

RESULTADOS PARA PRIMER INFORME

Estatus y Posibilidades de Explotación Biológicamente Sustentables de Sardina común,
Región de Valparaíso a la Región de Los Lagos, año 2023

María José Zúñiga

October 11, 2022

Resumen

Este reporte contiene los principales resultados de los objetivos 1, 2 y 3, utilizados para generar el Primer informe de Estatus 2021/2022 y CBA 2023 de sardina común de las regiones de Valparaíso a Los Lagos. Los códigos utilizados para generar este reporte se puede encontrar en el repositorio de [github Sardina](#). El código que genera este reporte es [FigyTab_PrimerInforme.Rmd](#).

Índice

1. RESULTADOS	2
1.1. Datos actualizados	2
1.2. Diagnóstico del modelo de evaluación de stock	3
1.3. Indicadores del stock	4
1.4. Puntos Biológicos de Referencia (PBRs) y Estatus	5
1.5. Proyección del stock años biológicos 2022/2023 y 2023/2024	6
1.6. CBA 2023 Inicial	6
2. FIGURAS	8
3. TABLAS	28
4. REFERENCIAS	35



1. RESULTADOS

1.1. Datos actualizados

El presente informe contiene el estatus del año biológico 2021/22 y de la Captura Biológicamente Aceptable (CBA) del año calendario 2023 para el stock de sardina común en la Unidad de Pesquería Centro-Sur (UPCS) de Chile, Región de Valparaíso a Región de Los Lagos. El estudio es actualizado con la información disponible a junio de 2022: (1) Estadísticas de desembarques SERNAPESCA desde 1990/91 hasta 2021/22; (2) El porcentaje de descarte proveniente del Programa de Descarte de IFOP corresponde al período 2015-2021; (3) Información de captura a la edad y pesos individuales a la edad provenientes del “Programa de Seguimiento de las Principales Pesquerías Nacionales (Pesquerías Pelágicas)” desde 1990/91 hasta 2021/22; (4) Series de biomasa acústicas y composiciones de edad de verano (años 2000 a 2022) y otoño (años 2003 a 2022) provenientes del programa de cruceros IFOP “Evaluación hidroacústica de los stocks de anchoveta y sardina común entre las Regiones de Valparaíso y Los Lagos”; (5) publicaciones científicas y técnicas relacionadas con los parámetros del ciclo de vida (mortalidad natural y madurez).

La información obtenida de los cruceros acústicos indican que durante los años 2015 al 2019, las biomasa acústicas de verano se mantuvieron en niveles en torno a los 2,1 millones de toneladas, lo cual se ve reflejado también en una estabilidad en las capturas totales en torno a las 364,6 mil toneladas. Por otro lado, las biomasa acústicas estimadas por el crucero de otoño reflejan el efecto de la remoción ejercidas por la pesca y causas naturales, con biomasa en general menores a las estimadas en el crucero de verano, en torno a 1,2 millones de toneladas promedio entre el 2015 al 2019. No obstante, para el año 2020 la biomasa estimada por el crucero acústico de verano se redujo a un millón de toneladas (54 % menor al 2019), la biomasa del crucero de otoño disminuye un 39 % respecto al 2019 y las capturas totales del año 2019/20 se redujeron un 10 % respecto al año previo. El desembarque 2019/2020 estuvo en torno a las 273,4 mil toneladas, equivalente a un 85,1 % de la CBA 2020 recomendada por el CCT-PP (321.307 toneladas).

La biomasa total estimada por el crucero de enero 2021 retorno a los niveles observados entre el 2015 al 2019 (2,4 millones de t), incrementando un 125 % respecto a lo estimado para el año 2020 (**Tabla 1** y **Figura 1**). En el crucero de otoño, se estimó una biomasa de 1,1 millón de t, lo que equivale a un incremento del 2015 al 2019 (2,4 millones de t), incrementando un 27 % respecto del año anterior. En relación con la captura total 2020/21 se registró un aumento del 38 % respecto del año biológico 2019/20 (**Tabla 1**). Para el año 2022, el crucero de enero registró un aumento del 35 % de la biomasa respecto al año previo, el crucero de otoño se mantuvo en torno al millón de toneladas y los niveles de capturas se redujeron un 44 % respecto al año previo. La pesquería de sardina común está sustentada principalmente por la abundancia del grupo de edad 0, con una proporción en torno al 61 % de la captura en número de la flota. La captura en número a la edad se caracteriza por presentar una alta variabilidad interanual, siendo los años 2007, 2013, 2016, 2019 y 2020 los años con menor proporción de reclutas. Los pesos medios del grupo de edad 0 se encuentra en torno a los 6,5 grs. Se observa una estabilización de los pesos medios a partir del 2013 para todos los grupos de edad (**Figuras 2**). En relación de la composición de edad de los cruceros de verano se observa que el grupo de edad 0 representa el 75 % de la captura en número. Por otro lado, en el caso del crucero de otoño, el grupo de edad 0 representa el 59 % de la captura en número (**Figuras 3**).

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



0 y 1 principalmente. Los resultados del crucero de verano 2021 mostraron un incremento significativo en los niveles de abundancia de la fracción recluta (94 % individuos de edad 0), a diferencia de los dos años previos, la biomasa total del crucero de verano 2021 estuvo sostenido principalmente por la fracción recluta (edad 0), observándose una baja presencia de individuos adultos (edad 1+). Esta importante participación de la fracción recluta continúa en el crucero de otoño, con un 83 % de individuos de edad 0 y una baja presencia de ejemplares adultos (edad 1+). Para el año 2022, el crucero de verano registró una disminución en la abundancia de la fracción recluta (46 % individuos de edad 0), a diferencia de lo observado el año 2021. La biomasa total estimada por el crucero es sostenida por la fracción recluta y adulta (edad 1, principalmente). El crucero de otoño 2022 y flota 2021/2022 también evidencian una reducción del grupo de edad 0 (70 % crucero de otoño y 16 % flota de individuos de edad 0).

1.2. Diagnóstico del modelo de evaluación de stock

Los índices de abundancia de los cruceros acústicos de verano y otoño contienen un importante nivel de variabilidad que se resume en la amplitud de los intervalos de confianza supuestos con coeficiente de variación $cv=0,3$. El modelo reproduce la tendencia general de la variabilidad en los niveles de biomasa que han presentado las estimaciones de los cruceros, siendo los valores más altos los que se escapan del ajuste, lo cual es consistente con la distribución de probabilidades empleada log-normal que considera sesgo positivo en su distribución. La **Figura 4** muestra que a partir del 2014 el modelo ajusta muy bien la señal de los cruceros acústicos de verano y otoño. Para el año 2022 el modelo no logra capturar el incremento que se observa al incorporar la biomasa del crucero de verano 2022. No obstante es consistente con la señal que entrega el crucero de otoño y desembarques del último año. El suavizador tipo loess de los residuales del modelo sugieren tendencias, principalmente la serie de cruceros de verano y otoño, quienes tienen mayor variabilidad y lejanía relativa respecto de la línea esperada en el qqplot (**Figura 5**). Los datos de captura (desembarques) se asumen insesgados y precisos con un CV de residuos de 0,01 lo cual se refleja en un buen ajuste del modelo a los datos de entrada. El ajuste del modelo a la información de composición de edades en general presenta un buen desempeño, particularmente en representar de mejor forma la composición de edades de los cruceros de verano (**Figuras 6, 7 y 8**). El supuesto de invariabilidad anual de los patrones de explotación como medida de parsimonia, genera algunos desajustes en las composiciones de edades de las capturas, principalmente al inicio de la serie histórica y grupo de edad 0. El comportamiento de los residuales de las composiciones de edades de los cruceros sugiere ciertos patrones que se reflejan principalmente en una tendencia a la subestimación de los grupos de edad 0 en los cruceros de verano y otoño (**Figura 9**).

Se comparan los resultados de los principales indicadores de estatus del modelo base actual (septiembre 2022), con versiones anteriores para evaluar la consistencia de la evaluación presente (**Figura 10**). Al respecto, el análisis no muestra diferencias significativas entre asesorías en términos de reclutamientos y biomasa desovante. Las diferencias observadas en términos de la mortalidad por pesca tiene relación con el supuesto de captura utilizado en las asesorías de marzo, que es corregido en la asesoría de julio y septiembre.

En la **Figura 11** se muestra el patrón retrospectivo estándar y relativo de los reclutas, biomasa desovante y de la mortalidad por pesca de sardina común para el caso base de septiembre 2022. El análisis retrospectivo del modelo de evaluación muestra que en términos de rho (promedio de anomalías retrospectivas) la reducción de información genera un patrón de subestimación de los reclutas y de la biomasa desovante ($\rho = -0,19$ y $\rho = -0,097$, respectivamente), con una sobreestimación de la mortalidad por pesca ($\rho = 0,14$). En general, los últimos años de las series pueden variar sustancialmente entre las sucesivas actualizaciones,



mientras que hacia los primeros años tienden a converger a valores estables. La varianza estadística de las variables utilizadas para medidas de manejo tiende a aumentar en los últimos años de la serie, por lo tanto, son considerados estimaciones menos confiables.

La **Figura 12** muestra el perfil de verosimilitud realizado para la asesoría de septiembre 2022 de cada fuente de dato cuyo mínimo representa la estimación máxima a posteriori del reclutamiento medio (R_0) para cada fuente de error del caso base. El perfil muestra que los datos cuyos perfiles estuvieron más próximos entre si y la diferencia del log verosimilitud respecto del mínimo se elevó por sobre el criterio estadístico $X^2 = 1,92$ fueron la biomasa acústica de verano (Bio_Reclas) y la proporción de edad del crucero de verano (C.Edad_Recl).

1.3. Indicadores del stock

Las tendencias de los reclutamientos han mostrado importantes fluctuaciones interanuales y en su historia conocida se aprecian tres períodos relevantes, a) Reclutamiento promedio del período 1991-2007 con los niveles más bajos de reclutamientos (98,22 mil millones de peces), b) Reclutamiento promedio del período 2008-2012 con los más altos niveles de reclutamiento (408,3 mil millones de peces) y c) Reclutamiento promedio del período 2013-2022 en torno a 165,7 mil millones de peces. Se destaca una recuperación importante de la clase anual 2021 respecto de los bajos niveles estimados en los 2 años precedentes. En relación a los tres períodos relevantes, el reclutamiento 2022 es un 5,1 % mayor al reclutamiento bajo (período 1991-2007), un 74,7 % menor al reclutamiento alto (período 2008-2012) y un 37,7 % menor al reclutamiento medio (2013-2022) (**Tabla 3 y Figura 13**).

La biomasa total de este recurso, es sustentada esencialmente en los grupos de edad 0 y 1 año. En general, los grupos de edad 2+ no revisten mayor contribución en la producción tanto a nivel de desove como de biomasa disponible a la flota. La tendencia de la biomasa total muestra un importante crecimiento a partir del año 2008 que genera un cambio de nivel que se mantiene hasta el 2018. Sin embargo, presenta una alta variabilidad producto de las fluctuaciones del reclutamiento. El promedio de la biomasa total para el período de mayor productividad de sardina común entre los años 2008 y 2012 es de 2,88 millones de toneladas. Para el año 2022 se estimó una biomasa total actualizada de 2,03 millones de toneladas, un 29,4 % menor al promedio del período de mayor productividad y un 14,5 % mayor al promedio histórico de la serie (promedio 1991-2022 = 1,77 millones de t.) (**Tabla 3 y Figura 13**).

Por otro lado, la biomasa desovante promedio de la serie histórica se encuentra en torno a 805,8 mil toneladas, mientras que el promedio de los últimos 10 años (período 2013-2022) de la serie es de 1,1 millones de toneladas. Al respecto, la biomasa desovante esperada para el año biológico 2021/2022 es un 46,5 % mayor al promedio histórico y un 7,3 % mayor al promedio de los últimos 10 años (período 2013-2022) (**Tabla 3 y Figura 13**). La biomasa desovante al Máximo Rendimiento Sostenido (BD_{RMS}) está en torno a las 859,4 mil toneladas, de esta forma la $BD_{2021/2022}$ está un 37,3 % sobre BD_{RMS} (**Tabla 4 y 5 y Figura 13**). La biomasa desovante está sustentada principalmente por la fracción adulta, correspondiente a individuos de edad 1+, la cual disminuyó su abundancia producto de la disminución del reclutamiento de dos años previos consecutivos 2019 y 2020 junto a la disminución de la biomasa adulta (1+ años) el 2020, provocando que la biomasa desovante del año biológico 2020/2021 disminuyera significativamente respecto a años previos. No obstante, los altos reclutamientos registrados durante el 2021, junto a la disminución de las capturas permitirían retornar a niveles de biomasa desovante sobre la biomasa objetivo para el año actual (2021/2022).

La mortalidad por pesca (F_t) ha sido más bien baja, en general menor a la mortalidad natural ($M=1,0 \text{ año}^{-1}$),

excepto para el año 2004 cuando los niveles de biomasa eran bajos. Esto se ve reflejado en las capturas, que, en promedio, han seguido las fluctuaciones en biomasa con tasas de explotación moderadas (**Tabla 3 y Figura 13**). A partir del año 2005, la mortalidad por pesca ha seguido una tendencia al descenso, acentuada desde el año 2013 bajo el valor de F_{RMS} producto de la aplicación de F60 %. Para el año 2021/2022 la mortalidad por pesca se redujo en un 45,4 % respecto al año previo (año 2021). Por su parte, la selectividad de la flota indica que el recurso alcanza su completo reclutamiento a la pesquería a la edad de 1 año cuando su retención es del 97,6 %, mientras que los individuos de edad 0 son vulnerados un 68,5 %. De igual forma, la información del crucero acústico de verano y otoño indican que todos los individuos son vulnerables en un 100 % por el arte de pesca empleado (arrastre de media-agua y cubre-copo) y cubiertos por el diseño de muestreo (**Figura 14**).

1.4. Puntos Biológicos de Referencia (PBRs) y Estatus

En la **Tabla 5** se muestran los valores calculados de BD_0 , BD_{RMS} , BD_{LIM} y F_{RMS} , recomendados por el Comité Científico Técnicos de Pelágicos Pequeños (Informe Técnico CCT-PP N°01/2015) de acuerdo con la metodología discutida durante el segundo taller (Abril, 2014) y tercer taller (Agosto, 2014) de PBRs (Payá et al., 2014). El valor mediano de la mortalidad por pesca experimentado históricamente (F_{mh}) por el stock de sardina común centro-sur cercano a F_{RMS} ($F_{57\%BDPR}$) un porcentaje bajo considerando los altos niveles de mortalidad por pesca que ha experimentado el stock (bajo el valor de mortalidad natural, $M=1,0 \text{ año}^{-1}$) (**Figura 15**). Esto podría explicarse por la ubicación de la curva de selectividad respecto a la madurez, donde la selectividad se encuentra a la izquierda de la curva de madurez, producto de que la pesquería presenta una alta selección de juveniles, de manera que la selectividad de la flota comienza antes de la madurez (**Figura 16**). Esta condición produciría valores de F60 % más moderados, que aumentaría si la selectividad fuese igual a la madurez.

La **Figura 17** muestra que en el inicio de la serie histórica la biomasa indicaría una caída $BD < BD_{RMS}$ entre los años 1994 y 1995 producto probablemente de fallas sucesivas en los reclutamientos. El estado de la pesquería de sardina común durante los años 1998 y 2006 estuvo marcado por condiciones ambientales “El Niño” 1997-1998, provocando la caída hacia niveles inferiores de la biomasa desovante límite (BD_{LIM}) bajo el cual una pesquería califica de agotada o colapsada. A partir del 2007 comienza un período favorable para la condición de sardina común, ingresando a un proceso de expansión poblacional que permite el año 2009 desplazarse hacia un nivel de biomasa desovante superior al BD_{RMS} .

La $BD_{2021/2022}$ esperada está un 37,3 % sobre BD_{RMS} (**Figura 17**). La biomasa desovante está sustentada principalmente por la fracción adulta, correspondiente a individuos de edad 1+, la cual disminuyó su abundancia producto de la disminución del reclutamiento de dos años previos consecutivos 2019 y 2020 junto a la disminución de la biomasa adulta (1+ años) el 2020, provocando que la biomasa desovante del año biológico 2020/2021 disminuyera significativamente respecto a años previos. No obstante, los altos reclutamientos registrados durante el 2021 permitirían retornar a niveles de biomasa desovante sobre la biomasa objetivo para el año actual (2021/2022). En términos de la mortalidad por pesca ($Ft \text{ año}^{-1}$), ésta se había mantenido por sobre el nivel objetivo de referencia F_{RMS} en prácticamente toda la serie histórica analizada, producto de la alta selección de juveniles capturados antes de que estos maduren (**Figura 17**).

La alta selectividad de juveniles conlleva a un valor de F_{RMS} ($F_{60\%BDPR}$) más moderado que una selectividad cercana o por sobre la ojiva de madurez. A partir del año 2013 los niveles de Ft se han mantenido bajo el nivel de referencia generado posiblemente por las caídas de los reclutamientos en algunos años y las bajas CBAs recomendadas luego de la implementación de los PBRs. Con respecto a la razón



entre $F_{2021/22}$ y F_{RMS} es de 0,42 (**Figura 17**). La condición estimada con información completa para el año 2021/2022 indica que la sardina común se encuentra al límite de la subexplotación (37,3 % sobre BD_{RMS} y 57,6 % bajo F_{RMS}), con un 2,2 % de probabilidad de sobreexplotación y 0 % de probabilidad de sobrepesca (**Tabla 4 y Figura 18**).

1.5. Proyección del stock años biológicos 2022/2023 y 2023/2024

La proyección de la población se realizó 2 años biológicos hacia el futuro (julio 2022-junio 2023 y julio 2023-junio 2024) en base a tres escenarios de reclutamiento: a) un escenario desfavorable que consiste en el reclutamiento promedio del período 1991-2007 (98,2 mil millones de ind.), b) un escenario favorable que corresponde al promedio de los reclutamientos del período 2008 - 2012 (408,3 mil millones de ind.) y un escenario que representa el período reciente entre el 2013-2022 (165,7 mil millones de ind.) (**Figura 19**), con una mortalidad por pesca en torno al F_{RMS} y pesos medios igual al promedio de los últimos 5 años. Las **Figuras 19 y Tabla 7** indican que independiente del escenario de reclutamiento, en términos de biomasa desovante proyectada al 2022/2023 (753,7 mil t) se observa una disminución del 36,1 % respecto al año previo 2021/2022 (1,18 millones de t), de este modo la probabilidad de sobreexplotación aumenta a un 53,8 % para el año biológico 2022/2023. Mientras que la biomasa desovante proyectada hacia el 2023/2024 depende del reclutamiento proyectado hacia el 2023 y 2024, la probabilidad de sobreexplotación puede aumentar a un 64,4 % si los reclutamientos se encuentran en torno al promedio de los años recientes 2013-2022. Mientras que la probabilidad puede aumentar a un 95,2 % si los reclutamientos son bajos (1991-2007) (**Tabla 7 y Figura 20**). La **Tabla 8** muestra la captura proyectada para los años biológicos 2022/2023 y 2023/2024 considerando una mortalidad por pesca igual al F_{RMS} , con sus respectivos escenarios de reclutamientos. El cálculo de la Captura al RMS (C_{RMS}) para el año calendario 2023 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 para el hito 1 del ciclo de manejo. De este modo, la captura al RMS para el año biológico 2022/2023 puede variar según el escenario de reclutamiento entre 307 mil t a 368 mil t. Si el 70 % de la captura 2022/2023 se realiza durante el primer semestre 2023, la captura puede variar entre 215 mil t a 258 mil t, dependiendo del reclutamiento 2023. El aporte del reclutamiento en la estimación de captura 2022/2023 es de un 63 % para un escenario de reclutamiento alto ($R_{2008-2012}$), de un 41 % para un escenario de reclutamientos recientes ($R_{2013-2022}$) y de un 29 % para un escenario de reclutamiento bajos ($R_{1991-2007}$) (**Figura 21**). En el caso de la captura proyectada para el año 2023/2024, los escenarios de reclutamientos tienen un efecto en el grupo de edad 0 y 1, por lo tanto, es una estimación con mayor incertidumbre (**Figura 21**).

1.6. CBA 2023 Inicial

El cálculo de la CBA inicial para el año calendario 2023 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 %. Las **Tablas 9 y 10 y Figura 22** muestran los rangos de capturas para el año 2023 estimada bajo un escenario de $R_{1991-2007}$ podría situarse entre 217,9 mil t y 290,5 mil t; bajo un escenario de $R_{2008-2012}$ entre 525 mil t y 652 mil t y, bajo un escenario de $R_{2013-2022}$ entre 273,1 mil t y 369,2 mil t. Considerando el descuento del 4 % de descarte 2023, los rangos de capturas para el año 2022 estimada bajo un escenario de $R_{1991-2007}$ podría situarse entre 209,1 mil t y 278,9 mil t; bajo un escenario de $R_{2008-2012}$ entre 504 mil t y 625,9 mil t y, bajo un escenario de $R_{2013-2022}$ entre 262,2 mil t y 354,4 mil t. Para evaluar el efecto que tiene la decisión de la CBA en base a los percentiles (10 %-50 %) que en general son menores



a la captura al RMS (percentil del 50 %), se calculó el resguardo a lo cual equivale cada percentil (**Tabla 11**). Esos niveles variaron en promedio entre un 4,7 % para un percentil del 40 % hasta un 23,3 % para un percentil de probabilidad del 10 %, considerando tres escenarios de reclutamiento.

2. FIGURAS

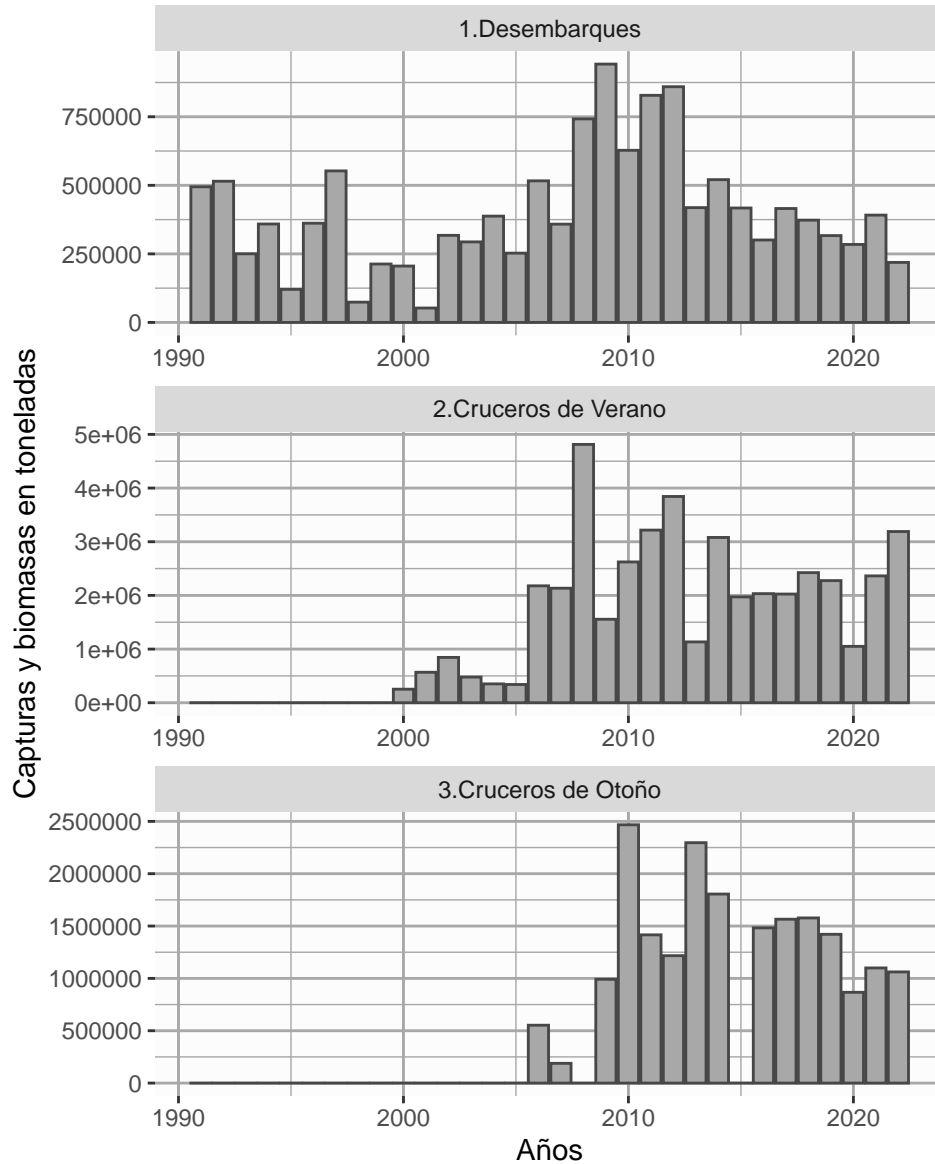


Figura 1. Serie de desembarques y biomazas estimadas por la evaluación hidroacústica de verano y otoño utilizadas como datos de entrada al modelo de evaluación de stock de sardina común de las regiones de Valparaíso a Los Lagos. Los datos de desembarques se agrupan en año biológico. Los datos de cruceros representa al año calendario.

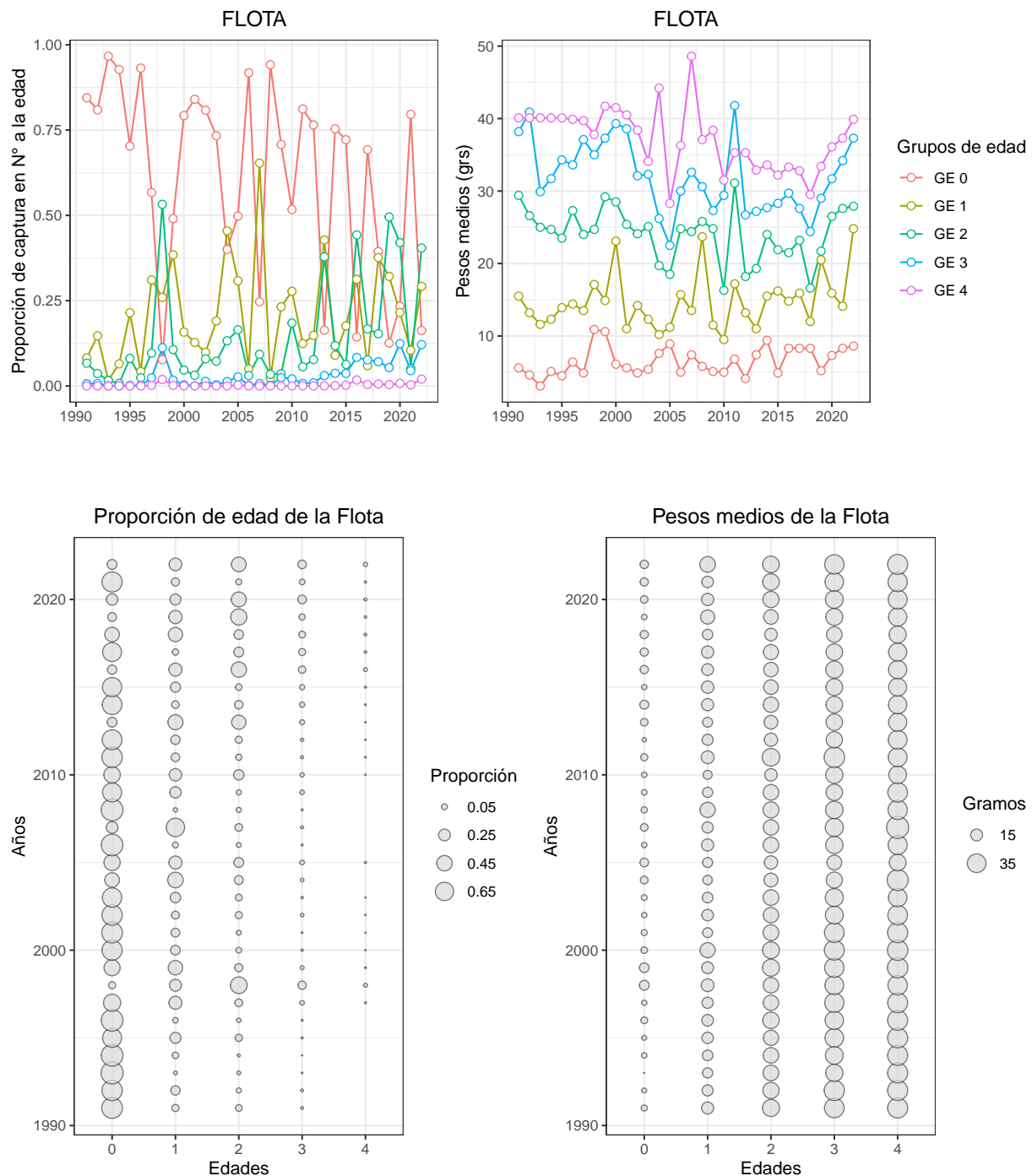


Figura 2. Variabilidad interanual de la proporción de la captura de la flota (panel izquierdo superior) y pesos medios (panel derecho superior) de cada grupo de edad (edad 0 a 4). Composición de edad de la captura de la flota (panel izquierdo inferior) y pesos medios (panel derecho inferior) utilizados en la evaluación de stock de sardina común de las regiones de Valparaíso a Los Lagos.

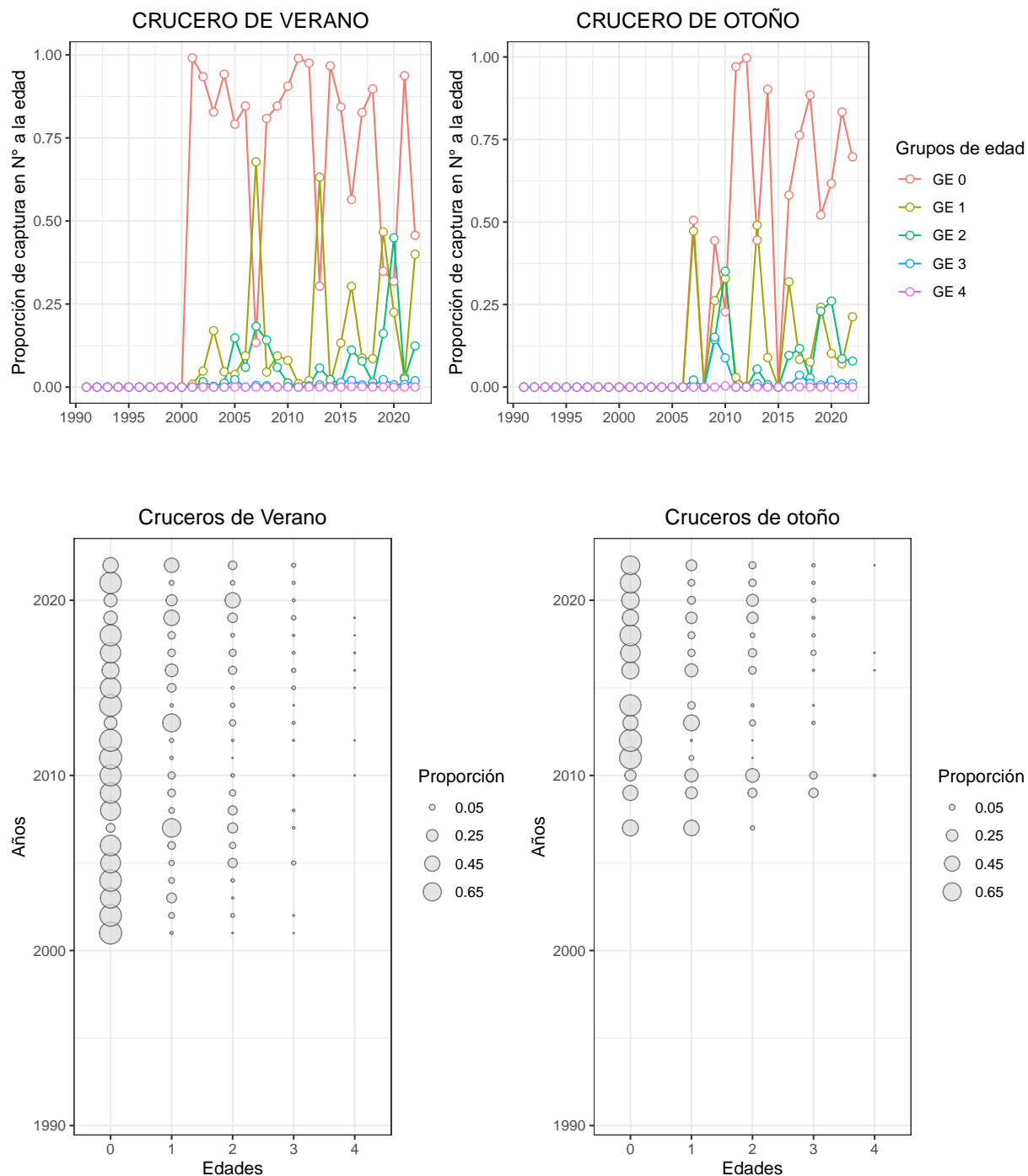


Figura 3. Variabilidad interanual de la proporción de la captura del crucero de verano (panel izquierdo superior) y crucero de otoño (panel derecho superior) de cada grupo de edad (edad 0 a 4). Composición de edad de la captura de los cruceros de verano (panel izquierdo inferior) y otoño (panel derecho inferior) utilizados en la evaluación de stock.

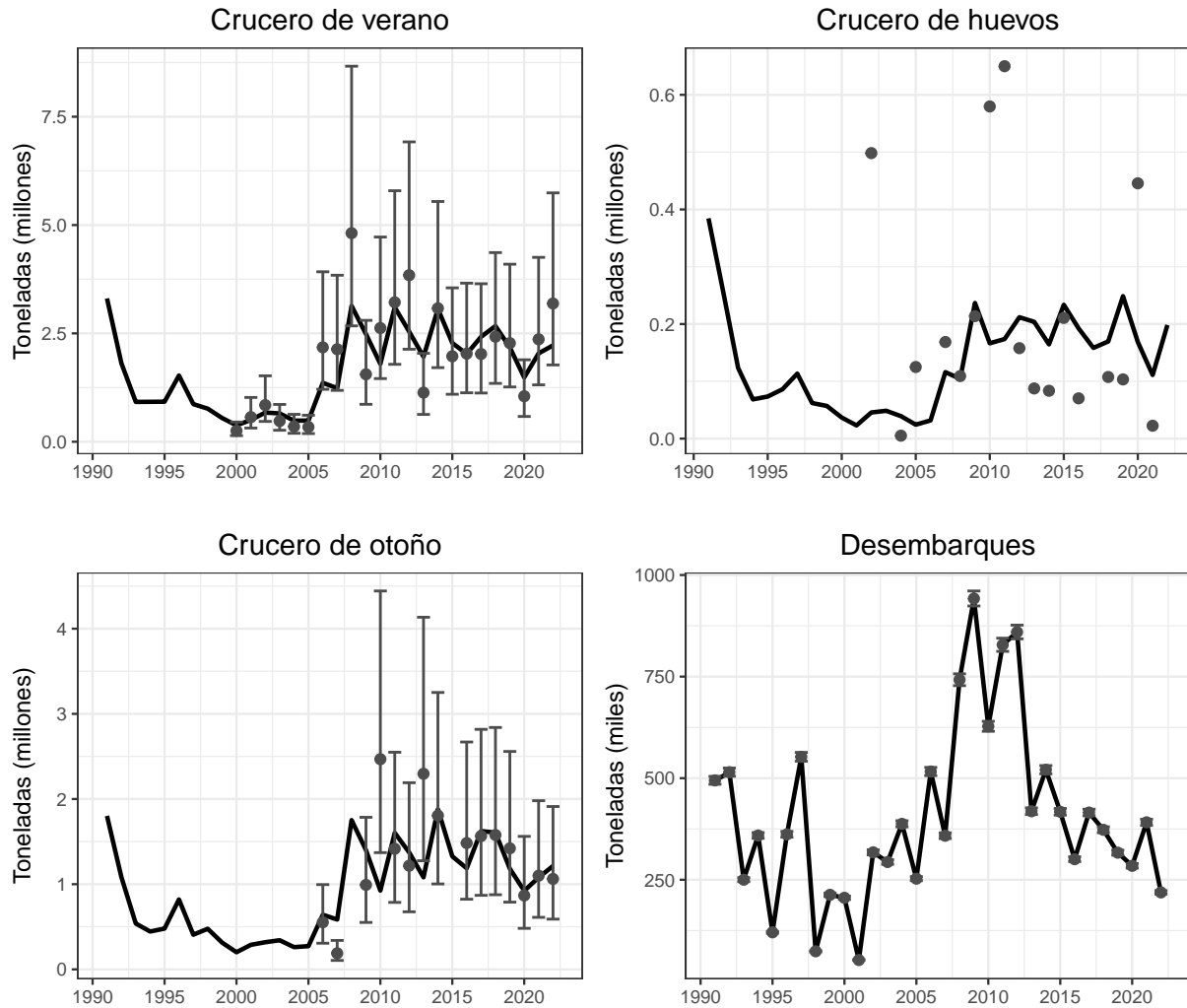


Figura 4. Ajustes del modelo anual en edades a los valores de biomásas de cruceros de verano, otoño y desembarques. Las barras corresponden al intervalo de confianza asintótico y el círculo al valor del estimador central. Los años de la serie de desembarques corresponden a año biológico.

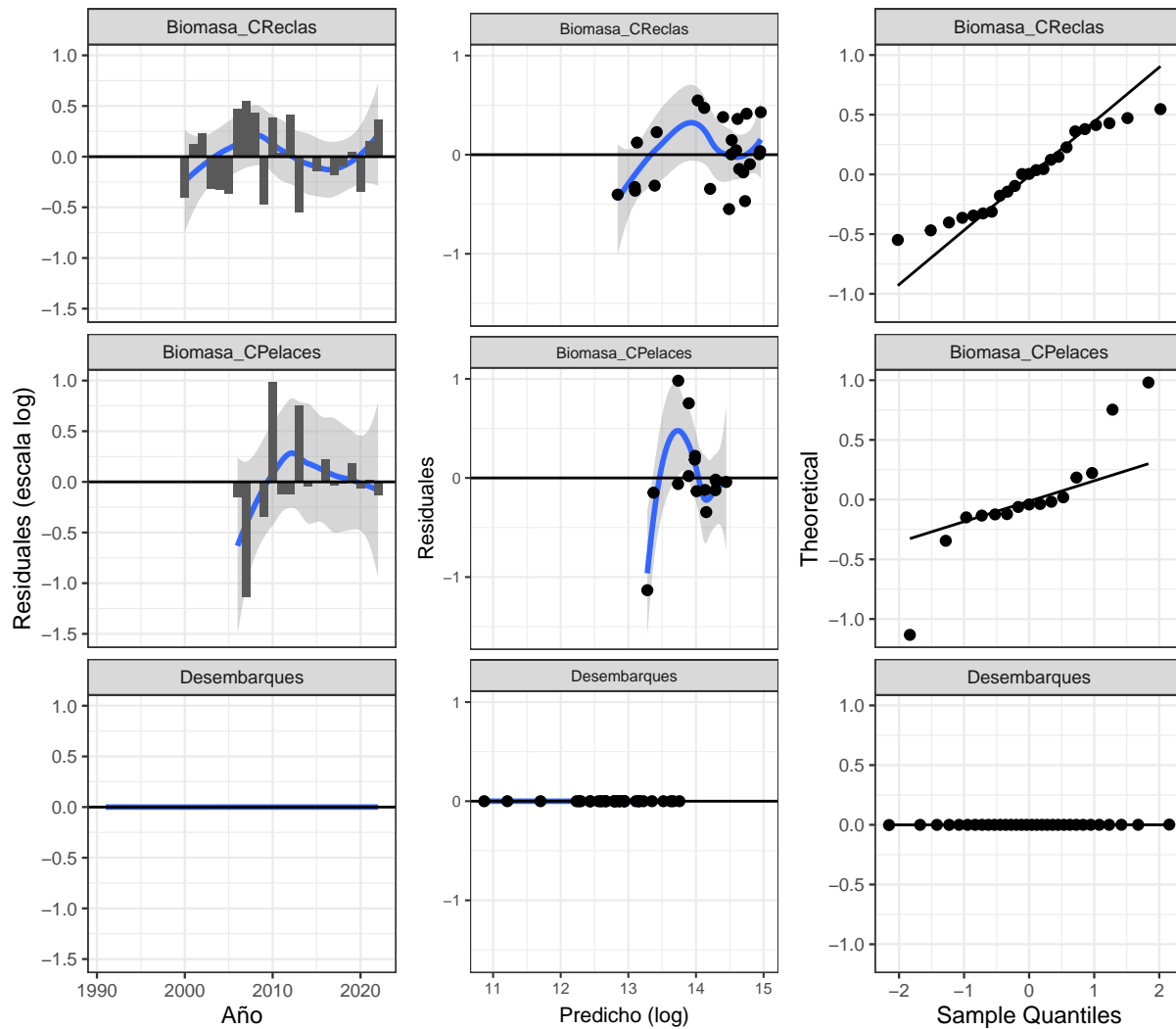


Figura 5. Residuales (escala log) del ajuste del modelo base actual a los datos de entrada. Línea azul y zona gris corresponden a un suavizador tipo Loess.

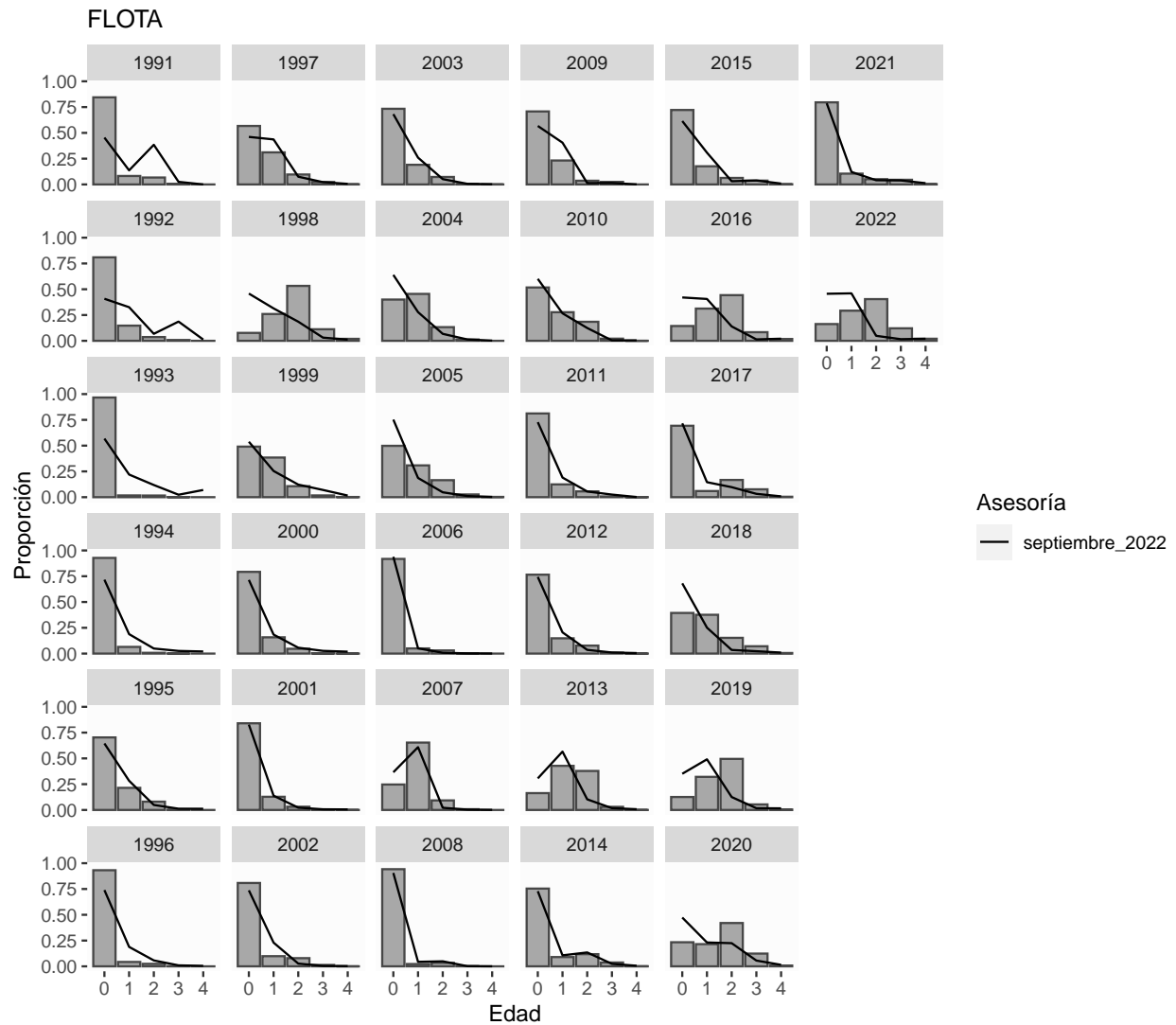


Figura 6. Ajuste del modelo base a las composiciones de edades de la flota de sardina común de las regiones de Valparaíso a Los Lagos. Los años corresponden a año biológico.

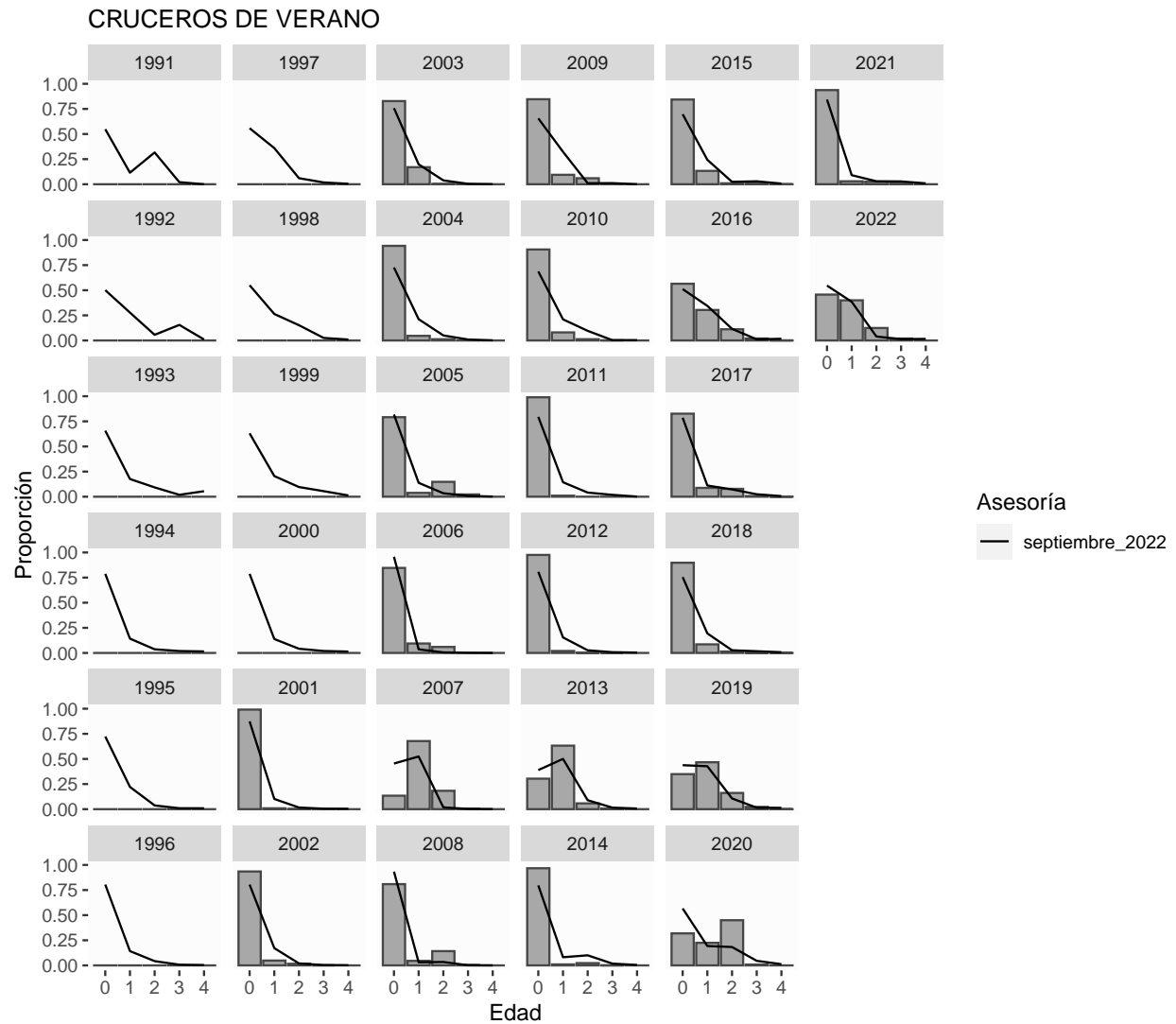


Figura 7. Ajuste del modelo base a las composiciones de edades de los Cruceros de verano de sardina común de las regiones de Valparaíso a Los Lagos.

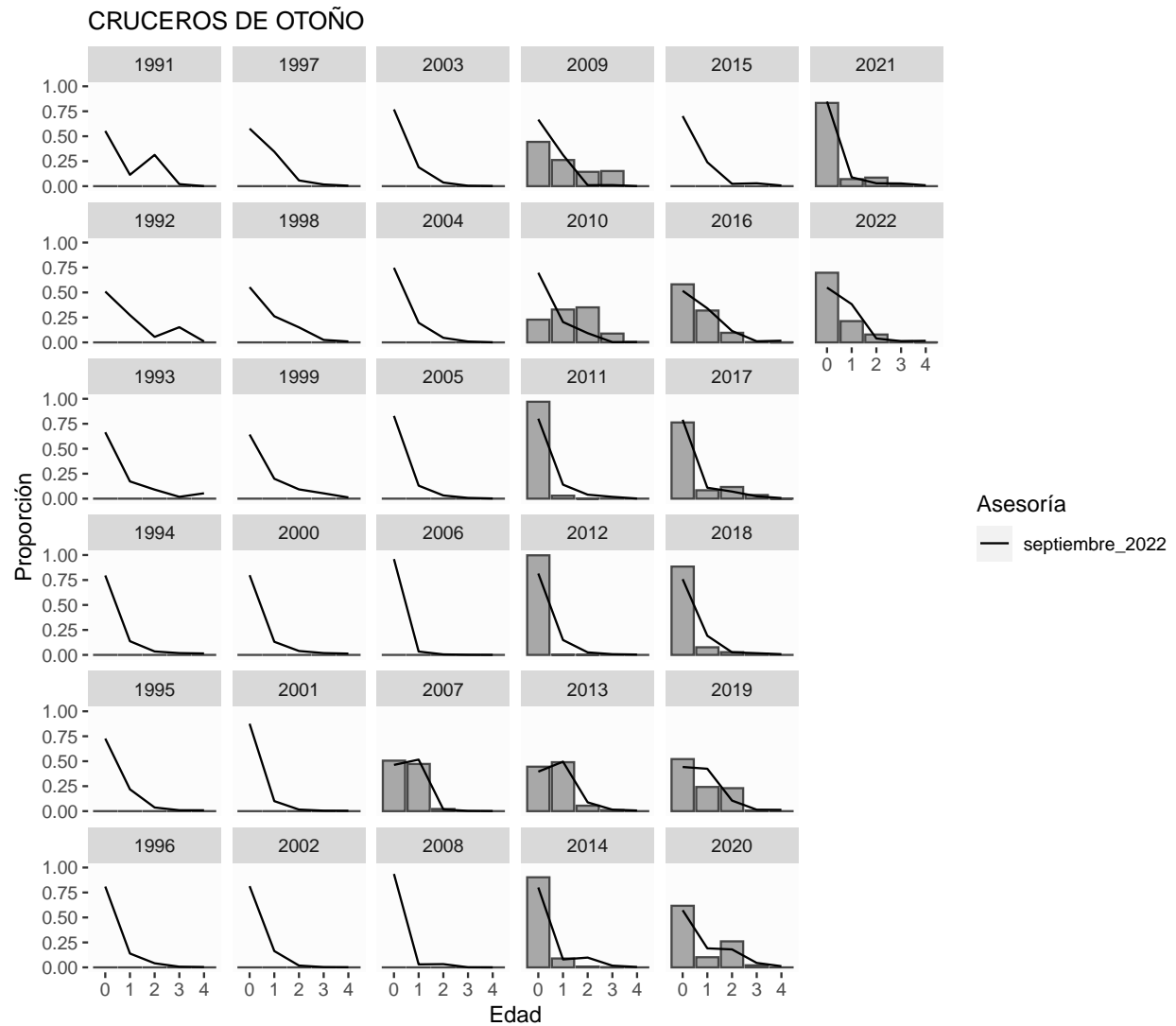


Figura 8. Ajuste del modelo base a las composiciones de edades de los Cruceros de otoño de sardina común de las regiones de Valparaíso a Los Lagos.

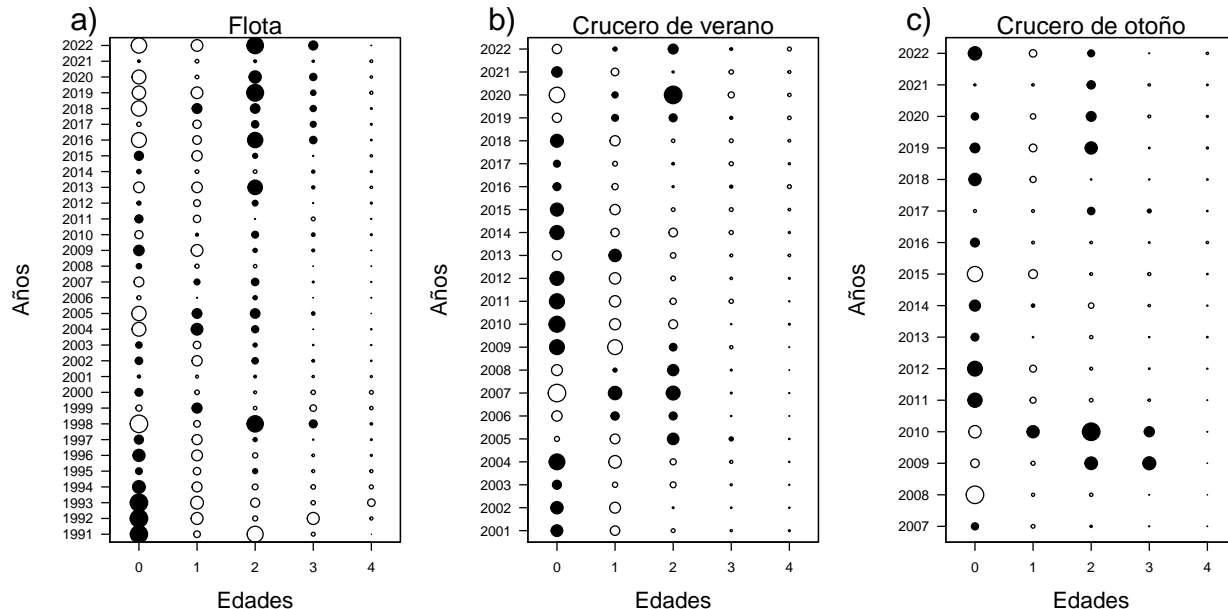


Figura 9. Residuales del modelo base actual a las composiciones de edades de la flota y cruceros. Subestimaciones (círculos negros) y sobreestimaciones (circulo blanco), donde el tamaño corresponde a la magnitud relativa de error por edad.

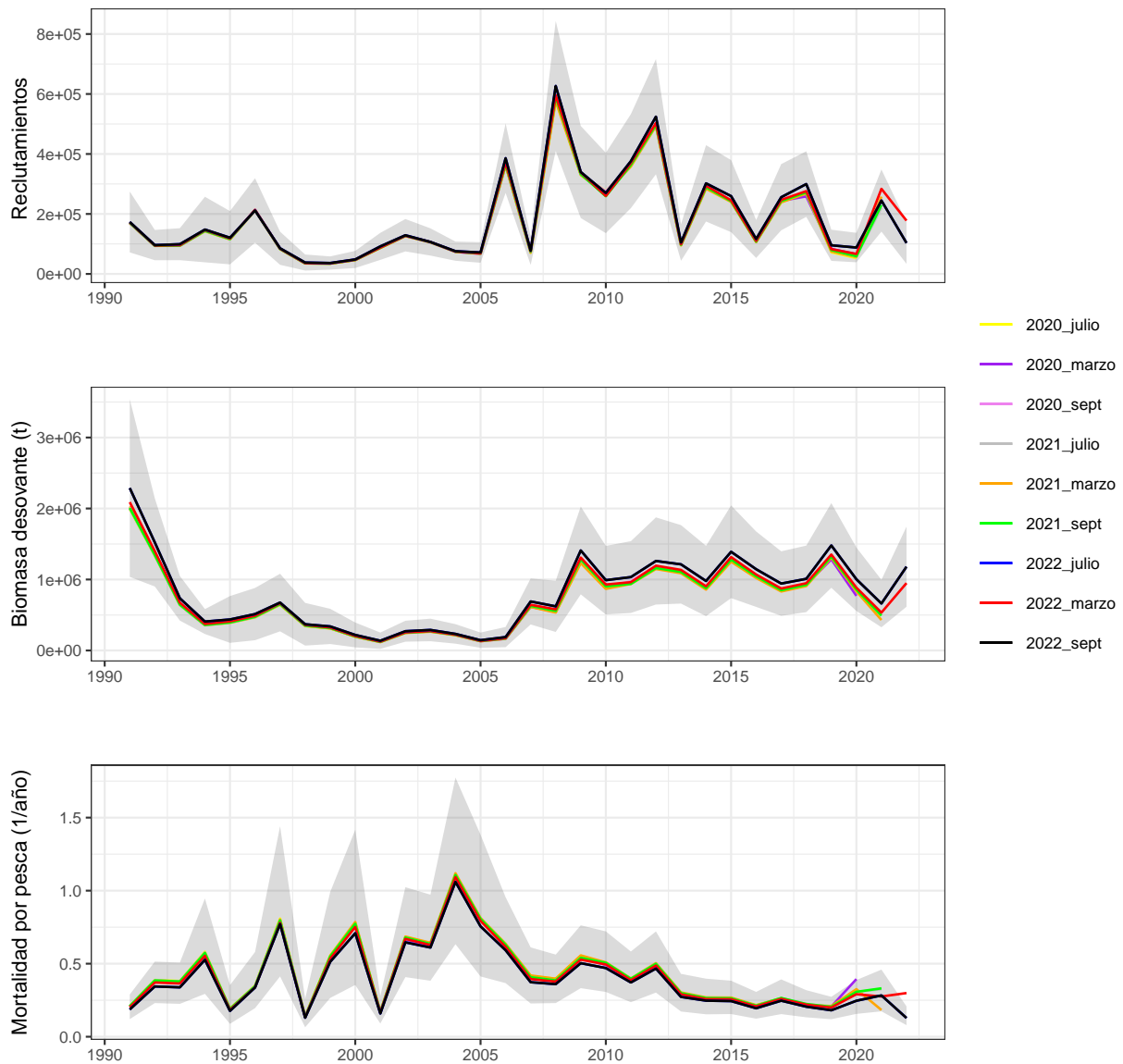


Figura 10. Comparación con asesorías anteriores del reclutamiento, biomasa desovante y mortalidad por pesca ($F_{año}^{-1}$) de la sardina común. Los años en el eje x corresponden a año biológico.

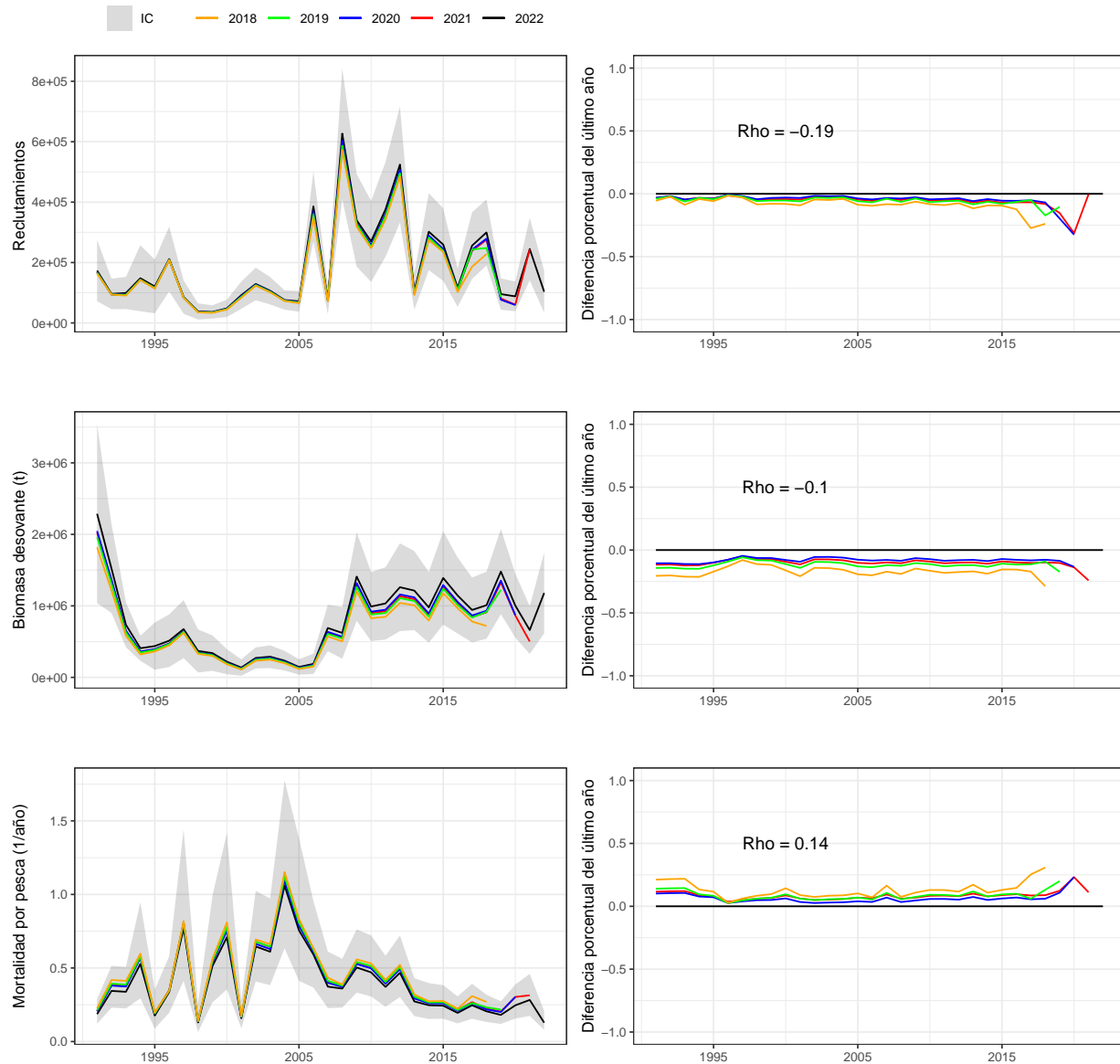


Figura 11. Patrón retrospectivo estándar (panel izquierdo) y relativo (panel derecho) de los reclutamientos, biomasa desovante y de la mortalidad por pesca de sardina común centro-sur para el modelo base actual. Los años en el eje x corresponden a año biológico.

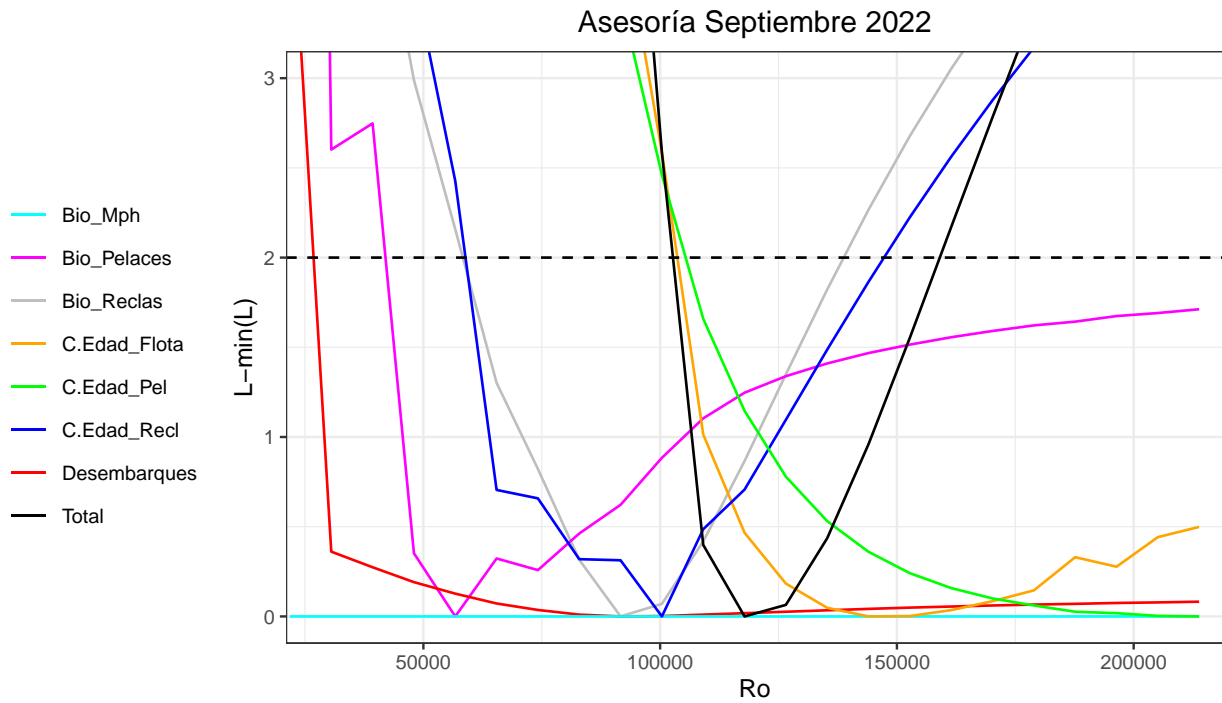


Figura 12. Perfiles de verosimilitud donde la línea horizontal representa el nivel crítico para el test χ^2 .

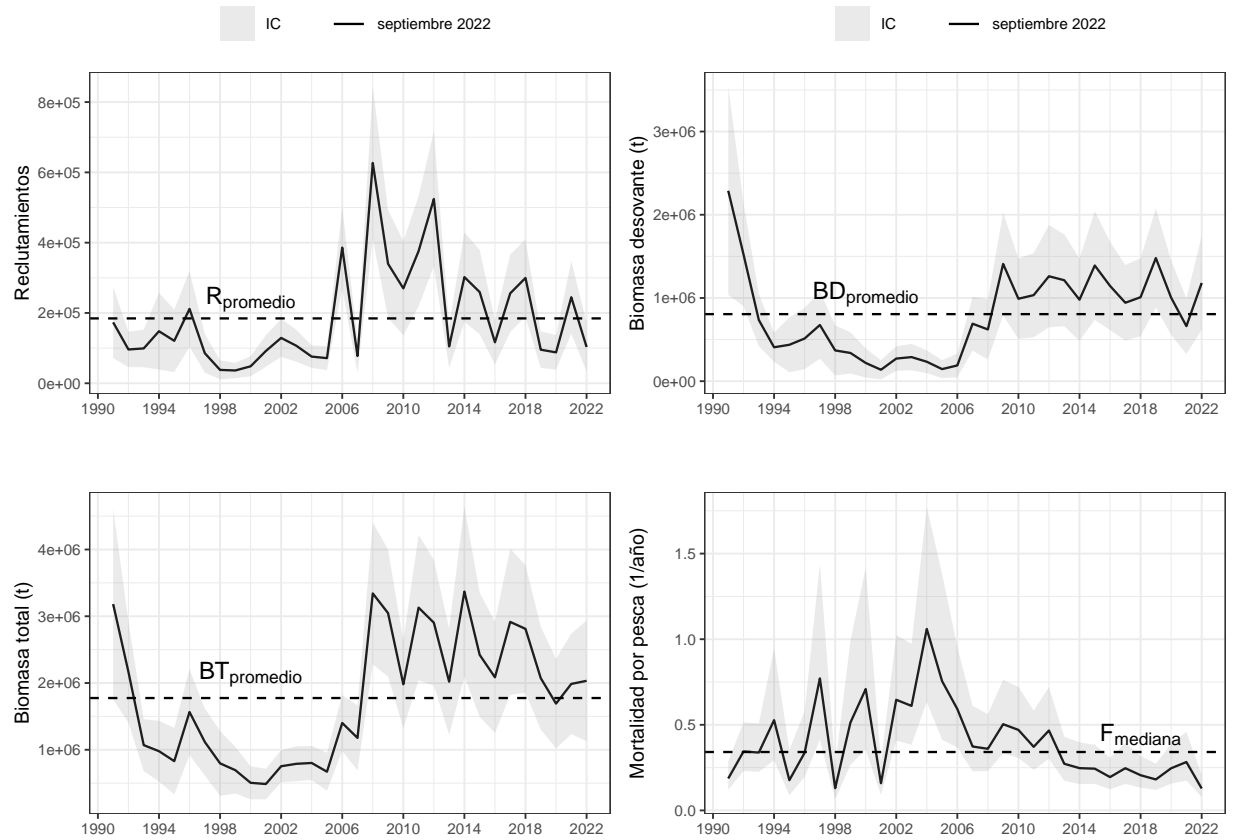


Figura 13. Estimaciones medias de los reclutamientos (R), biomasa total (BT), biomasa desovante (BD) y mortalidad por pesca (F) y su respectivo Intervalo de Confianza (IC). Las línea segmentada corresponde al promedio y mediana de la serie respectiva. Los años en el eje x corresponden a año biológico.

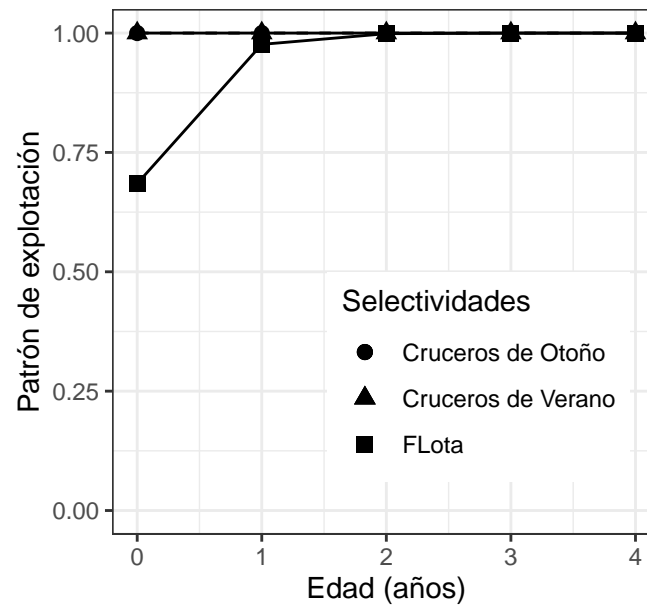


Figura 14. Patrón de explotación o selectividad de la flota y de los cruceros acústicos de sardina común de las regiones de Valparaíso a Los Lagos.

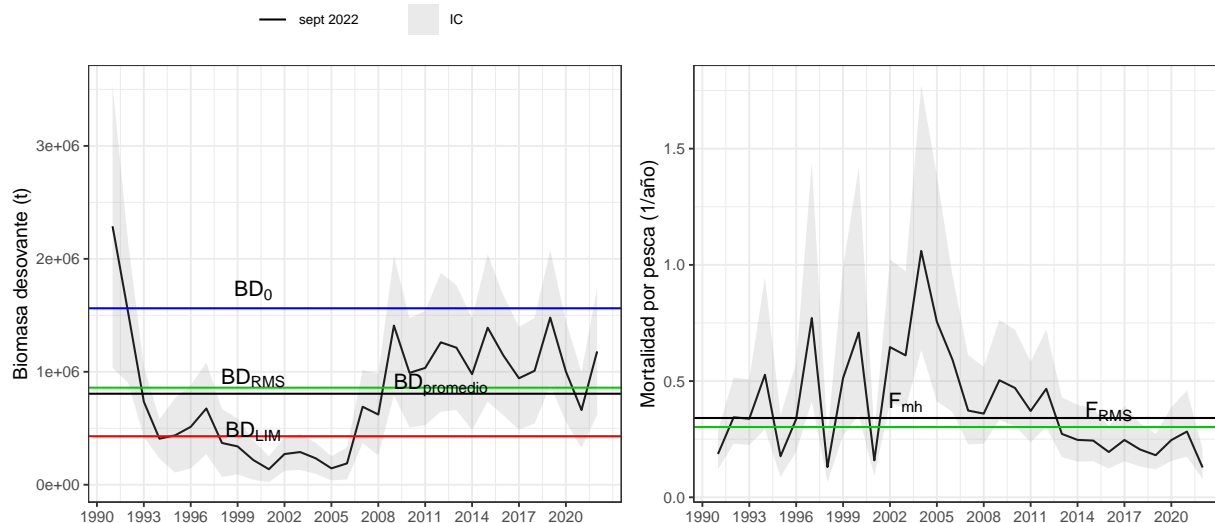


Figura 15. Series de Biomasa desovante y mortalidad por pesca junto a los PBRs calculados a partir de la BD promedio y mediana de F (F_{mh}). Los años en el eje x corresponden a año biológico.

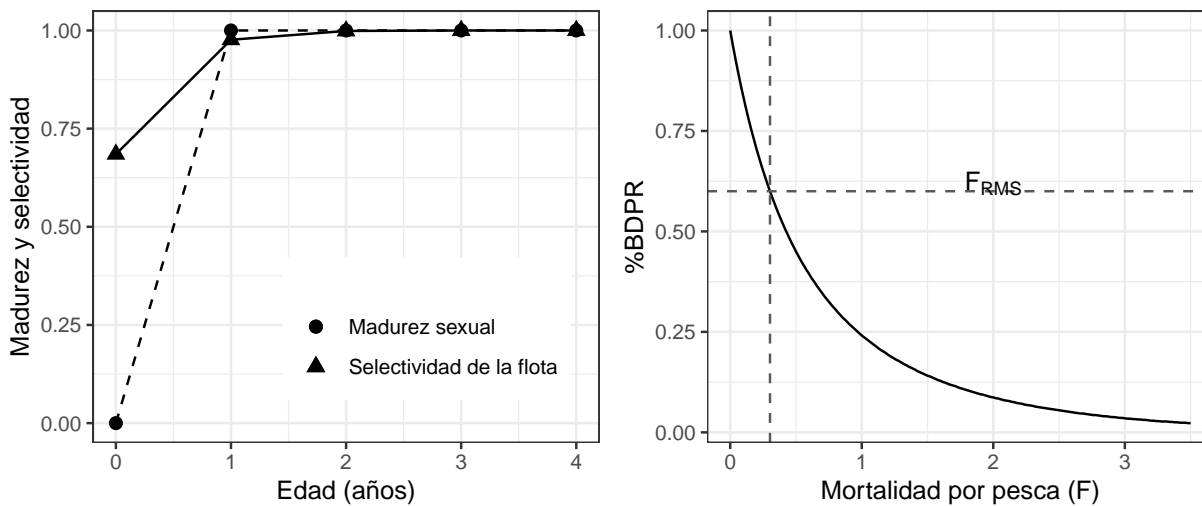
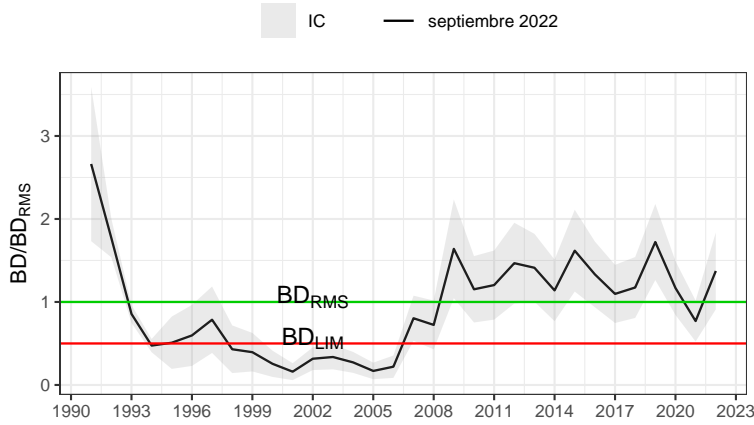
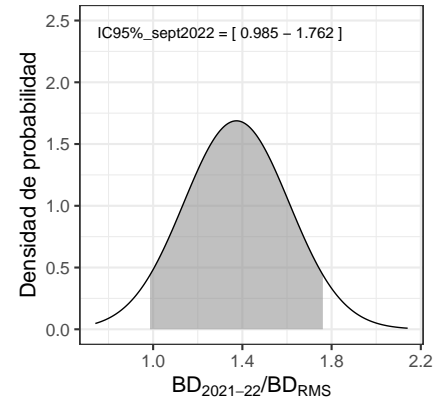


Figura 16. Madurez, selectividad (Panel izquierdo) y Curva de Biomasa por Recluta (%BDPR) (Panel derecho), utilizados en los cálculos de F_{RMS} .

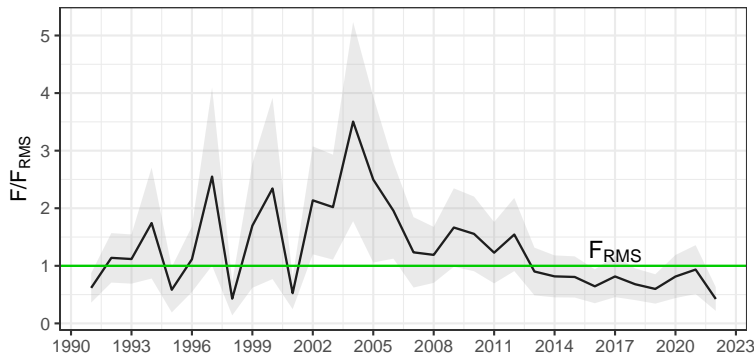
a)



b)



c)



d)

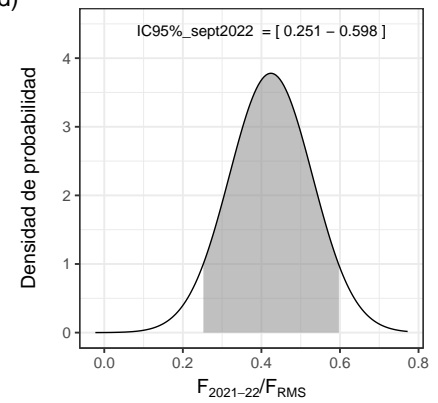


Figura 17. a) Razón BD/BD_{RMS} , b) la distribución de probabilidad de $BD_{2021-22}/BD_{RMS}$, c) razón F/F_{RMS} y d) la distribución de probabilidad $F_{2021-22}/F_{RMS}$. Los años en el eje x corresponden a año biológico.

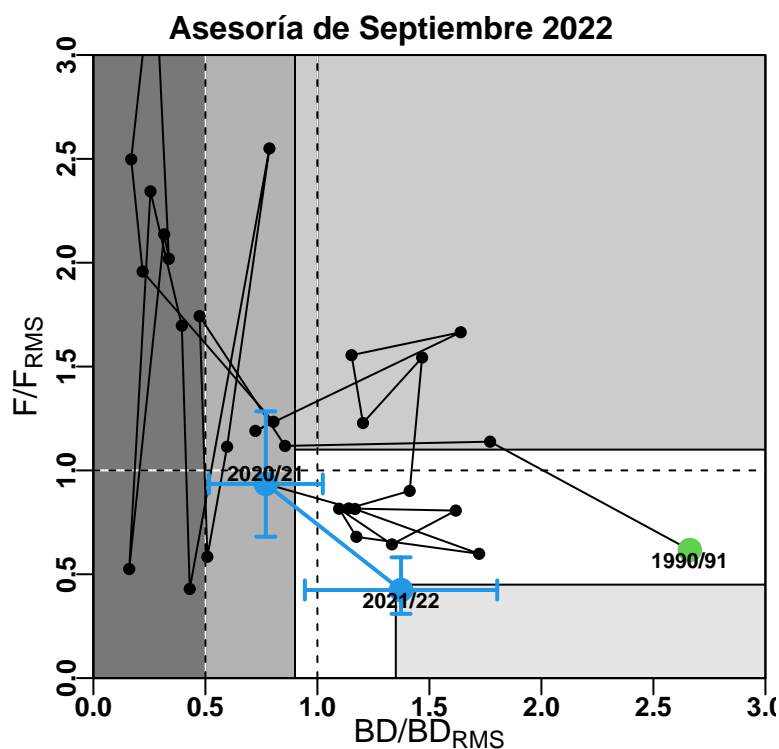


Figura 18. Diagrama de fases de explotación de la biomasa desovante respecto de la mortalidad por pesca de la asesoría de septiembre 2022. Los ejes están estandarizados a los valores que generan el RMS proxy. Cruz azul corresponde a los intervalos de confianza de la razón BD/BD_{RMS} y F/F_{RMS} . El año con cruz continua corresponde a *Estatus completo*.

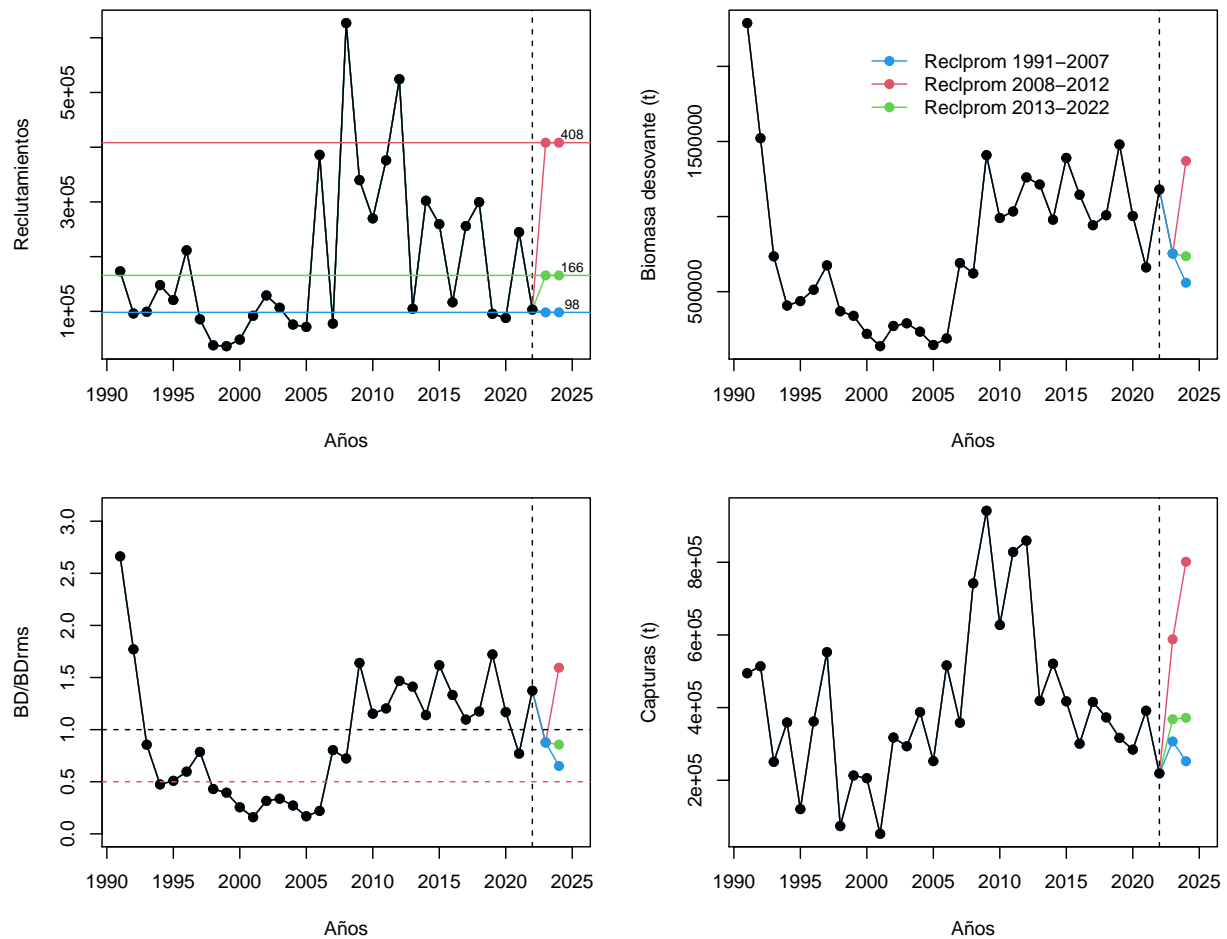


Figura 19. Proyección de dos años biológicos (2022/2023 y 2023/2024) de la biomasa desovante, razón BD/BD_{RMS} y capturas en base a tres escenarios de reclutamiento proyectado. Asesoría de septiembre 2022.

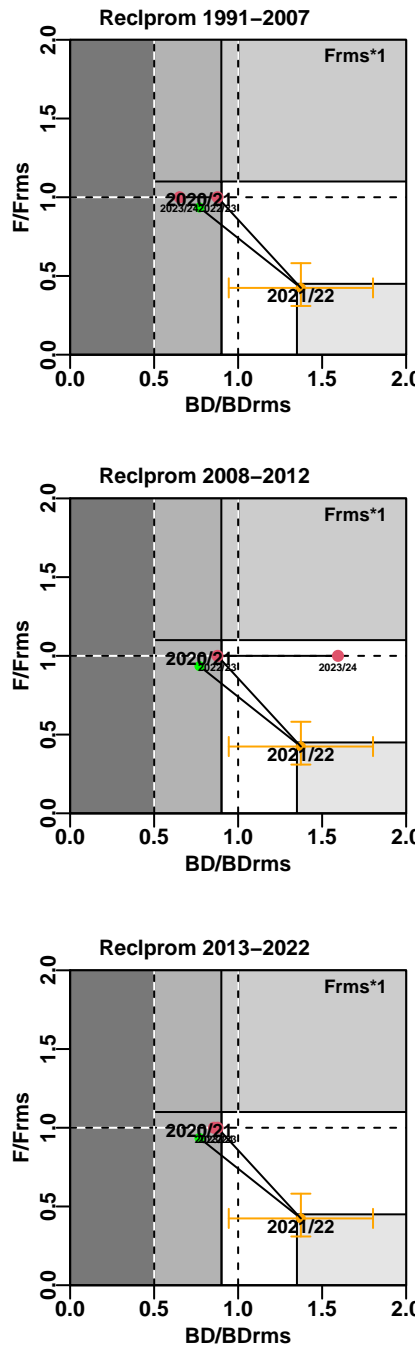


Figura 20. Diagramas de fases de explotación de la biomasa desovante respecto de la mortalidad por pesca mostrando el estatus de sardina común para el año previo 2020/21 (punto verde), año actual 2021/22 (punto y cruz naranja) y años proyectados 2022/23 y 2023/2024 (puntos rojo) bajo un escenario de reclutamiento promedio bajo [1991-2007], reclutamiento promedio alto [2008-2012], reclutamiento promedio reciente [2013-2022]. Asesoría de septiembre 2022.

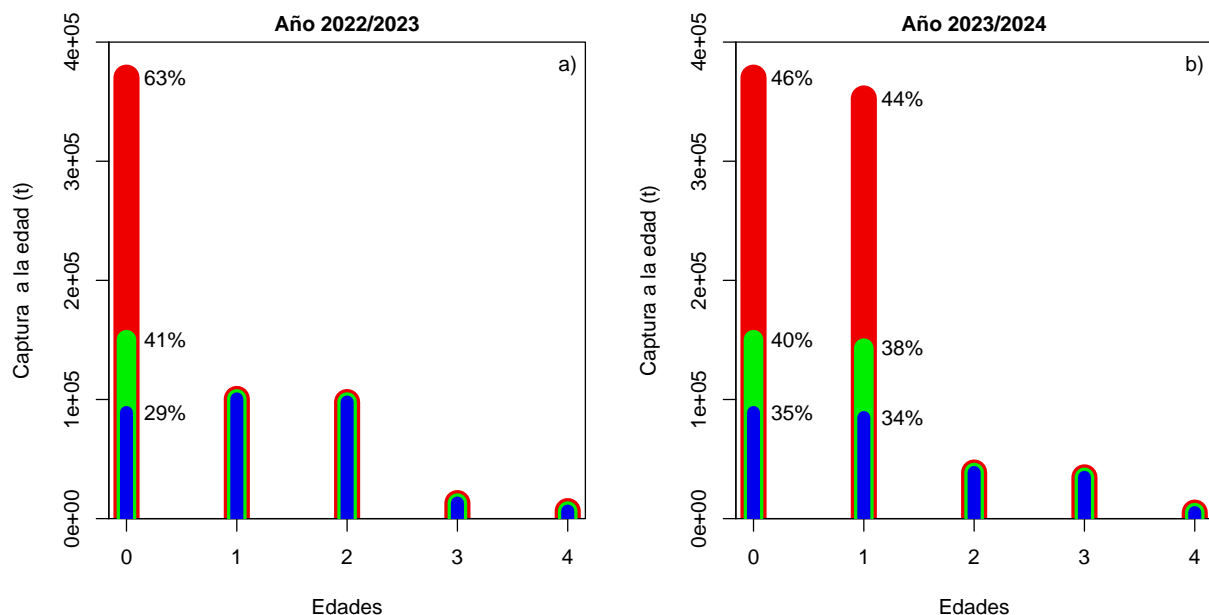


Figura 21. Captura a la edad proyectada años 2022/2023 y 2023/2024 bajo tres escenarios de reclutamiento proyectado en el hito 1.

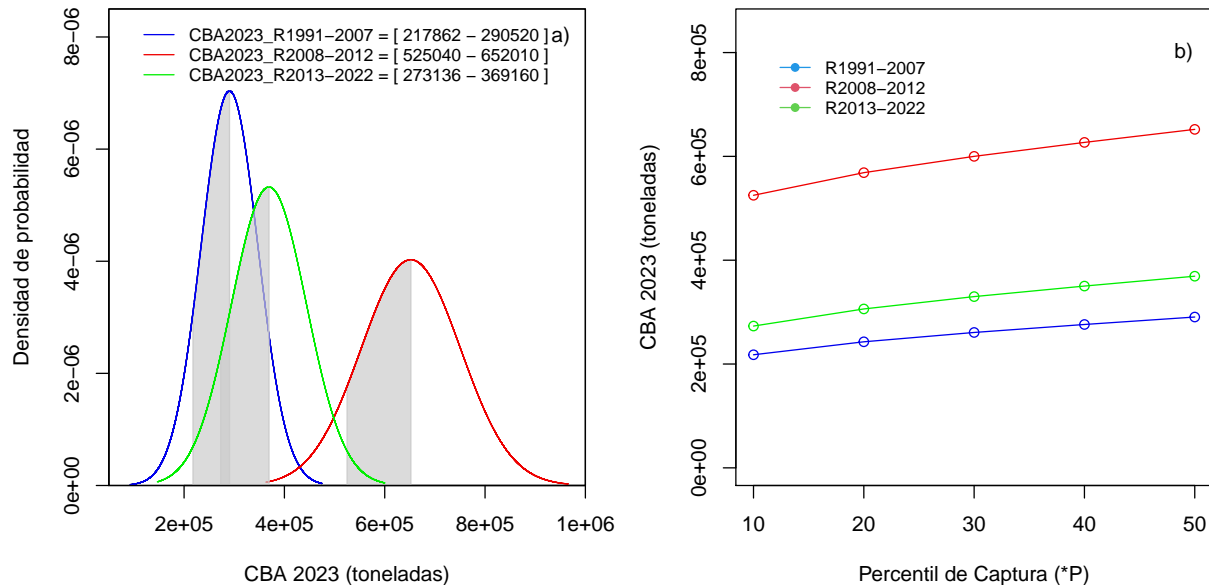


Figura 22. a) Distribución de probabilidad de la Captura al RMS proyectada al 2023 bajo tres escenarios de reclutamiento proyectado en el hito 1. La zona sombreada corresponde a la zona de percentiles de probabilidad de captura (*P) entre el 10 % - 50 % y b) La CBA estimada para cada *P.



3. TABLAS

Tabla 1. Estimaciones de biomásas utilizadas en la evaluación de stock de sardina común provenientes de los cruceros de Verano (RECLAS), Otoño (PELACES) y crucero de huevos (MPDH).

Año calendario	Biomasa crucero de verano (toneladas)	Biomasa crucero de otoño (toneladas)	Biomasa desovante MPDH (toneladas)
1991	0	0	0
1992	0	0	0
1993	0	0	0
1994	0	0	0
1995	0	0	0
1996	0	0	0
1997	0	0	0
1998	0	0	0
1999	0	0	0
2000	252.601	0	0
2001	567.819	0	0
2002	844.713	0	498.337
2003	477.998	0	0
2004	351.125	0	5.186
2005	339.783	0	125.008
2006	2.178.397	552.880	0
2007	2.134.043	188.675	168.611
2008	4.813.144	0	109.162
2009	1.555.625	991.730	213.762
2010	2.623.565	2.467.720	579.715
2011	3.216.857	1.416.034	649.985
2012	3.843.000	1.217.169	157.893
2013	1.133.477	2.296.489	87.575
2014	3.079.434	1.805.815	83.554
2015	1.972.148	0	210.694
2016	2.032.684	1.482.799	70.296
2017	2.025.002	1.565.315	0
2018	2.424.330	1.577.507	107.559
2019	2.275.425	1.421.176	103.333
2020	1.050.175	867.257	445.601
2021	2.363.380	1.100.020	22.526
2022	3.189.821	1.062.045	0



Tabla 2. Desembarques en toneladas, porcentaje de descarte supuesto, captura descartada (toneladas) y captura total (toneladas) estimadas en año biológico para sardina común de las Regiones de Valparaíso a Los Lagos.

Año biológico	Desembarques (toneladas)	Porcentaje Descarte	Captura descartada (toneladas)	Captura total (toneladas)
1990-91	494.567	0 %	0	494.567
1991-92	514.787	0 %	0	514.787
1992-93	250.237	0 %	0	250.237
1993-94	358.949	0 %	0	358.949
1994-95	120.608	0 %	0	120.608
1995-96	361.735	0 %	0	361.735
1996-97	552.515	0 %	0	552.515
1997-98	73.892	0 %	0	73.892
1998-99	212.993	0 %	0	212.993
1999-00	205.616	0 %	0	205.616
2000-01	50.451	4 %	2.018	52.469
2001-02	305.257	4 %	12.210	317.467
2002-03	282.360	4 %	11.294	293.654
2003-04	372.689	4 %	14.908	387.597
2004-05	242.976	4 %	9.719	252.695
2005-06	496.438	4 %	19.858	516.296
2006-07	344.596	4 %	13.784	358.380
2007-08	713.623	4 %	28.545	742.168
2008-09	905.818	4 %	36.233	942.051
2009-10	603.450	4 %	24.138	627.588
2010-11	796.319	4 %	31.853	828.172
2011-12	826.505	4 %	33.060	859.565
2012-13	402.507	4 %	16.100	418.607
2013-14	500.641	4 %	20.026	520.667
2014-15	401.201	4 %	16.048	417.249
2015-16	289.013	4 %	11.561	300.574
2016-17	399.415	4 %	15.977	415.391
2017-18	348.574	7 %	24.400	372.974
2018-19	301.557	5 %	15.078	316.634
2019-20	273.376	4 %	10.935	284.311
2020-21	376.245	4 %	15.050	391.294
2021-22	210.418	4 %	8.417	218.835



Tabla 3. Estimaciones medias de las biomasa desovante (t) , biomasa total (t), reclutamientos (#) y mortalidad por pesca (año-1) estimadas en la asesoría de septiembre 2022 de sardina común de las regiones de Valparaíso a Los Lagos.

Año biológico	Biomasa desovante	Biomasa total	Reclutamientos	Mortalidad por pesca
1990/91	2.288.100	3.182.000	173.290	0,187
1991/92	1.521.800	2.165.300	96.205	0,344
1992/93	735.220	1.069.100	99.170	0,338
1993/94	407.530	978.770	148.010	0,527
1994/95	437.240	829.500	120.760	0,177
1995/96	512.830	1.565.700	211.590	0,337
1996/97	675.310	1.117.500	85.615	0,771
1997/98	369.670	796.270	38.004	0,13
1998/99	339.270	694.070	36.417	0,513
1999/00	219.040	505.070	48.346	0,709
2000/01	137.350	486.890	91.891	0,159
2001/02	271.650	752.990	129.080	0,646
2002/03	289.480	789.770	106.610	0,611
2003/04	233.670	801.960	75.850	1,06
2004/05	145.090	671.280	71.566	0,755
2005/06	189.000	1.401.300	385.970	0,592
2006/07	690.680	1.177.500	77.610	0,373
2007/08	621.580	3.342.200	626.830	0,36
2008/09	1.409.100	3.047.200	339.910	0,504
2009/10	990.470	1.980.900	269.970	0,47
2010/11	1.034.100	3.129.600	376.060	0,371
2011/12	1.261.000	2.903.600	524.360	0,467
2012/13	1.213.400	2.020.400	104.700	0,273
2013/14	979.100	3.370.100	302.100	0,247
2014/15	1.390.300	2.421.900	259.460	0,244
2015/16	1.145.200	2.085.500	116.610	0,195
2016/17	942.600	2.915.700	255.860	0,247
2017/18	1.009.000	2.811.200	299.650	0,206
2018/19	1.479.800	2.073.200	95.507	0,181
2019/20	1.003.700	1.691.100	87.953	0,246
2020/21	661.540	1.986.600	244.710	0,283
2021/22	1.180.300	2.032.800	103.250	0,128



Tabla 4. Índices de reducción de F respecto de F_{RMS} (F/F_{RMS}), BD respecto de BD_{RMS} (BD/BD_{RMS}), tasas de explotación anual referidos a la biomasa (Y/BT) y a la abundancia estimada ($C\#/N\#$), estimadas en la evaluación de septiembre 2022 de sardina común de las regiones de Valparaíso a Los Lagos.

Año biológico	F/F_{RMS}	BD/BD_{RMS}	Y/BT	$C\#/N\#$
1990/91	0,617	2,663	0,155	0,091
1991/92	1,138	1,771	0,237	0,162
1992/93	1,118	0,856	0,234	0,151
1993/94	1,743	0,474	0,367	0,213
1994/95	0,584	0,509	0,145	0,081
1995/96	1,114	0,597	0,231	0,143
1996/97	2,55	0,786	0,494	0,311
1997/98	0,429	0,43	0,093	0,064
1998/99	1,697	0,395	0,307	0,219
1999/00	2,344	0,255	0,407	0,272
2000/01	0,525	0,16	0,108	0,069
2001/02	2,137	0,316	0,422	0,251
2002/03	2,019	0,337	0,372	0,243
2003/04	3,505	0,272	0,483	0,376
2004/05	2,498	0,169	0,376	0,283
2005/06	1,958	0,22	0,368	0,221
2006/07	1,234	0,804	0,304	0,175
2007/08	1,19	0,723	0,222	0,145
2008/09	1,665	1,64	0,309	0,214
2009/10	1,555	1,153	0,317	0,2
2010/11	1,228	1,203	0,265	0,157
2011/12	1,544	1,467	0,296	0,19
2012/13	0,901	1,412	0,207	0,135
2013/14	0,817	1,139	0,155	0,108
2014/15	0,807	1,618	0,172	0,111
2015/16	0,644	1,333	0,144	0,096
2016/17	0,815	1,097	0,142	0,108
2017/18	0,68	1,174	0,133	0,092
2018/19	0,598	1,722	0,153	0,091
2019/20	0,814	1,168	0,168	0,117
2020/21	0,935	0,77	0,197	0,12
2021/22	0,424	1,373	0,108	0,064



Tabla 5. Procedimiento de cálculo de los puntos biológicos de referencia de biomasa (miles de t) estimados en la evaluación de stock de septiembre 2022 para sardina común de las regiones de Valparaíso a Los Lagos, calculados siguiendo los pasos descritos en la metodología de este informe.

Etapas	Cálculo	Aproximación	Valores
Paso 1	Promedio de la serie histórica entre 1991-2022	$BD_{promedio}$	806
	Mediana de la serie histórica entre 1991-2022	F_{mh}	0,34
Paso 2	Cálculo de la curva de biomasa por recluta (BDPR)	$\%BDPR_{F_{mh}}$	56,6
		$\%BDPR_{F_{RMS}}$	60
Paso 3	$\%BDPR_{F_{mh}} - 5\%$	$\%BD_{F_{mh}}$	51,6
	$\%BDPR_{F_{RMS}} - 5\%$	$\%BD_{F_{RMS}}$	55
Paso 4	$BD_0 = BD_{promedio} / \%BD_{F_{mh}}$	BD_0	1562
Paso 5	$BD_{RMS} = BD_0 * \%BD_{F_{RMS}}$	$BD_{55\%}$	859
Paso 6	$BD_{LIM} = BD_0 * \%BD_{F_{LIM}}$	$BD_{27,5\%}$	430

Tabla 6. Puntos Biológicos de referencia (PBRs) y probabilidades de estar bajo BD_{RMS} y sobre F_{RMS} y en sobreexplotación, colapsado o sobrepesca.

	Valores
Año biológico	2021/22
F_{RMS}	0,3
BD_{RMS}	859
BD_{LIM}	430
$p(BD_{2021/22} < BD_{RMS})^1$	0,02
$p(F_{2021/22} > F_{RMS})^2$	0
$p(sobre - explotación)^3$	0,02
$p(agotado/colapsado)^4$	0
$p(sobrepesca)^5$	0

¹ Probabilidad que BD del año más reciente sea menor a BD_{RMS} según el diagrama de fase

² Probabilidad que F del año más reciente sea mayor a F_{RMS} según el diagrama de fase

³ Probabilidad de estar en sobreexplotación = $p(0,5 < BD_{last}/BD_{RMS} < 0,9)$

⁴ Probabilidad de estar en colapso = $p(BD_{last}/BD_{RMS} < 0,5)$

⁵ Probabilidad de estar en sobrepesca = $p(F_{last}/F_{RMS} > 1,1)$



Tabla 7. Proyección de la biomasa desovante hacia el año biológico 2022/2023 y 2023/2024 considerando tres escenarios de reclutamientos y mortalidad por pesca igual al F_{RMS} . Probabilidad de estar bajo BD_{RMS} y sobre F_{RMS} y la probabilidad de sobre-explotación y colapso.

	Estatus 2022/2023			Estatus 2023/2024		
	Escenarios de reclutamiento			Escenarios de reclutamiento		
	$R_{1991-2007}$	$R_{2008-2012}$	$R_{2013-2022}$	$R_{1991-2007}$	$R_{2008-2012}$	$R_{2013-2022}$
R_{proy}	98,22	408,3	165,7	98,22	408,3	165,7
$F_{proy} = F_{RMS}$	0,3024	0,3024	0,3024	0,3024	0,3024	0,3024
BD_{RMS}	859,3	859,3	859,3	859,3	859,3	859,3
BD_{proy}	754	754	754	560	1370	736
BD_{proy}/BD_{RMS}	0,88	0,88	0,88	0,65	1,59	0,86
$p(\text{sobreexplotación})^1$	0,54	0,54	0,54	0,95	0	0,64
$p(\text{agotado/colapsado})^2$	0,01	0,01	0,01	0,04	0	0

¹ Probabilidad de estar en sobreexplotación = $p(0,5 < BD_{last}/BD_{RMS} < 0,9)$

² Probabilidad de estar en colapso = $p(BD_{last}/BD_{RMS} < 0,5)$

Tabla 8. Proyección de la captura estimada para los años biológicos 2022/2023 y 2023/2024 considerando una mortalidad por pesca igual al F_{RMS} , con sus respectivos escenarios de reclutamientos. El cálculo de la Captura para el año calendario 2023 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.

Captura	Escenarios de reclutamiento		
	$R_{1991-2007}$	$R_{2008-2012}$	$R_{2013-2022}$
Año biológico proyectada 2022/2023	307	588	368
Primer Semestre 2023	215	412	258
Año biológico proyectada 2023/2024	252	801	372
Segundo Semestre 2023	76	240	112
Año calendario 2023	291	652	369



Tabla 9. CBA inicial año calendario 2023 de sardina común calculada bajo F_{RMS} con sus respectivos percentiles de captura entre 10 % y 50 % y tres escenarios de reclutamientos.

CBA 2023			
	Escenarios de reclutamiento		
	$R_{1991-2007}$	$R_{2008-2012}$	$R_{2013-2022}$
mean	290.520	652.010	369.160
sd	56.695	99.075	74.928
10 %	217.862	525.040	273.136
20 %	242.804	568.626	306.099
30 %	260.789	600.055	329.868
40 %	276.156	626.910	350.177
50 %	290.520	652.010	369.160

Tabla 10. CBA inicial año calendario 2023 considerando el descuento del 4 % de descarte.

CBA 2023 - 4\% descarte			
	Escenarios de reclutamiento		
	$R_{1991-2007}$	$R_{2008-2012}$	$R_{2013-2022}$
mean	278.900	625.930	354.390
sd	54.427	95.112	71.930
10 %	209.149	504.039	262.208
20 %	233.093	545.882	293.852
30 %	250.358	576.053	316.670
40 %	265.111	601.834	336.167
50 %	278.900	625.930	354.390

Tabla 11. Nivel de resguardo de cada percentil de Captura al RMS

	Resguardo		
	Escenarios de reclutamiento		
	$R_{1991-2007}$	$R_{2008-2012}$	$R_{2013-2022}$
10 %	0,25	0,19	0,26
20 %	0,16	0,13	0,17
30 %	0,10	0,08	0,11
40 %	0,05	0,04	0,05
50 %	0,00	0,00	0,00



4. REFERENCIAS

Payá, I., Canales, C., Bucarey, D., Canales, M., Contreras, F., Leal, E., Tascheri, R., Yáñez, A., Zúñiga, M. J., Clark, W., Dorn, M., Dunn, M., Fernández, C., Haddon, M., Klaer, N., & Sissenwine, M. (2014). *Revisión de los puntos biológicos de referencia (Rendimiento Máximo Sostenible) en las pesquerías nacionales. Informe Final. Convenio II: Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales 2014. Subsecretaría de Economía y EMT / IFOP, Chile* (pp. 1–49 +Anexos). https://www.researchgate.net/publication/301698303_Revision_de_los_puntos_biologicos_de_referencia_Rendimiento_Maximo_Sostenible_en_las_pesquerias_nacionales_Review_of_Biological_Reference_Points_for_main_chilean_fisheries