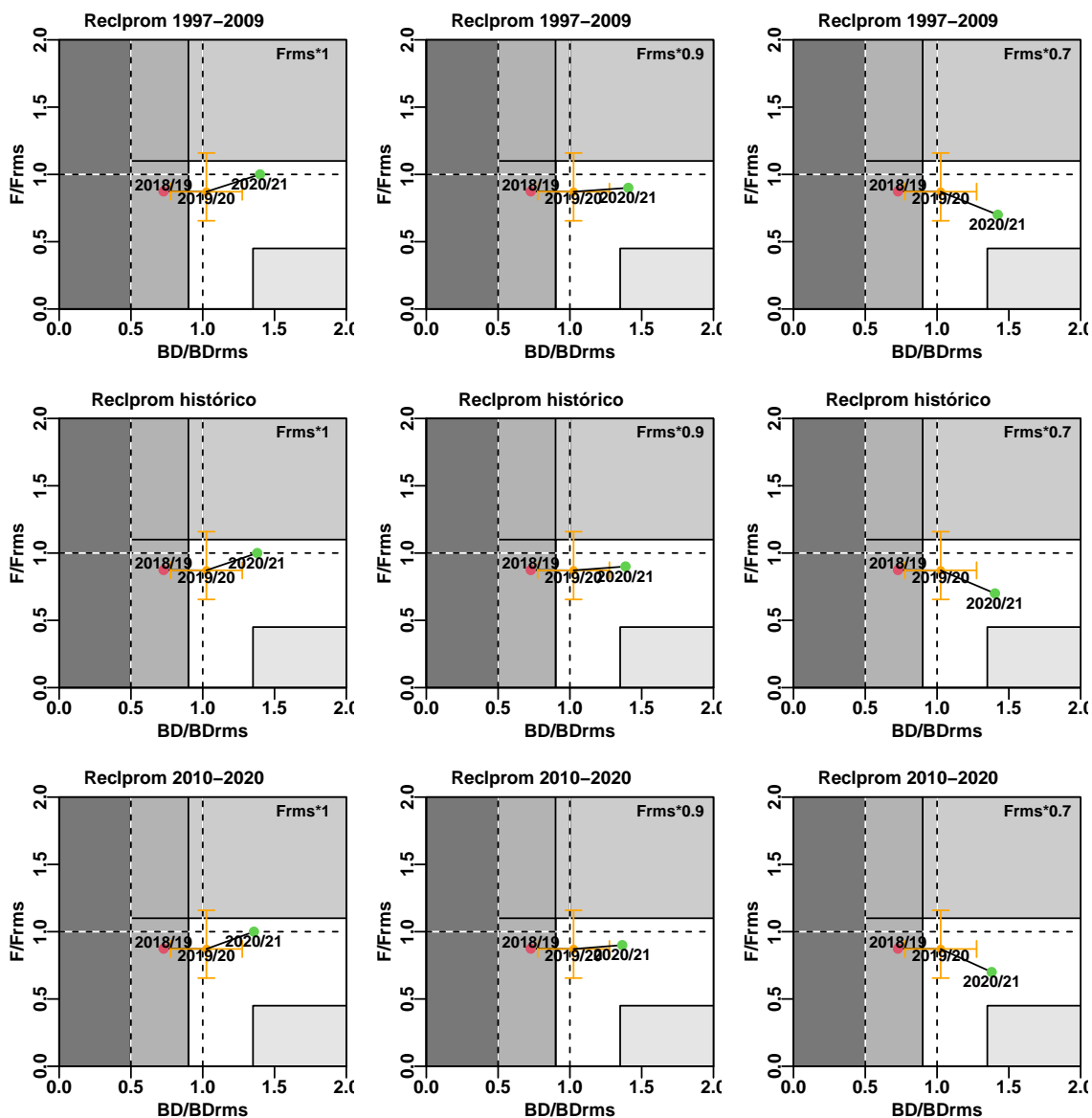


Figura 38. Diagramas de fases de explotación de la biomasa desovante respecto de la mortalidad por pesca mostrando el estatus de anchoveta centro-sur para el año previo 2018/19 (punto rojo), año actual 2019/20 (punto y cruz naranja) y año proyectado 2020/21 (punto verde) bajo un escenario de reclutamiento promedio bajo [1997-2009] (panel superior), reclutamiento promedio histórico [1997-2020] (panel intermedio), reclutamiento promedio reciente [2010-2020] (panel inferior) y ponderadores de F_{RMS} (1; 0,9 y 0,7). **Asesoría de septiembre 2020**



4.3.3. Proyección del stock (Asesoría de marzo 2021)

En relación al estatus 2020/21, en la asesoría anterior (septiembre 2020) la proyección mostraba una alta probabilidad (95 %) de mantenerse en una condición de plena-explotación para el año 2020/21 (4 % probabilidad de sobre-explotación y 0 % probabilidad de colapso) (**Tabla 34**) independiente de los escenario de reclutamiento futuros y ponderadores de F_{RMS} (**Figura 39**). El incremento de los reclutamientos 2018/19 y 2019/20 junto al aumento de la biomasa adulta (1+ años) de anchoveta centro-sur durante los dos años previos y la baja probabilidad de sobre-explotación y colapso generan un escenario favorable para el stock de anchoveta el próximo año. La primera actualización del estatus 2020/21 realizada en la actual asesoría (marzo 2021) con información del crucero de verano 2021, confirman una condición de plena-explotación (98 % de probabilidad). Se espera que anchoveta se mantenga en una condición de plena-explotación para el año 2021/22, no obstante, dado la disminución del reclutamiento estimado para el 2021 en torno al reclutamiento promedio más reciente (bajos), la probabilidad de mantenerse en la condición de plena-explotación disminuye a un 86 %.

Tabla 34. Incertidumbre del estatus actual 2020/21 y proyectado 2021/22 bajo tres escenarios de reclutamiento y ponderadores de F_{RMS} . **Asesoría de marzo 2021.**

| Escenario Reclutamiento | Año biológico | Probabilidad de Estatus | $F_{RMS} * 1,0$ | $F_{RMS} * 0,9$ | $F_{RMS} * 0,7$ |
|-------------------------|---------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|
| $R_{1997-2009}$ | 2020/21 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 2021/22 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 0,11 | 0,11 | 0,10 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $R_{\text{histórico}}$ | 2020/21 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 2021/22 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 0,12 | 0,12 | 0,11 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $R_{2010-2021}$ | 2020/21 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 2021/22 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 0,14 | 0,14 | 0,13 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

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

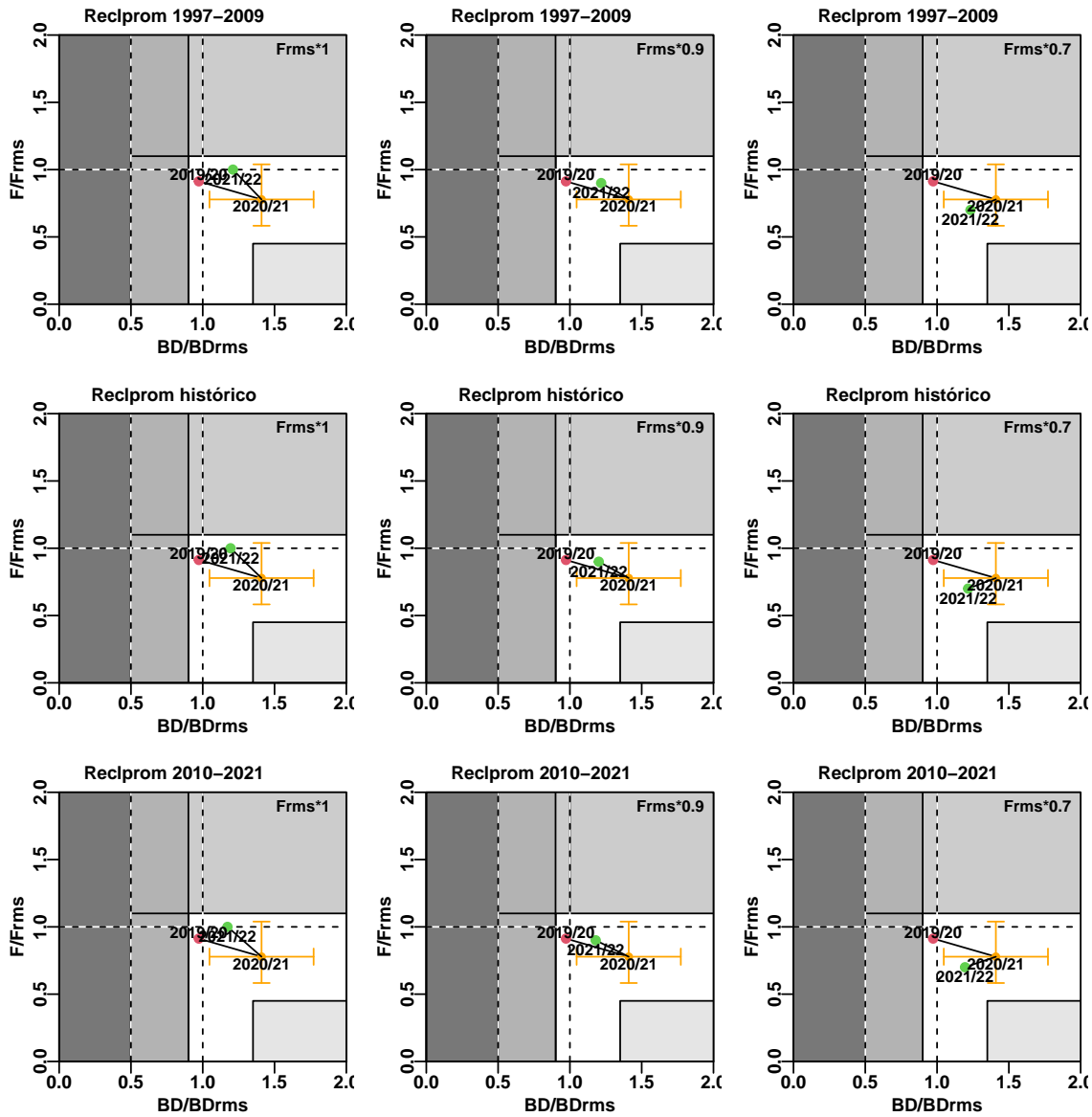


Figura 39. Diagramas de fases de explotación de la biomasa desovante respecto de la mortalidad por pesca mostrando el estatus de anchoveta centro-sur para el año previo 2019/20 (punto rojo), año actual 2020/21 (punto y cruz naranja) y año proyectado 2021/22 (punto verde) bajo un escenario de reclutamiento promedio bajo [1997-2009] (panel superior), reclutamiento promedio histórico [1997-2020] (panel intermedio), reclutamiento promedio reciente [2010-2021] (panel inferior) y ponderadores de F/RMS (1; 0,9 y 0,7). **Asesoría de marzo 2021.**



4.3.4. Proyección del stock (Asesoría de julio 2021)

En relación al estatus 2020/21, en la asesoría de septiembre 2020, la proyección mostraba una alta probabilidad (95 %) de mantenerse en una condición de plena-explotación para el año 2020/21 (4 % probabilidad de sobre-explotación y 0 % probabilidad de colapso) (**Tabla 35**) independiente de los escenarios de reclutamiento futuros y ponderadores de F_{RMS} (**Figura 40**). El incremento de los reclutamientos 2018/19 y 2019/20 junto al aumento de la biomasa adulta (1+ años) de anchoveta centro-sur durante los dos años previos y la baja probabilidad de sobre-explotación y colapso generan un escenario favorable para el stock de anchoveta el próximo año. La primera y segunda actualización del estatus 2020/21 realizada en marzo y julio 2021, con información del crucero de verano y otoño 2021, confirman una condición de plena-explotación (97 % de probabilidad). Se espera que anchoveta se mantenga en una condición de plena-explotación para el año 2021/22, no obstante, dado la disminución del reclutamiento estimado para el 2021 en torno al reclutamiento promedio más reciente (bajos), la probabilidad de mantenerse en la condición de plena-explotación disminuye a un 85 %.

Tabla 35. Incertidumbre del estatus actual 2020/21 y proyectado 2021/22 bajo tres escenarios de reclutamiento y ponderadores de F_{RMS} . **Asesoría de julio 2021.**

| Escenario Reclutamiento | Año biológico | Probabilidad de Estatus | $F_{RMS} * 1,0$ | $F_{RMS} * 0,9$ | $F_{RMS} * 0,7$ |
|-------------------------|---------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|
| $R_{1997-2009}$ | 2020/21 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 2021/22 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 0,11 | 0,10 | 0,09 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $R_{\text{histórico}}$ | 2020/21 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 2021/22 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 0,12 | 0,12 | 0,11 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $R_{2010-2021}$ | 2020/21 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 2021/22 | $p(\text{sobre} - \text{explotación})$ | 0,15 | 0,14 | 0,13 |
| | | $p(\text{colapso})$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

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

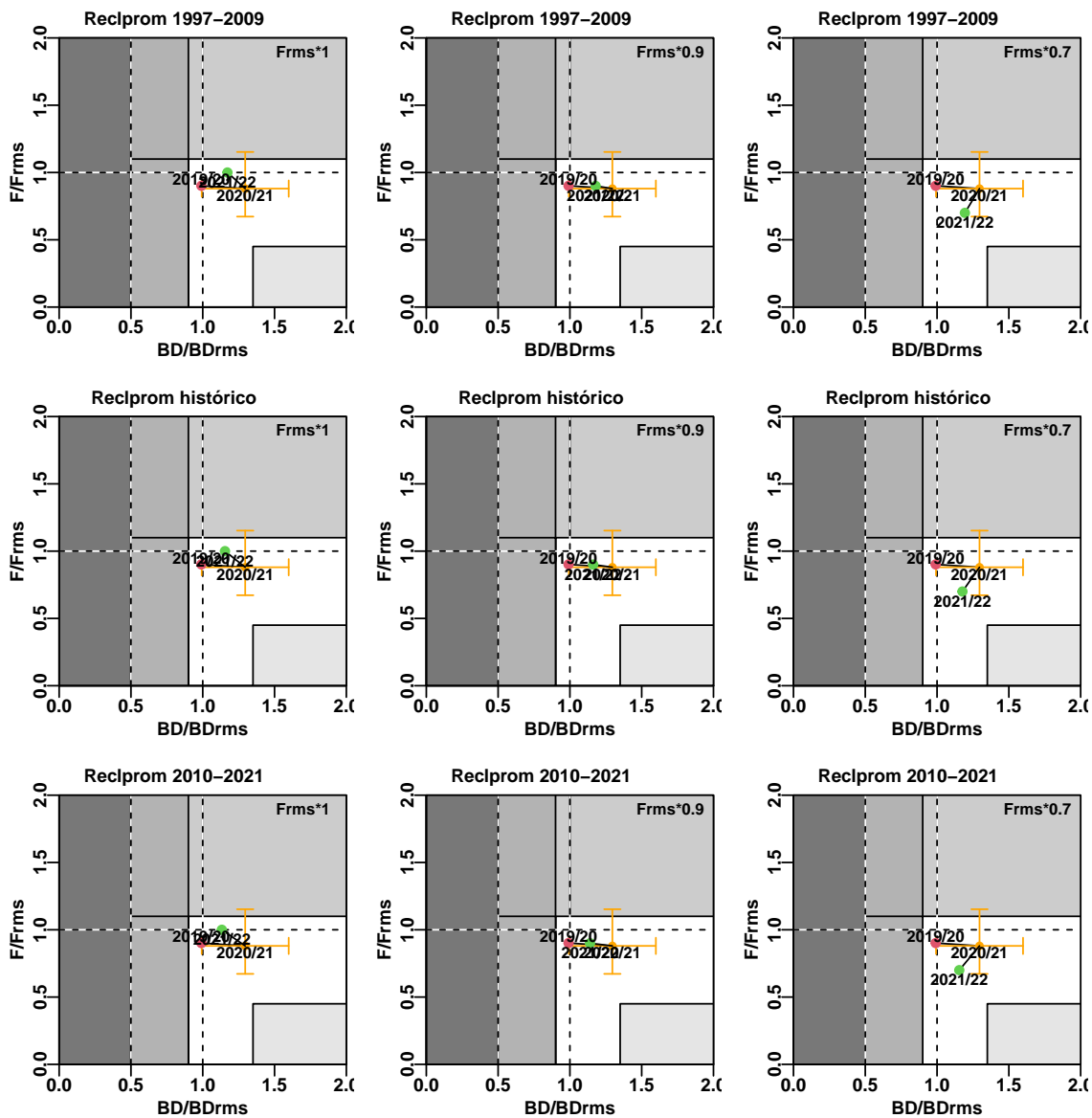


Figura 40. Diagramas de fases de explotación de la biomasa desovante respecto de la mortalidad por pesca mostrando el estatus de anchoveta centro-sur para el año previo 2019/20 (punto rojo), año actual 2020/21 (punto y cruz naranja) y año proyectado 2021/22 (punto verde) bajo un escenario de reclutamiento promedio bajo [1997-2009] (panel superior), reclutamiento promedio histórico [1997-2020] (panel intermedio), reclutamiento promedio reciente [2010-2021] (panel inferior) y ponderadores de F_{RMS} (1,0.9 y 0.7). **Asesoría de julio 2021.**

4.4. 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.”

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 2020, 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 **Figura 41**, el cual fue discutido y consensuado con la SSPA en reunión efectuada el día 12 de junio de 2017 (Zúñiga *et al.* 2018b).

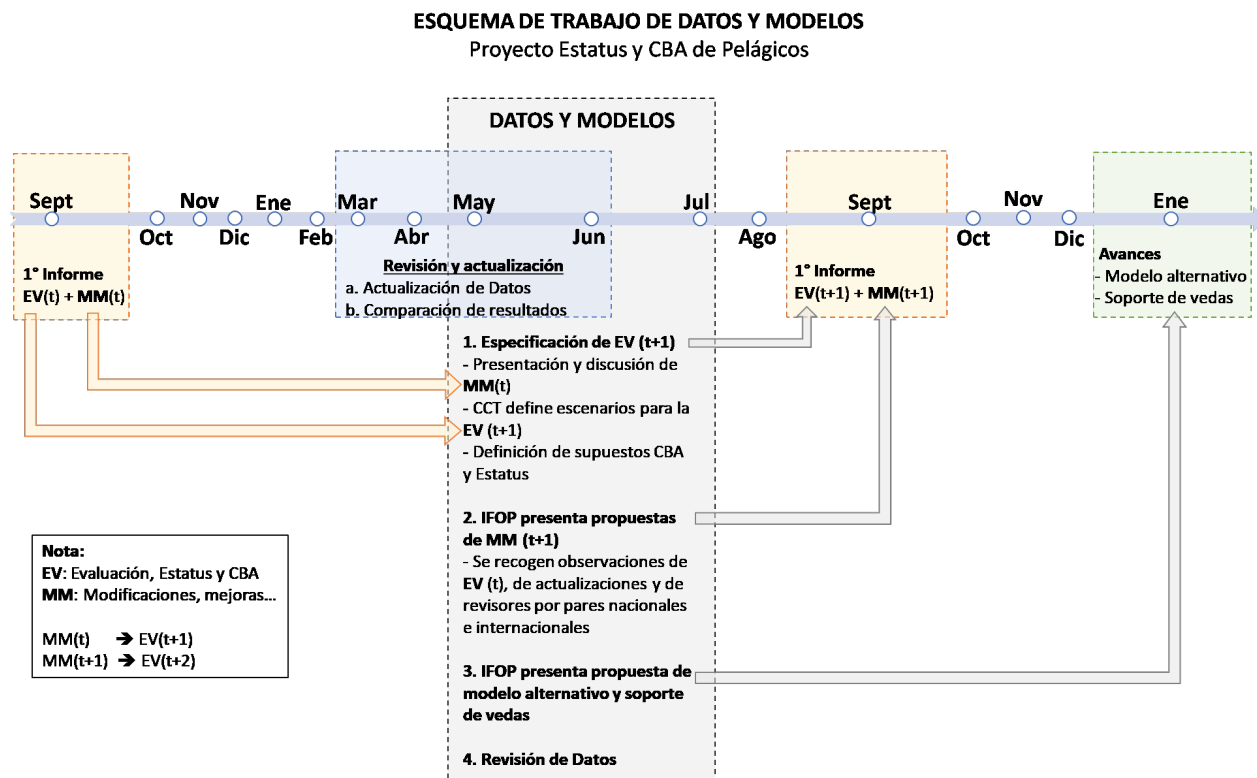


Figura 41. Esquema de trabajo de Datos y Modelos propuesto por SSPA e IFOP para la implementación de mejoras y modificaciones (MM) a la evaluación de stock (EV) durante el desarrollo del Proyecto de Estatus y CBA de las pesquerías de Pelágicos.



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

Las mejoras que se han realizado a la evaluación de stock forman parte del plan de mejoramiento continuo que conducen a reducir la incertidumbre del estado del stock de anchoveta centro-sur. Estas mejoras constituirán un Estándar Metodológico en la evaluación de stock, cuyos protocolos se mantendrán vigentes hasta que se considere necesario perfeccionarlos. A continuación se resumen los principales cambios introducidos y adoptados por el CCT-PP al modelo anual en edad (MAE) para la selección del caso base, recomendados en la Revisión por Pares Internacional y CCT-PP de sardina común (septiembre, 2013) y anchoveta centro-sur (agosto, 2015):

- Se aumenta la varianza asumida de la serie de biomasa desovante (MPDH) cambiando de $CV=0,3$ a $CV=100$ (realizado el año 2014)
- Se reduce el coeficiente de variación de las capturas totales de $CV=0,1$ a $CV=0,01$ (realizado el año 2014)
- Se asume prior no informativa para la capturabilidad “q” de los cruceros acústicos de verano y otoño (realizado el año 2014)
- Corrección de la matriz de pesos iniciales (realizada el año 2017)
- Se excluyen los años 2003, 2005 y 2015 de la serie de biomasa acústica del crucero de otoño (realizado el año 2017)
- Se excluye el año 2015 de la matriz de composición de edad del crucero de otoño (realizado el año 2017)
- Se cambia el método de cálculo de los tamaños de muestra de media aritmética a media armónica de McAllister y Ianelli (1997) (realizado el año 2017)
- Se incorpora escenario de descarte histórico a la evaluación de stock (realizado el año 2018)
- Se reduce los tiempos de procesamiento de datos de entrada a la evaluación de stock para la determinación de estatus completo (realizado el año 2018)
- Se realiza determinación de edad con asignación de edad en año biológico (realizado el año 2018)
- Se cambia la escala de modelación de año calendario a año biológico (realizado el año 2020)
- Se actualiza el cálculo de BD_0 utilizando la biomasa desovante promedio histórico (1996/97-año actual) y mortalidad por pesca mediana histórica (1996/97-año actual) (realizado el año 2020).

A continuación se describen los últimos cambios del modelo base y del cálculo de estimación de BD_0 :



Modelo base en escala biológica: En relación al modelamiento, en la tercera sesión 2020 del CCT- PP IFOP presentó los resultados de un modelo en año biológico el cual tiene una mejor representación del reclutamiento y de la dinámica de anchoveta y un menor nivel de incertidumbre, permitiendo además, contar con información completa para el establecimiento del estatus en el primer y tercer hito. Considerando lo anterior, el CCT-PP acuerda por consenso la adopción de este nuevo modelo para la toma de decisión año 2021 (Acta Sesión N° 3 14 y 15/05/2020 ¹¹, Zúñiga 2020 ¹²).

Cálculo de Puntos Biológicos de Referencia: Se revisó los datos utilizados en la estimación de los Puntos Biológicos de Referencia (PBR) para determinar el estatus dado que el cambio del modelo de año calendario a año biológico provoca un acortamiento en la serie utilizada para la estimación de BD0 de 19 a 12 años y considerando que la anchoveta cierra su ciclo decreciente iniciado el 2009, el cual en su oportunidad determinó su exclusión del cálculo de BD0 a la hora de aplicar la metodología descrita en el taller de PBR (Payá *et al.* 2014), considerándose un caso excepcional. Conforme a lo anterior, el CCT-PP establece que para efectos de la determinación del estatus y CBA 2021, se utilice la serie completa de datos para el cálculo de BD0. De esta manera se aplica íntegramente la metodología recomendada y se estandariza con lo aplicado en sardina común (Acta Sesión N° 5 20-21/08/2020 ¹³).

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. A continuación, se listan las principales actividades desarrolladas en anchoveta centro-sur.

- Modelo alternativo N° 1. Modelo anual con información de tallas en año calendario
- Modelo alternativo N° 2: Modelo anual con información de tallas en año biológico
- Modelo alternativo N° 3: Incorporación de datos de la X Región a la evaluación de stock
- Modelo alternativo N° 4: Modelo anual con información de edad en año biológico
- Curso “Stock Synthesis”: Exploración de nueva plataforma de modelación
- Taller de trabajo interno: Estandarización de informes de estatus de pesquerías pelágicas
- Taller de capacitación: Hacia la Evaluación de Estrategias de Manejo
- Taller de trabajo interno: Soporte de monitoreo para bajar la escala de modelación
- Taller de trabajo interno: Análisis de riesgo (buffer) y proyección basada en cruceros
- Pasantía en School of Aquatic and Fishery Sciences, University of Washington
- Taller internacional: Modelos alternativos implementación “Stock Synthesis”

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 (**Figura 42**). Las principales actividades relacionadas con el proceso de mejora continua fueron 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

¹¹http://www.subpesca.cl/portal/616/articles-107809_documento.pdf

¹²https://www.subpesca.cl/portal/616/articles-109471_documento.pdf

¹³http://www.subpesca.cl/portal/616/articles-108563_documento.pdf

(*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 36). 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 37). 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 38).

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 (Figura 43). 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 39). 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.

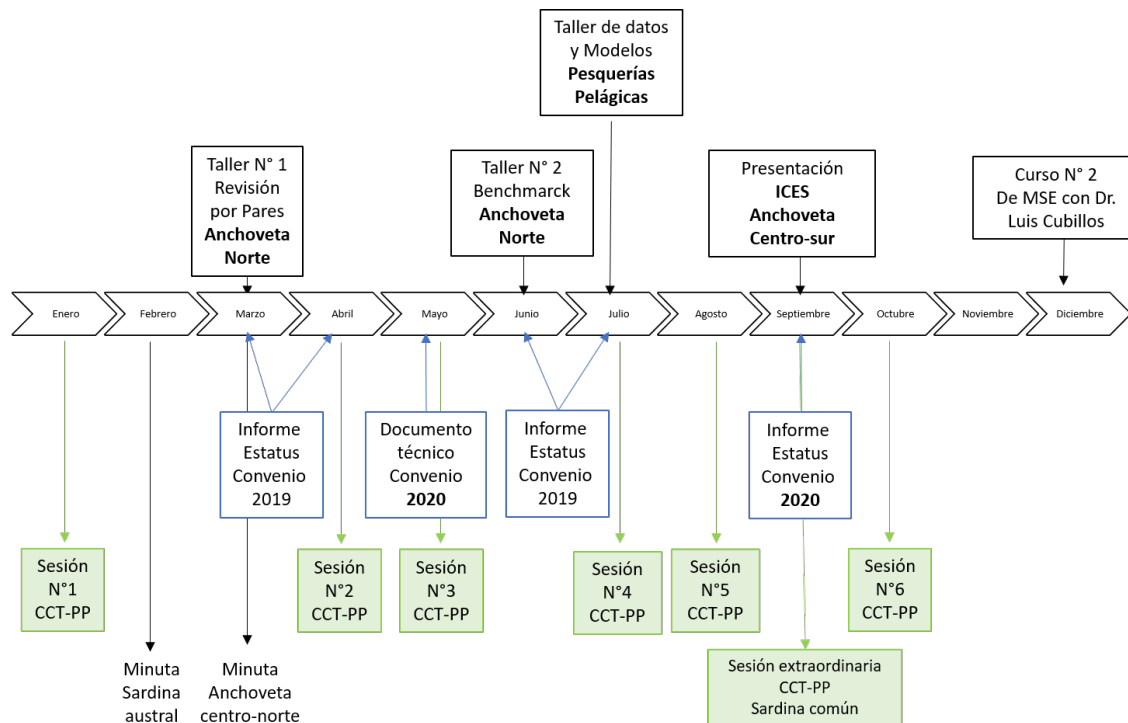


Figura 42. Trabajo desarrollado durante el 2019 orientado al proceso de mejora continua y disminución de brechas del conocimiento y asesoría para la toma de decisión de pesquerías de peces pelágicos pequeños.

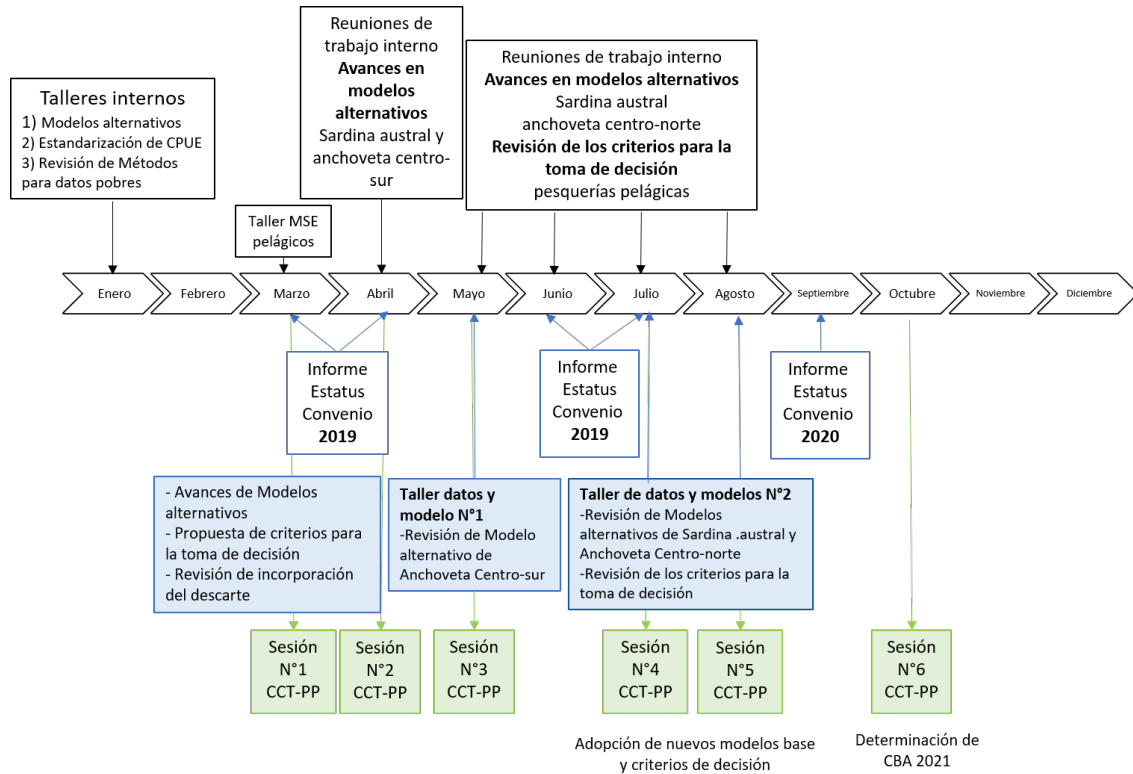


Figura 43. Trabajo desarrollado durante el 2020 orientado al proceso de mejora continua y disminución de brechas del conocimiento y asesoría para la toma de decisión de pesquerías de peces pelágicos pequeños.

Tabla 36. 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 37. 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. |
| Sesión N°6 16 y 18 de octubre 2019 | Presentación de resultados de estatus 2019 y CBA 2020 de pesquerías pelágicas. |



Tabla 38. 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 39. 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 | <p>a) Revisión de los avances y propuesta de programación de modelos alternativos para las principales pesquerías de pequeños pelágicos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Anchoveta norte 2) Anchoveta centro-norte 3) Anchoveta centro-sur 4) Sardina austral. <p>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 anchoveta y sardina común centro-sur.</p> <p>c) Protocolo para el establecimiento de resguardo (niveles de riesgo) en la toma de decisiones de CBA.</p> |
| Sesión N°2 3 de abril 2020 | Presentación de resultados de primera revisión de estatus y CBA 2020 de anchoveta y sardina común de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos |
| Sesión N°3 14 y 15 mayo 2020 | <ul style="list-style-type: none"> - Presentación de resultados de actualización de estatus y CBA 2020 de anchoveta Regiones ATCMA a COQ. - Resultados del taller de datos y modelos de anchoveta Regiones de Valparaíso a Los Lagos. |
| Sesión N°4 2 y 3 de Julio 2020 | <ul style="list-style-type: none"> - Actualización de estatus y CBA 2020 de sardina austral Regiones de Los Lagos y Aysen. - Actualización de estatus y CBA 2020 de anchoveta zona norte. - Revisión de datos y modelos a) Modelo alternativo de anchoveta Regiones Atacama y Coquimbo y b) Revisión de la proyección de la CBA de anchoveta zona norte. |
| Sesión N°5 20 y 21 de agosto 2020 | <ul style="list-style-type: none"> - Presentación de resultados de actualización de estatus y CBA 2020 de anchoveta 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 anchoveta centro-norte. c) Revisión del Cálculo de PBRs en anchoveta centro-sur |



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 **Tabla 40, 41 y 43** se resume la forma de abordar las sugerencias y correcciones recomendadas en la revisión por pares de anchoveta V-X Regiones 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 anchoveta centro-sur.

Tabla 40. Plan de trabajo basado en las recomendaciones realizadas en el Taller de Revisión Por Pares Externa e Independiente de anchoveta centro-sur.

| Ítems | Recomendaciones | Plazo |
|---|---|-----------|
| Edad y crecimiento | | |
| Asignación de fecha de nacimiento | Tomar la fecha de nacimiento que corresponda con el pico de desove en agosto, en lugar del 1ero de enero. Fundamento: al asumir una fecha de nacimiento designado el 1ero de enero, las proporciones del grupo de edad 0, particularmente durante la primera mitad del año, puede sub-representar a los reclutas del año. | Realizado |
| Cruceros acústicos | | |
| Serie de tiempo | Excluir las estimaciones de abundancia de los cruceros acústicos que no realizaron sesgo de orilla. Excluir las estimaciones de abundancia del crucero Pelaces 2003, 2005 y 2015 de la serie temporal. Fundamento: Al fin de mantener una serie temporal comparable de los índices de abundancia de los dos cruceros acústicos a través del tiempo. | Realizado |
| Coefficiente de variación | Utilizar los CV obtenidos por los cruceros acústicos anuales en la estimación de la abundancia (en lugar de asumir un CV invariante en el tiempo y cruceros, CV = 30 %). Estos deberían calcularse utilizando el mismo método para todos los años. | 2021-2022 |
| Taller de revisión | <ul style="list-style-type: none">- Estimar un factor de sesgo de orilla que se aplique a todos los cruceros que realizaron sesgo de orilla con embarcaciones pesqueras simultáneamente al crucero estándar realizado por el B/C "Abate Molina".- Considerar la cobertura espacial y temporal del crucero acústico sobre la distribución de la biomasa total de anchoveta.- Cuantificar los probables factores de error individuales de los cruceros acústicos. | - |
| Evaluación de stock | | |
| Modelo de evaluación de stock | Desarrollar un nuevo modelo de evaluación de stock para la anchoveta centro-sur que contenga aspectos de los modelos anuales y semestrales. | 2022-2023 |
| Incertidumbre de la evaluación de stock | Reconocer adecuadamente las áreas claves de incertidumbre en la evaluación. Si existen áreas claves de incertidumbre sin resolver, como cambios de la mortalidad natural en el tiempo, ajuste de modelos alternativos, conflictos en los set de datos, sería apropiado presentar los resultados como un "Reference Set of models" (Rademeyer <i>et al.</i> 2008). Alternativamente la incertidumbre se puede evaluar mediante la ejecución de una serie de pruebas de sensibilidad. La tabla más abajo presenta algunas pruebas de sensibilidad recomendadas. | 2021/22 |
| Estimación de parámetros | Usar MCMC para estimar la pdfs posterior de todos los parámetros del modelo y parámetros adicionales de interés. Fundamento: permitirá estimar más adecuadamente las medias de los parámetros y sus varianzas, que la estimada utilizando la desviación estándar basada en la Hessiana. | 2021/22 |



Tabla 41. Plan de trabajo basado en las recomendaciones realizadas en el Taller de Revisión Por Pares Externa e Independiente de anchoveta centro-sur.

| Ítems | Recomendaciones | Plazo |
|-------------------------------------|---|---------|
| Puntos biológicos de referencia | El manejo de los recursos altamente variables no debería usar puntos de referencia basados en la estimación incierta de B_0 , sino más bien utilizar las estimaciones de biomazas más contemporáneas (y precisas). | - |
| Análisis de riesgo | El riesgo para el recurso puede ser considerado comparando proyecciones futuras bajo escenarios de captura alternativa vs escenarios sin captura futura. Por ejemplo, si las condiciones ambientales (reclutamiento pobre) sugieren que sería poco realista suponer un retorno a un BPR en el corto plazo bajo un escenario sin pesca, entonces sería poco realista suponer que tales BPR se puedan alcanzar bajo escenarios de pesca alternativa. | 2021/22 |
| Proyecciones | Considerar la alta variabilidad del reclutamiento de este recurso en las proyecciones futuras. Considerar toda la gama de incertidumbre en la evaluación de stock mediante la realización de proyecciones basadas en distribuciones (idealmente posterior) de estimación de los parámetros en lugar de estimaciones puntuales y abarcar un "Reference Set of models" o incluir un rango de pruebas de sensibilidad. | 2021/22 |
| Evaluación de estrategias de manejo | La evaluación de estrategias de manejo es un marco adecuado para evaluar el riesgo, tomando en cuenta la incertidumbre estructural y paramétrico. | 2021/22 |

El plazo marcado "-" requiere la participación de otros grupos de trabajo por lo que estas actividades serán programadas posterior a la emisión de este reporte y en la medida de su pertinencia y orden de prioridad.

**Tabla 42.** Pruebas de sensibilidad recomendadas para desarrollar en el corto plazo (2020/21).

| Ítems | Recomendaciones |
|-----------------------------------|--|
| Mortalidad natural | Tasas de mortalidad natural alternativa invariante en el tiempo; y tasas de mortalidad natural diferente entre juveniles y adultos |
| Desvíos Reclutamiento | Desviaciones sobre el reclutamiento promedio asumiendo variabilidad |
| Datos de captura entre 1998-2001 | Los datos de captura desde 1998 al 2001 reflejan alta incertidumbre tras correcciones sobre la subreporte de jurel. Se recomienda asumir un CV más alto para los datos de capturas comercial desde 1998 a 2001. |
| Inicio serie de tiempo de captura | Considerar como año inicial el 2000 (que comienza en el equilibrio explotado), lo que excluye la información de captura pre-2000 que puede no ser lo más preciso que el post-2000 y sin embargo, puede influir en el reclutamiento medio utilizado en las proyecciones para recomendaciones de manejo. |
| Selectividad | Asumir formas paramétricas alternativas para la selectividad. Mientras que las bajas proporciones de edad 3+ de anchoveta en los desembarques comerciales pueden ser un reflejo de su alta mortalidad natural, sería prudente probar la sensibilidad a una curva de selectividad en forma de cúpula que refleja, por ejemplo, el objetivo en áreas de reclutamiento en lugar de áreas de desove/alimentación. 90-95% de todos los desembarques se producen entre las regiones V y VIII solamente, en lugar de sobre toda la distribución V a X Regiones. |



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), las cuales serán acogidas como parte del programa de mejoramiento continuo y por lo tanto, serán abordadas durante el período 2020-21 (**Tabla 43**)

Tabla 43. 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 2020-21.

| 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 |
| 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. |



5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El stock de anchoveta en la UPCS comenzó a ser evaluada oficialmente en 1996 por Barría *et al.* (1998) y (1999), con métodos estructurados por edad en escala calendaria. En la asesoría de septiembre 2020 se realizó el cambio de modelo base de año calendario (MAE) a año biológico (MAEb), el cual fue adoptado por el CCT-PP en la sesión de mayo 2020 (Acta Sesión N°3). Este nuevo modelo base permite una mejor representación del reclutamiento y de la dinámica de anchoveta, disminuyendo la incertidumbre en los indicadores utilizados para medidas de manejo (Zúñiga *et al.*, 2020).

El período de análisis del presente estudio (asesoría de julio 2021) comprende los años biológicos desde 1996/97 a 2019/21. Al respecto, se utiliza datos actualizados del crucero de enero y mayo 2021 (biomasa total y composición de edad), y de la información la flota (desembarques, composición de edad y pesos medios). El porcentaje de descarte 2020/21 se asume igual al 2 % (supuesto de proyección acordado en primera sesión del CCT-PP, febrero 2021).

El análisis histórico de los datos de entrada al modelo indican que entre los años 2009 y 2017 se registraron los niveles más bajos de biomasa acústica de verano con un valor promedio de 101 mil t. Sin embargo, el año 2018 se observó un primer incremento importante hasta 347 mil t y los años 2019 y 2020 se consolida éste incremento con valores cercanos a las 588 mil toneladas en promedio. Algo similar se observa en las tendencias de los cruceros de otoño. Sin embargo, en este estudio, la recuperación en la biomasa del stock se apreció a partir del año 2016, registrándose el año 2021 el nivel más alto de los últimos 11 años, en 1,3 millones de t. En relación a las capturas de anchoveta en la UPCS, su variación es consistente con los cambios en los niveles de biomasa estimados por los cruceros acústicos de verano y otoño. Entre el 2011/12 y 2017/18 se registran desembarques en torno a 62 mil toneladas en promedio. Para el 2018/19 se incrementan a 135 mil toneladas y para el año 2019/20 a 160 mil toneladas, un 16 % mayor al año previo y para el 2020/21 se incrementa a 205 mil toneladas, un 30 % mayor al año previo y un 159 % mayor al promedio de los últimos 9 años (período 2011/12 - 2019/20). La pesquería está sustentada principalmente el stock adulto, es decir, por la abundancia de los grupos de edad (GE) 1 y 2. A partir del 2017 el GE 0 muestra una tendencia al incremento, sin embargo, para el 2020/21 su aporte a la abundancia total es inferior al 10 %. Respecto a los pesos medios, para el GE 0 se encuentra en torno a los 10-15 grs, para el GE 1 en los 20-25 grs en promedio. Desde el año 2014 se observa un incremento en esta variable en todos los GE, excepto en los ejemplares de edad 0.

El modelo base actual es eficiente en reproducir la tendencia general de la biomasa estimada en los cruceros hidroacústicos, especialmente a partir del año 2009/10. El análisis consigue ajustar apropiadamente la información de la proporción de edades en las capturas y cruceros de evaluación directa. Respecto a las variables poblacionales, el modelo en escala biológica es eficiente en recoger las fluctuaciones en los indicadores del stock, los cuales son consistentes con la variabilidad en los reclutamientos y en los índices (cruceros de verano y otoño) que calibran el modelo de evaluación.

Los resultados de este estudio muestran los cambios que ha experimentado anchoveta en sus tendencias poblacionales en un período de 25 años (1996/97 - 2020/21). El análisis respecto a la media histórica de los indicadores de estado y flujo permite identificar claramente dos ciclos con altos y bajos niveles de abundancia de una duración de 10 años aprox. El período de altos niveles de abundancia de anchoveta se registra desde el año 2002/03 hasta el año 2008/09 con valores sobre el promedio histórico. Los niveles bajo el promedio histórico se registran desde el año 2009/10 hasta el 2017/18. Los mayores niveles de mortalidad por pesca se registraron durante el período de baja abundancia ($F > F_{mediana}$) debido a los bajos rendimientos. A partir del año 2015/16, se observa el inicio de un nuevo ciclo con tendencia positiva generada por la fuerza



de la clase anual reclutada que se incorpora a la población y a los bajos niveles de mortalidad por pesca ($F < F_{mediana}$).

El análisis histórico de la condición de anchoveta centro-sur muestra que entre los años 1996/97 y 2000/01 el stock de anchoveta centro-sur se encontraba sobre-explotado con biomasa por debajo del objetivo de manejo ($BD < BD_{RMS}$). A partir del 2001/02 se incrementan los niveles de biomasa desovante, permitiendo que el stock transite y se mantenga en una condición de plena-explotación hasta el 2007/08. No obstante, los niveles de reclutamiento para el año 2008 se reducen drásticamente generando niveles de biomasa desovante por debajo del promedio histórico para el 2008/09. Debido a la falla en los reclutamientos, desde el año 2009/10 la anchoveta de la zona centro-sur cambia drásticamente su estatus a una condición de agotamiento y/o colapso, manteniéndose en esa condición durante 8 años (2009/10 al 2016/17). A partir del año 2017/18 se manifiesta una recuperación del stock, transitando en la zona de colapso a la zona de sobre-explotación los años 2017/18 y 2018/19 y de plena-explotación los años 2019/20 y 2020/21. En términos de los niveles de mortalidad por pesca (F año⁻¹), en general, se ha mantenido históricamente por sobre el nivel objetivo de referencia F_{RMS} , no obstante, a partir del año 2016/17, los niveles de F estuvieron bajo el objetivo de manejo. Por lo tanto, el incremento de los reclutamientos de los dos últimos años junto a la disminución de la mortalidad por pesca por debajo del objetivo de manejo ($F < F_{RMS}$) y 2/3 por debajo de M ($M=0,7$ año⁻¹) y el incremento de la biomasa total y desovante 2019/20 y 2020/21 generan una condición de plena-explotación con una baja probabilidad de sobre-explotación (3 %) y de sobre-pesca (13 %). Se proyecta una condición favorable para el año 2021/22, con una alta probabilidad (85 %) de mantenerse en plena-explotación (15 % probabilidad de sobre-explotación y 0 % probabilidad de colapso).

La pesquería de anchoveta centro-sur está muy asociada a la de sardina común, 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 6**) revelando alternancia y predominancias importantes una sobre la otra. Estos cambios de productividad podrían ser producto de diversos factores biológicos (fenómenos depensatorios 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, Saavedra *et al.* (2020) señalan que nos podríamos encontrar frente a un escenario en que anchoveta pasa a cohabitar junto a sardina común con una mayor presencia geográfica (1.420 mn² vs 1.033 mn² de distribución efectiva), mayor cantidad de ejemplares (84.958 vs 69.294 millones de individuos) y mayor biomasa (1.005.293 t vs 867.257 t) transformándose por este momento en la especie principal en el ecosistema de la zona centro-sur. Adicionalmente, el estudio de variables ambientales realizado por Aranís *et al.* (2020) indica 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.

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. Adicionalmente, para el año 2021 se ha registrado una recuperación del reclutamiento de sardina común, lo cual 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 anchoveta y sardina común (Saavedra *et al.*, 2021). En el caso de anchoveta es necesario esperar los resultados del crucero de otoño 2021 para evaluar el efecto de la condición fría sobre los niveles de reclutamiento 2021.

La pesquería de anchoveta 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, por lo tanto, una mirada en conjunto podría facilitar su manejo en el mediano plazo, considerando principalmente el cambio en las tendencias de los últimos años en ambos recursos.

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°1 ¹⁴) 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. En la sesión correspondiente al Taller de Datos y Modelos de mayo 2021 se revisará

¹⁴https://www.subpesca.cl/portal/616/articles-109471_documento.pdf



nuevamente los valores históricos para su corrección si es necesario.

De acuerdo al ciclo de manejo histórico de esta pesquería, este estudio entrega la información base para el segundo hito correspondiente al cálculo de la primera 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 cálculo de la CBA 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 % de sobrepasar dicho criterio.

Los percentiles de probabilidad equivalen entre un 10 % y un 0 % de resguardo de la captura al RMS. De este modo, la captura para el año 2021 estimada bajo una condición de reclutamiento altos (período 1997-2009) y descontando el 2 % de descarte alcanza un rango entre 190,7 mil toneladas y 207,8 mil toneladas. Considerando reclutamientos bajos (período 2010-2021), con el descuento del 2 % de descarte el rango se encuentra entre 188,1 - 205,2 mil toneladas y bajo un escenario de reclutamiento promedio histórico el rango de captura se encuentre entre 189,6 - 206,6 mil toneladas.

Continuando con el ciclo de manejo, en el segundo hito se realiza la primera revisión de la CBA 2021, incorporando información del crucero de enero 2021 (Asesoría de marzo). No obstante, en este hito la incertidumbre en los indicadores utilizados para medidas de manejo es alta producto de la incompletitud de datos, ya que solo se cuenta con información del crucero de verano, el resto de la información se basa en supuestos. 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 2021. Por lo cual se recomienda para el segundo hito considerar un estatus 2020/21 preliminar a la espera de completar la información de la flota 2020/21 y crucero de otoño 2021 en el tercer hito de revisión (Asesoría de julio) y rango de captura precautorio. Se recomienda una revisión del ciclo de manejo actual, ya que 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.



6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguayo M & SB 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.
- Alverson DL & MJ Carney. 1975. A graphic review of the growth and decay of population cohorts. ICES Journal of Marine Science 36(2):133–43.
- Aranis 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.
- Aranis 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. IFOP/SUBPESCA. 69 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 Albornoz, 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, Instituto Fomento Pesquero (IFOP), 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 Albornoz, 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.
- 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.
- 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.
- Barría P, A Zuleta & R Gili. 1998. Bases biológicas para prevenir la sobreexplotación de sardina común y anchoveta. Informe Final, FIP-IT/96/12: 84 pp.
- Barría P, MG Böhm, A Aranís, R Gili, M Donoso & S Rosales. 1999. Evaluación indirecta y análisis de la variabilidad del crecimiento de sardina común y anchoveta en la zona Centro-Sur. Informe Final. FIP N° 97-10. 115 pp + Anexos.
- 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 C, MJ Zúñiga & F Cerna. 2012. Estatus y Posibilidades de Explotación Biológicamente Sustentables de los Principales Recursos Pesqueros Nacionales, año 2013., Sardina Común V-X Regiones, 2013. Segundo Informe, Instituto Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 92 pp.+ anexos.

Canales CR & MJ Zúñiga. 2016. SEGUNDO INFORME DE ESTATUS Y CUOTA. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales al año 2016 en anchoveta V-X Regiones. Anchoveta V-X Regiones, 2016. Subsecretaría de Economía y EM. Instituto Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 110 p + Anexos.

Castillo J, A Saavedra, V Catasti, F Leiva, C Lang, R Vargas, H Reyes, M Pizarro, E Molina, F Cerna, A López, S Núñez, 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 Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 307 pp + Figuras y Tablas.

Castillo-Jordán C, LA Cubillos & J Paramo. 2007. The spawning spatial structure of two co-occurring small pelagic fish off central southern Chile in 2005. Aquatic Living Resources 20, 77-84.

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

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

Cubillos L, 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 L, 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 L, R Alarcón, D Bucarey, M Canales, P Sobarzo & L Vilugrón. 1998b. 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, P Ruiz, G Claramunt, S Gacitúa, S Núñez, LR Castro, K Riquelme, C Alarcón, C Oyarzún, & A Sepúlveda. 2007. Spawning, daily egg production, and spawning stock biomass estimation for common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) off central southern Chile in 2002. Fisheries Research. 86: 228-240.

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

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



- 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.
- 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.
- Haltuch MA, AE Punt & MW Dorn. 2009. Evaluating the estimation of fishery management reference points in a variable environment. *Fisheries Research*. 100: 42–56.
- Hoenig JM. 1983. Empirical Use of Longevity Data to Estimate Mortality Rates. *Fishery Bulletin* 82:898-903.
- 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 of Marine Science*. 19:211-225.
- Ichinokawaa M, H Okamura & 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 pro-filing 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. 1998. Integration of Tagging and Population Dynamics Models in Fisheries Stock Assessment. PhD thesis, University of Washington.
- Maunder MN & RB Deriso. 2003. Estimation of recruitment in catch-at-age models. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 60, 1204–1216.
- 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.
- Methot RD. 2009. Stock assessment: operational models in support of fisheries management. In: Beamish, R.J., Rothschild, B.J. (Eds.), *Future of Fishery Science – Proceedings of the 50th Anniversary Symposium of the American Institute of Fishery Research Biologists*. Fish & Fisheries Series, vol. 31. Springer, Seattle, WA, pp. 137–165.
- 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.
- 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: 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: 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.

Pauly D. 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. J. Cons. int. Explor. Mer, 39(2): 175-192.

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.

Rikhter VA & VN Efanov. 1976. On one of the approaches to estimation of natural mortality of fish populations. International Commission for the Northwest Atlantic Fisheries VI(8):1-12.

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. 32 p + Anexos.

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.

Sepúlveda A, L Cubillos & D Arcos. 2003. Pesquerías pelágicas chilenas: una síntesis sobre la incertidumbre biológica. In: Actividad Pesquera y de Acuicultura en Chile, E. Yáñez (Ed.). Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso, p. 91 – 107.

Serra R. 1983. Changes in the abundance of pelagic resources along the Chilean coast. FAO Fish. Rep., (291) Vol. 2: 255-284.

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.

Taylor CC. 1960. Temperature, growth and mortality, of the Pacific cockle. Journal du Conseil 26: 117-124.

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.

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.

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.

Yáñez E, S Hormazábal, C Silva, A Montecinos, MA Barbieri, A Valdenegro, A Órdenes & F Gómez. 2008. Coupling between the environment and the pelagic resources exploited off northern Chile: ecosystem indicators and a conceptual model. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 36 (2): 159-181.

Zeileis A, C Kleiber, W Krämer & K Hornik. 2003. Testing and dating of structural changes in practice. *Computational Statistics y Data Analysis*. 44: 109-123.

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 anchoveta V-X Regiones. Anchoveta V-X Regiones, 2015. Subsecretaría de Economía y EM. Instituto 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 anchoveta V-X Regiones. anchoveta 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 anchoveta V-X Regiones. anchoveta V-X Regiones, julio 2017. Subsecretaría de Economía y EMT. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 97 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 anchoveta 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 anchoveta V-X regiones, julio 2018. Subsecretaría de Economía y EMT. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 141 p + Anexos.