



SEGUNDO INFORME

Convenio de Desempeño 2023

Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentable de anchoveta y sardina española, Región de Arica y Parinacota a la Región de Antofagasta, CBA año 2024

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Marzo 2024



SEGUNDO INFORME
Convenio de Desempeño 2023

Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentable de anchoveta y sardina española, Región de Arica y Parinacota a la Región de Antofagasta, CBA año 2024

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Marzo 2024

REQUERENTE
SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y
EMPRESAS DE MENOR TAMAÑO

Subsecretaria de Economía y
Empresas de Menor Tamaño
Javiera Constanza Petersen Muga

EJECUTOR
INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP

Director Ejecutivo
Gonzalo Pereira Puchy
Jefe División Investigación Pesquera
Carlos Montenegro Silva

JEFE DE PROYECTO
Fernando Espíndola Rebolledo

AUTOR
Fernando Espíndola Rebolledo

COLABORADORES
Doris Bucarey Sepúlveda
Nicolás Adasme Lueiza



Índice

1 RESUMEN EJECUTIVO	6
2 OBJETIVOS	8
2.1 Objetivo general	8
2.2 Objetivos específicos	8
3 ANTECEDENTES	9
3.1 Distribución del recurso	9
3.2 Unidades de stock	10
3.3 Reproducción	11
3.4 Reclutamiento	12
3.5 Alimentación	12
3.6 Crecimiento	12
3.7 Variabilidad ambiental	15
3.8 Ciclo de vida de la anchoveta	16
3.9 Pesquería	18
3.10 Evaluación de stock	19
3.11 Estatus	21
3.12 Captura biológicamente aceptable (CBA)	22
4 METODOLOGÍA DE TRABAJO	24
4.1 Objetivo específico 1	24
4.1.1 Modelo conceptual	24
4.1.2 Incorporación del descarte	26
4.1.3 Modelo de evaluación de stock	29
4.1.4 Desempeño del modelo de evaluación	35
4.1.5 Datos de entrada al modelo de evaluación de stock	38
4.2 Objetivo específico 2	53
4.2.1 Estatus	53
4.2.2 Calidad de la información	56
4.3 Objetivo específico 3	57
4.3.1 Proyección del stock	57
4.3.2 Captura biológicamente aceptable (CBA)	57
4.3.3 Incorporación del descarte en la CBA	63
4.4 Objetivo específico 4	65
4.4.1 Programa de mejoramiento continuo de la calidad de la asesoría científica	65
4.4.2 Esquema de trabajo y plan de actividades	65
4.4.3 Recomendaciones realizadas en informe de evaluación técnica de proyectos	68
4.5 Objetivo específico 5	69
4.5.1 Implementación de EEM en la plataforma openMSE	69



5	RESULTADOS	71
5.1	Objetivo específico 1	71
5.1.1	Modelo de evaluación de stock	71
5.1.2	Desempeño de modelo de evaluación	85
5.2	Objetivo específico 2	96
5.2.1	Estatus	96
5.2.2	Calidad de la información	100
5.3	Objetivo específico 3	102
5.3.1	Reclutamientos promedios diferenciado por semestre	102
5.3.2	Reclutamientos proyectados desde un modelo temporal arima	104
5.3.3	Reclutamientos proyectados desde un modelo temporal poblacional logístico	107
5.4	Objetivo específico 4	112
5.4.1	Mejoras realizadas al modelo de evaluación de stock	112
5.4.2	Avances en la reducción de brechas	112
5.4.3	Programa de trabajo año 2023-24	114
5.5	Objetivo específico 5	116
5.5.1	Implementación de EEM en la plataforma openMSE	116
6	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	131
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136
	ANEXO	143
A	Documento de especificación de las pruebas de EEM	143
A.1	Introducción	143
A.2	Especie estudiada	144
A.3	Fundamentación de la EEM	146
A.4	Introducción a openMSE	147
A.5	Componentes de una EEM	148
A.5.1	Modelos operativos (MO)	148
A.5.2	Estrategia de manejo (EM)	148
A.5.3	Métricas de desempeño (MD)	148
A.6	Desarrollo de modelos operativos	149
A.7	Supuestos de la dinámica en los MO	152
A.7.1	Error de proceso del reclutamiento	152
A.7.2	Parámetros de historia de vida	154
A.7.3	Selectividad	154
A.7.4	Error de implementación	154
A.7.5	Error de observación	154
A.8	Procedimientos de manejo (PM)	154
A.8.1	PM actual: no se ajusta el patrón restrospectivo para la CBA	156
A.9	PM actual con rho de Mohn - se ajusta el patrón restrospectivo para la CBA	156
A.9.1	PM basado en una aproximación empírica, modelo basado simple	158
A.10	Métricas de desempeño (MD)	160
A.10.1	Objetivos asociados a la sustentabilidad del recurso	160
A.10.2	Objetivos asociados a la estabilidad	160



A.10.3 Objetivos asociados al PM actual	160
A.11 Referencias	164
B Resultados taller MSE anchoveta norte	167
B.1 Contenido	167
B.2 Reglas de Control de Captura	168
B.3 Indicadores Operacionales	171



Índice de figuras

1	Área de distribución del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile, distribuido entre los 16°LS - 24°LS (FUENTE: Modelo Global de Elevación Batimétrico, ETOPO-NOAA.	9
2	Ciclo anual del índice gonadosomático en escala semanal construido a partir de los datos recolectados por el monitoreo reproductivo en la zona norte de Chile desde el año 2000 al 2018. La línea punteada en un valor de 5 señala el inicio de la actividad biológica (FUENTE: IFOP).	11
3	Diferentes proyectos que dan cuenta del modelo de crecimiento de la anchoveta en la zona norte de Chile, en el panel d) se resumen todos los datos juntos de los diferentes proyectos.	14
4	Reconfiguración de los datos de crecimiento de la anchoveta de la zona norte de Chile a una escala de tiempo mensual. La caja verde contiene los individuos sexualmente maduros que corresponde a tallas mayores e igual a 11.5 cm. Y la caja celeste contiene a los individuos de seis meses de edad con un intervalo de tallas que va desde los 10 a 14 cm de longitud total.	14
5	Coeficiente de variación de la longitud a la edad para la anchoveta de la zona norte de Chile en una escala diaria. Las estimaciones fueron realizadas para cada uno de los años en que se recolectaron las muestras. Y la línea de color cielo azul osucro representa la tendencia lineal global con su intervalo de confianza al 95%.	15
6	Diagrama del modelo conceptual planteado para la anchoveta (<i>Engraulis ringens</i>) del sur de Perú y norte de Chile (XV-II Regiones)	17
7	Desembarques (t) anuales por país para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. Los puntos rojos indican las cuotas de capturas asignadas para la pesquería chilena.	19
8	Serie temporal de la razón de la mortalidad por pesca respecto a su referente asociado al RMS y la incertidumbre al último semestre de la evaluación en el panel superior (a) y la serie temporal de la razón de la biomasa desovante respecto a su referente asociado al RMS y la incertidumbre al último semestre de la evaluación en el panel inferior (b) para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. La línea roja representa el objetivo de manejo referido al RMS.	22
9	Desembarques anuales y semestrales para Chile, Perú y Total del stock de anchoveta distribuido entre 16°LS - 24°LS (1986 - 2023). Los puntos amarillos representan la cuota chilena. En el panel superior (a) se muestra el desembarque en escala anual y en el panel inferior (b) en escala semestral.	39
10	Proporción por tallas de las capturas semestrales en las pesquerías de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile (1986 – 2023).	42
11	Participación de las tallas en las capturas de la flota chilena por intervalo de talla desde el 2001 hasta el 2023. El color azul (>16.5 cm), color verde (14 a 16 cm), color rojo (12 a 13.5 cm) y color negro (<=11.5 cm).	43
12	Serie temporal de la talla media en las capturas de la flota chilena desde el 2001 hasta el 2023.	43
13	Relación longitud-peso variable por semestres desde el 2001 hasta el 2023. Cada curva (línea azul) fue ajustada por medio de modelos mixtos con efectos aleatorios.	44
14	Ojiva de madurez sexual a la talla para la anchoveta obtenida de Martínez <i>et al.</i> (2009).	46



15	Función de crecimiento de von Bertalanffy tradicional y estacional para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.	47
16	Proporción de la abundancia a la talla del crucero acústico en el norte de Chile (2000-2001 y 2007- 2023).	51
17	Índices considerados en la evaluación del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile al segundo semestre del 2023, en a) la biomasa total acústica del Perú, b) la biomasa total acústica de Chile y c) biomasa desovante estimada a partir del crucero de huevos del norte de Chile.	52
18	Diagrama de fase tipo para las pesquerías de recursos pequeños pelágicos acordado por el Comité Científico Técnico.	55
19	Ciclo de manejo pesquero actual para la anchoveta de la zona norte de Chile. . . .	59
20	Escenario de reclutamientos promedios diferenciado para el primer y segundo semestre empleados para proyectar el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. Las líneas punteadas indican los promedios para cada semestre.	60
21	Reclutamientos proyectados según el modelo serie temporal arima empleados para proyectar el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. La línea negra representa los reclutamientos estimados por el modelo y la zona verde representa la serie de tiempo usada. Los puntos rojos corresponden a los reclutamientos proyectados para dos semestres.	61
22	Reclutamientos proyectados según el modelo poblacional logístico autorregresivo empleados para proyectar el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. Los puntos verdes representan los reclutamientos proyectados para dos semestres.	61
23	Relación no lineal entre los reclutamientos estimados por el modelo de evaluación de stock y la biomasa acústica de juveniles (< 11.5 cm) según la anomalía de la temperatura superficial de mar que se registraron durante la realización de crucero acústicos que se desarrolla durante los meses de noviembre y diciembre de cada año.	62
24	Nivel de resguardo de la Captura al RMS (1-CBA/CRMS) (pael izquierdo) y densidad de probabilidad de la CRMS (panel derecho). La región sombreada corresponde al rango entre el 10% - 50% de probabilidad de sobrepasar la CRMS (P) que da origen a la CBA determinada por el CCT-PP.	63
25	Esquema de trabajo de datos y modelos por la SSPA y 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 pequeños peces pelágicos. . .	67
26	Ajuste del modelo (línea azul) de evaluación de stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. En el panel superior se muestra la biomasa acústica del sur de Perú, en el panel intermedio se muestra la biomasa acústica del norte de Chile y panel inferior se muestra la biomasa desovante estimada a partir del crucero de huevos del norte de Chile. Las líneas rojas verticales indican el coeficiente de variación asignados a estas variables. Se indica la raíz del cuadrado medio de los errores (RMSE) en negro.	73
27	Ajuste del modelo de evaluación de stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile a las series de desembarques en toneladas para ambos países. En a) los desembarques semestrales del norte de Chile y en b) los desembarques semestrales del sur de Perú.	74
28	Ajuste del modelo a la información de las composiciones de tallas de las capturas de anchoveta para la flota chilena. Las barras gris corresponde a las observaciones y la línea continua roja a la estimada por el modelo.	75



29	Ajuste del modelo a la información de las composiciones de tallas de las capturas de anchoveta para la flota peruana. Las barras gris corresponde a las observaciones y la línea continua roja a la estimada por el modelo.	76
30	Ajuste del modelo a la información de las composiciones de tallas de los cruceros acústicos en el norte de Chile para la anchoveta. Las barras gris corresponde a las observaciones y la línea roja continua a la estimada por el modelo.	77
31	Bloques de selectividad por edades y años para la flota chilena, peruana y crucero acústico del norte de Chile en la evaluación del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.	78
32	Representación del modelo de proporción de la talla a la edad de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile variable en el tiempo, salvo para el crucero acústico del sur de Perú.	79
33	Biomasa total (a), biomasa desovante (b), razón del potencial reproductivo de largo plazo (c) y reclutamientos (d) para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. Las zonas en azul representan los intervalos de confianza al 95% En (a) y (b) las líneas horizontales segmentadas representan el valor medio estimado. En (c) las líneas segmentadas representan los niveles objetivo y de agotamiento (colapso). En (c) y (d) las líneas verticales representan los intervalos de confianza al 95%. Y en (d) la línea segmentada representa el valor medio estimado para R_0	81
34	Coeficiente de variación de las estimaciones de biomasa total (BT), biomasa desovante (BD), reclutamientos (R) y la mortalidad por pesca (F) de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.	82
35	Reclutamientos semestrales (a), desvíos de los reclutamientos (b), mortalidades por pesca (c) y selectividad media (d) para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. En (b) la línea continua representa la tendencia de largo plazo.	83
36	Gráficas de los residuales en escala logarítmica (residuales en función del tiempo, qqplot y función de autocorrelación) para la biomasa total acústica del sur de Perú (panel superior), para la biomasa total acústica de Chile (panel intermedio) y la biomasa desovante del crucero de huevos del norte de Chile (panel inferior). La línea azul corresponde al suavizador loess de los residuales en función del tiempo y la sombra gris su intervalo de confianza al 95%.	85
37	Residuales para el ajuste a las estructuras de tamaños para la flota chilena. Los círculos azules indican residuos positivos y los círculos rojos indican residuos negativos (panel superior izquierdo). En el panel superior derecho se muestra la función de autocorrelación, en el panel inferior izquierdo se muestra los qqplot y en el panel inferior derecho se muestra la nube de residuales.	88
38	Residuales para el ajuste a las estructuras de tamaños para la flota peruana. Los círculos azules indican residuos positivos y los círculos rojos indican residuos negativos (panel superior izquierdo). En el panel superior derecho se muestra la función de autocorrelación, en el panel inferior izquierdo se muestra los qqplot y en el panel inferior derecho se muestra la nube de residuales.	89
39	Residuales para el ajuste a las estructuras de tamaños para el crucero acústico de Chile. Los círculos azules indican residuos positivos y los círculos rojos indican residuos negativos (panel superior izquierdo). En el panel superior derecho se muestra la función de autocorrelación, en el panel inferior izquierdo se muestra los qqplot y en el panel inferior derecho se muestra la nube de residuales.	90

40	Gráficas de los residuales en escala logarítmica (residuales en función del tiempo, qqplot y función de autocorrelación) para los desembarques de Chile (panel superior) y Perú (panel inferior). La línea azul corresponde al suavizador loess de los residuales en función del tiempo y la sombra gris su intervalo de confianza al 95%.	91
41	Análisis retrospectivo para los últimos nueve semestres de la biomasa desovante para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. La sombra en azul representa el intervalo de confianza al 95% para la serie completa y la línea azul representa la estimación media para la serie completa. Las líneas segmentadas en rojo representan las biomazas desovantes estimadas al descuento de información.	92
42	Patrón retrospectivo para los últimos nueve semestres de rho de Mohn para la biomasa desovante como una diferencia del último año de la evaluación de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.	93
43	Patrón retrospectivo para los últimos nueve semestres de rho de Mohn para los reclutamientos como una diferencia del último año de la evaluación de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.	94
44	Perfil de verosimilitud del parámetro de escala global $\log R_0$ para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.	95
45	Biomasa desovante por recluta respecto de la mortalidad por pesca (F) para el último semestre de la evaluación de stock en (a), variabilidad semestral histórica del F55%BDPR (b) y patrón de selectividad semestral histórica (c) para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.	97
46	Razón del potencial reproductivo (RPR_{lp}) de largo plazo y su intervalo de confianza al 95% para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. Las líneas segmentadas indican los niveles de manejo pesquero objetivo y de agotamiento (colapso).	98
47	Serie temporal de la razón de la mortalidad por pesca respecto a su referente asociado al RMS y la incertidumbre al último semestre de la evaluación en el panel superior (a) y la serie temporal de la razón de la biomasa desovante respecto a su referente asociado al RMS y la incertidumbre al último semestre de la evaluación en el panel inferior (b) para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. La línea roja representa el objetivo de manejo referido al RMS.	98
48	Diagrama de fase semestral del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. El punto amarillo representa la condición para el segundo semestre del 2023. Las líneas verdes representan los intervalos de confianza al 95% para la última estimación. Los puntos en azul representan la condición para el segundo semestre de los años 2021 y 2022.	99
49	Diagrama de fase anual del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. El punto amarillo representa la condición para el año 2023 y las líneas verdes representan los intervalos de confianza al 95% para dicha estimación. Los puntos en azul representan la condición para los años 2020, 2021 y 2022.	100
50	Proyecciones para la biomasa desovante (a), la captura biológicamente aceptable (b) y la BD/BD_{RMS} (c) para el escenario de reclutamientos promedios diferenciado para cada semestre, con el nivel de mortalidad por pesca que produce el rendimiento máximo sostenido (F_{RMS}) para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.	103
51	Estructura de tamaños de la captura durante la proyección del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile, para el escenario de reclutamientos promedios para cada semestre por separado y el nivel de mortalidad por pesca al F_{RMS}	103



52	Proyecciones para la biomasa desovante (a), la captura biológicamente aceptable (b) y la BD/BD _{RMS} (c) para el escenario de reclutamientos proyectados desde un modelo temporal arima, con el nivel de mortalidad por pesca que produce el rendimiento máximo sostenido (F_{RMS}) para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.	105
53	Estructura de tamaños de la captura durante la proyección del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile, para el escenario de reclutamientos proyectados desde un modelo temporal arima y el nivel de mortalidad por pesca al F_{RMS}	106
54	Proyecciones para la biomasa desovante (a), la captura biológicamente aceptable (b) y la BD/BD _{RMS} (c) para el escenario de reclutamientos proyectados desde un modelo poblacional logístico, con el nivel de mortalidad por pesca que produce el rendimiento máximo sostenido (F_{RMS}) para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.	108
55	Estructura de tamaños de la captura durante la proyección del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile, para el escenario de reclutamientos proyectados desde un modelo poblacional logístico y el nivel de mortalidad por pesca al F_{RMS} . .	109
56	Estimación de puntos de quiebres medios en la serie temporal de reclutamientos para todo el período de la evaluación de stock. La línea azul representa la estimación media de la serie de reclutamientos y la zona sombreada representa la longitud de la serie de reclutamientos ocupada para mostrar el período más reciente sobre los reclutamientos.	113
57	Proyecciones de la biomasa desovante respecto a su punto biológico de referencia (BD _{RMS}) para los diferentes modelos operativos (MO) durante la simulación con respecto a los diferentes procedimientos de manejo (PM) pesqueros evaluados. . .	117
58	Proyecciones de la mortalidad por pesca respecto a su punto biológico de referencia (F_{RMS}) para los diferentes modelos operativos (MO) durante la simulación con respecto a los diferentes procedimientos de manejo (PM) pesqueros evaluados. . .	118
59	Proyecciones de la CBA anual para los diferentes modelos operativos (MO) durante la simulación con respecto a los diferentes procedimientos de manejo (PM) pesqueros evaluados.	120
60	Diagrama de kobe modificado para presentar las probabilidades temporales para las diferentes zonas correspondientes a las métricas desempeño biológicas para los procedimientos de manejo (PM's) y modelos operativos (MO's).	122
61	Gráfico de compensaciones entre las distintas medidas de desempeño para los diferentes procedimientos de manejo (PM's) y todos los modelos operativos configurados en el corto y mediano plazo.	124
62	Consistencia en la CBA para el procedimiento de manejo actual y el corregido con el patrón retrospectivo para la CBA en los diferentes modelos operativos.	125
63	Probabilidades de los procedimientos de manejo con respecto a las diferentes métricas de desempeño para los diferentes modelos operativos en el corto, mediano y largo plazo.	129
64	Gráfica de la estimación del error para la biomasa desovante a través de los diferentes modelos operativos para el procedimiento de manejo actual y el procedimiento de manejo actual ajustado al patrón retrospectivo para la CBA.	130
65	Anchoveta <i>Engraulis ringens</i> (Jenyns 1842).	144
66	Área de distribución del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile, distribuido entre los 16° LS – 24° LS (FUENTE: Modelo Global de Elevación Batimétrico, ETOPO-NOAA).	145



67	Función de crecimiento Von Bertalanffy para los MOs 1-3 basado en micro anillos (línea roja) de crecimiento y para los MOs 2-4 basado en macro anillos (línea azul) de crecimiento. Para la función de crecimiento basado en micro anillos se considera una mortalidad natural (M) igual a 2.2 año^{-1} y para los macro anillos un valor de M igual a 1.0 año^{-1}	150
68	Ojiva de madurez a la longitud estimada durante los últimos los años 2020, 2021 y 2022. Además, se muestra la ojiva de madurez usada en el actual modelo base de evaluación de stock (línea negra) y la ojiva de madurez usada en los MOs 3 y 4 (línea verde).	151
69	Distribución de las desviaciones de los logarítmicos de los reclutamientos para el stock de anchoveta, la línea azul representa el ajuste de una distribución normal. . .	152
70	Reclutamientos proyectados para nueve simulaciones del stock de anchoveta para el modelo operativo OM1. Las líneas negras indican los reclutamientos durante el período histórico (igual para todas las simulaciones), y las líneas verdes indican los reclutamientos en el período de la proyección, las cuales fueron generadas a partir de una distribución de probabilidad (desviación estándar y auto-correlacionada). La línea roja corresponde al reclutamiento medio global (R0) y las líneas discontinuas corresponden a las estimaciones para el primer y segundo semestre del período 2000-2022.	153
71	Comparación de la estimación de la biomasa desovante para el stock de anchoveta a través del Modelo de Acondicionamiento Rápido (RCM) y el modelo actual de evaluación en ADMB.	157
72	Patrón retrospectivo para el reclutamiento estimado para el Modelo de Acondicionamiento Rápido (RCM), se muestra el descuento de siete pasos de tiempo.	157
73	Relación entre la captura de referencia y el índice de referencia para la regla de control de captura (RCC) basado en el crucero (línea negra). La línea roja representa un 125% del nivel de captura de referencia (C_{ref}) y la línea verde representa un 75% de este nivel	158
74	Diagrama de fase tipo para la pesquería de recursos pequeños pelágicos, acordados por el comité científico- técnico y el grupo de trabajo del taller presencial. Según la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura la zona verde corresponde a la región deseada para el manejo pesquero	162
75	Diagrama de fase temporal (Kobe time plot), con la proporción de las simulaciones de la condición del stock de anchoveta para cada año de la proyección, para dos procedimientos de manejo (Conocimiento perfecto y Sin capturas).	163
76	Niveles de probabilidad asociados a los procedimientos de manejo y medidas de desempeño para los ejercicios evaluados durante el transcurso del taller presencial. .	163
77	Proporción de encuestados según área.	167
78	Proporción de encuestados del Comité de manejo.	168
79	Proporción de encuestados dispuestos a cerrar la pesquería.	168
80	Variación anual en capturas que los encuestados estarían dispuestos a soportar. . .	169
81	Confiabilidad de fuentes de información	169
82	Preferencia sobre la periodicidad de asignación de cuotas	170
83	Acuerdo con el nivel de captura de la regla empírica	170
84	Proporción de encuestados en acuerdo reservar un margen de toneladas de CBA para Perú.	171
85	Importancia de los indicadores operacionales para los objetivos	172



Índice de tablas

1	Capturas biológicamente aceptables (miles de ton.) recomendadas por el CCT en las distintas etapas de establecimiento de CBA, desembarques (miles ton) registrados para ambos países y sus diferencias.	23
2	Estimaciones de captura total (CT), retenida (CR) y descartada (CD) en toneladas, porcentaje de descarte (%D), tamaños de muestra de los viajes muestreados (VM) y totales (VT) y porcentaje de cobertura (%C) para el período 2017 al 2022 por semestre para la pesquería de cerco de anchoveta de la zona norte de Chile.	28
3	Valores del descarte promedio sobre la base de la captura total (CT), captura retenida (CR) y descartada (CD) en toneladas para el período de monitoreo 2019-2022 por flota y semestre.	29
4	Coeficientes de variación (CV) de la función objetivo para los desembarques e índices de biomasa de la anchoveta.	34
5	Tamaños de muestra para cada serie de estructuras de tallas en la evaluación del stock de anchoveta.	34
6	Desembarques (miles de ton.) del stock de anchoveta 16°- 24°LS 1986-2023. La última columna corresponde a la captura de Chile corregida con el descarte acordado dentro del CCT-PP.	40
7	Parámetros a y b de la relación longitud-peso estimados por modelo no lineales mixtos.	45
8	Parámetros de crecimiento estimados del modelo de von Bertalanffy.	46
9	Métodos empíricos para estimar la mortalidad natural.	47
10	Biomasa desovante (toneladas) estimada a través de cruceros de huevos del norte de Chile y biomasa total (toneladas) estimada a través de cruceros acústicos del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.	49
11	Período de realización (semanas) de los cruceros hidroacústicos de anchoveta de la zona norte de Chile.	50
12	Información relevante para el cálculo de CBA 2024 en cada una de las etapas de estimación.	58
13	Captura total (CT), captura retenida (CR) y captura descartada (CD) en toneladas promedio 2019-2022 por semestre y flota utilizados para obtener el % de descarte a utilizar en la proyección de CBA 2024. Se utiliza la captura total y descartada promedio para la flota total chilena.	64
14	Principales observaciones realizadas en asesorías previas, las cuales formaran parte del programa de mejoramiento continuo.	68
15	Variables poblacionales en base semestral para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. N es la abundancia total, R es el reclutamiento, C es la captura estimada, BT es la biomasa total, BD es la biomasa desovante, RPR es la reducción del potencial reproductivo, F_T es la mortalidad por pesca total, BD/BD_0 es la reducción de largo plazo, BD/BD_{RMS} es la razón entre la biomasa desovante y su punto biológico de referencia y F/F_{RMS} es la razón de la mortalidad por pesca y su punto biológico de referencia.	84
16	Evaluación de la matriz de conocimiento de la pesquería de anchoveta del norte de Chile. (Numerador corresponde a la suma de la evaluación de cada ítem dentro del tópico. Denominador corresponde a la suma de todos los ítems dentro de un tópico si existiera un conocimiento satisfactorio de cada uno de ellos).	101



17	Captura biológicamente aceptable anual 2024 (miles de toneladas) sin el descuento del descarte semestral proyectado para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile para cinco niveles de riesgo de exceder el criterio de $F=F_{RMS}$, para el escenario de reclutamientos promedio diferenciado por semestres.	104
18	Captura biológicamente aceptable anual 2024 (miles de toneladas) con el descuento del descarte semestral proyectado para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile para cinco niveles de riesgo de exceder el criterio de $F=F_{RMS}$, para el escenario de reclutamientos promedio diferenciado por semestres.	104
19	Captura biológicamente aceptable anual 2024 (miles de toneladas) sin el descuento del descarte semestral proyectado para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile para cinco niveles de riesgo de exceder el criterio de $F=F_{RMS}$, para el escenario de reclutamientos proyectados desde un modelo temporal arima.	107
20	Captura biológicamente aceptable anual 2024 (miles de toneladas) con el descuento del descarte semestral proyectado para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile para cinco niveles de riesgo de exceder el criterio de $F=F_{RMS}$, para el escenario de reclutamientos proyectados desde un modelo temporal arima.	107
21	Captura biológicamente aceptable anual 2024 (miles de toneladas) sin el descuento del descarte semestral proyectado para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile para cinco niveles de riesgo de exceder el criterio de $F=F_{RMS}$, para el escenario de reclutamientos proyectados desde un modelo poblacional logístico. . .	110
22	Captura biológicamente aceptable anual 2024 (miles de toneladas) con el descuento del descarte semestral proyectado para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile para cinco niveles de riesgo de exceder el criterio de $F=F_{RMS}$, para el escenario de reclutamientos proyectados desde un modelo poblacional logístico. . .	110
23	Captura biológicamente aceptable anual 2024 (miles de toneladas) sin el descuento del descarte semestral proyectado para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile para cinco niveles de riesgo de exceder el criterio de $F=F_{RMS}$, para el escenario basado en el promedio ponderado por el inverso de la varianza.	111
24	Captura biológicamente aceptable anual 2024 (miles de toneladas) con el descuento del descarte semestral proyectado para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile para cinco niveles de riesgo de exceder el criterio de $F=F_{RMS}$, para el escenario basado en el promedio ponderado por el inverso de la varianza.	111
25	Calendario de entrega de informes de estatus y cba de los recursos pelágicos pequeños según convenio de desempeño 2022.	114
26	Presentaciones del grupo de pesquerías pelágicas de IFOP en las sesiones del Comité Científico Técnico de Pesquerías Pelágicas realizadas durante el año 2023. .	115
27	Resumen de los modelos operativos identificados para la EEM de anchoveta norte. Las descripciones se entienden como variaciones del modelo operativo base por MO1.	149
28	Grilla de incertidumbre asociada al crecimiento basado en anillos diarios y macro anillos, y la ojiva de madurez sexual en el modelo actual y la estimada recientemente por Hernández et al. (2023)	150
29	Resumen de los procedimientos de manejo en la simulación para la anchoveta norte.	159
30	Medidas de desempeño definidas durante el taller presencial por los miembros de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.	161
31	Asistentes al Taller de MSE	167

1 RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe contiene la actualización de la evaluación del stock de la anchoveta (*Engraulis ringens*, Jenyns 1842) que se distribuye desde el sur de Perú y norte de Chile (Regiones de Arica y Parinacota a la Región de Antofagasta), del estatus y la captura biológicamente aceptable (CBA) para el año 2024, con información biológica-pesquera hasta el segundo semestre del 2023. El modelo de evaluación incorpora las biomazas totales acústicas del sur de Perú y norte de Chile, la biomasa desovante estimada a través del método de producción diaria de huevos de Chile, los desembarques y las estructuras de longitudes de las flotas comerciales para el sur de Perú y norte de Chile, la abundancia a la longitud del crucero acústico del norte de Chile y el descarte actualizado al año 2022. Toda esta información permitió desarrollar la evaluación de stock, establecer el estatus y actualizar la CBA del año 2024. Además, se detallan los criterios empleados en el proceso de evaluación de stock, el peso estadístico que se entrega a cada conjunto de datos por separado y la estimación de los puntos biológicos de referencia (PBR).

El enfoque de modelación asume una escala temporal semestral, con la entrada de dos reclutamientos y dos desoves por año, debido al extenso período de desove (primavera-verano) y la presencia de reclutas durante todo el año. El modelo de evaluación está estructurado de la siguiente manera, i) las observaciones en longitud son transformadas a edades mediante de una clave talla-edad variable en el tiempo para las capturas comerciales de Chile y Perú, el crucero acústico de Chile y la biomasa desovante, ii) la mortalidad por pesca es semestral diferenciada por flotas siguiendo un modelo doble-normal, iii) el reclutamiento es semestral y estimado a través de desviaciones desde R_0 , iv) la biomasa del crucero de Chile es predicha en la fecha en que fue observada en cada semestre, v) la biomasa desovante es predicha en la fecha en que fue estimada en el segundo semestre y vi) las capturas por edad son predichas en la fecha que ocurre la máxima captura en cada semestre. Esta configuración permitió establecer que la reducción de la biomasa desovante respecto de la biomasa desovante virginal (BD/BD_0) se ubicó en torno a 0.41, valor inferior al objetivo de manejo pesquero (50% de BD_0). La condición del stock de anchoveta indica que al último semestre de la evaluación la mortalidad por pesca es un 78% inferior al máximo definido por el F_{RMS} y una biomasa desovante un 18% inferior a la BD_{RMS} . Esta situación genera una nula probabilidad de definir el stock de anchoveta en una condición de sobre-pesca ($F_{2023.5} > F_{RMS}$) y una probabilidad de 0.87 de definir el stock de anchoveta en una condición de sobre-explotación ($BD_{2023.5} < BD_{RMS}$).

El análisis histórico de la condición del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile muestra que en los semestres 1987.5, 1993.5, 2001.5, 2008.5 y 2016.0 el stock se encontraba en una condición de sobre-explotación, con una biomasa desovante por debajo del objetivo de manejo pesquero ($BD < BD_{RMS}$), debido a que los reclutamientos del semestre previo registraron un valor inferior a R_0 . Y desde el año 2017 hasta el año 2022.5 los niveles de biomasa desovante relativo a la biomasa desovante que genera el RMS han mostrado una tendencia creciente, permitiendo al stock mantenerse en una condición de sub-explotación con un valor medio de $1.68 (\pm 0.31)$ y los niveles de reclutamientos se encuentran por sobre el valor medio R_0 . Sin embargo, al segundo semestre del año 2023 la biomasa desovante se encuentran inferior al punto biológico de referencia (BD_{RMS}) y el reclutamiento del primer semestre del año 2023 se encuentra por debajo de R_0 . Los niveles de mortalidad por pesca, en general, se han mantenido históricamente por debajo del nivel de referencia F_{RMS} , no obstante, en el año 2016 los niveles de mortalidad por pesca estuvieron por sobre el nivel objetivo de manejo. Y desde el año 2020 los niveles de mortalidad por pesca relativo al F_{RMS} registran un valor medio de $0.40 (\pm 0.26)$, y al segundo semestre del 2023 registró un valor

de 0.22 año^{-1} .

La CBA actualizada para el año 2024 del stock de anchoveta, según el criterio del F_{RMS} , sin el descuento del descarte y tomando en cuenta el escenario de los reclutamientos promedios observados en el primer y segundo semestre por separado, debería estar en el rango de 430 y 455 mil toneladas anuales para el nivel de riesgo del 10% y 50%, respectivamente. Considerando el escenario de los reclutamientos proyectados desde un modelo temporal arima, el valor de la CBA debería estar en el rango de 477 y 486 mil toneladas anuales para el nivel de riesgo del 10% y 50%, respectivamente. Considerando el escenario de reclutamientos proyectados desde un modelo poblacional logístico, el valor de la CBA debería estar en el rango de 434 y 443 mil toneladas anuales para el nivel de riesgo del 10% y 50%, respectivamente.

Para el objetivo específico cinco se reportan los resultados realizados por la consultora [Blue Matter Science Ltda.](#) para la implemetación de la Evaluación de Estrategia de Manejo (EEM) para el stock de anchoveta de la zona norte de Chile. La primera actividad consistió en un taller en línea que abarco aspectos introductorios a la EEM, conceptos y aplicación práctica de la EEM y software [openMSE](#). La segunda actividad consistió en un taller presencial para la aplicación de la EEM abarcando la construcción de modelos operativos, procedimientos de manejo pesquero y las métricas de desempeño. Y la última actividad fue la realización de un taller en línea para la visualización de los resultados de la EEM en la aplicación en línea, [Slick](#). El resultado principal de estas actividades dan cuenta de un documento de especificación de las pruebas de EEM para el stock de anchoveta norte, en este se detallan las principales decisiones tomadas respecto al conjunto de modelos operativos, la especificación del procedimiento de manejo actual y alternativas, y el conjunto de métricas de desempeño utilizadas para presentar los resultados de las simulaciones y ayudar a la interpretación de las principales conclusiones de este análisis.

El procedimiento actual de manejo pesquero y el ajustado al patrón retrospectivo para la CBA conducen a la biomasa desovante por sobre el objetivo de manejo pesquero en corto y mediano plazo, con una muy baja probabilidad de alcanzar un nivel de de agotamiento para los modelos operativos MO1 y MO3. El procedimiento de manejo actual ajustado al patrón retrospectivo para la CBA presentó una biomasa desovante más póxima al objetivo de manejo pesquero que el procedimiento actual, dando como resultado que la CBA del segundo hito sea menor que la del primer hito en el corto y mediano plazo, pero en el largo plazo tienden a ser iguales las CBA's. El procedimiento actual y el ajustado al patrón retrospectivo para la CBA no son robustos a los modelos operativos MO2 y MO4, debido principalmente el bajo valor especificado para la mortalidad natural asociado a los parámetros de crecimiento alternativo, presentando un diferencia de un 100% con respecto al valor especificado para los modelos operativos MO1 y MO3. Ningún procedimiento de manejo pesquero basado en modelo de evaluación de stock funcionará bien cuando el parámetro de la mortalidad natural este mal especificado. Las CBA's estimadas en las proyecciones de los procedimientos de manejo basados en modelo de evaluación son altas en comparación con los procedimeintos de manejo basado en una regla empírica. Los procedimiento de manejo empíricos superan a los basado en modelo de evaluación con respecto a las medidas de desempeño de la componente biológica y pesquera. En general, los procedimientos de manejo empíricos evitan estar en una condición de agotamiento para los modelos operativos MO2 y MO4. Sin embargo, para el procedimiento de manejo empírico basado en la captura de referencia de 710 mil toneladas la biomasa desovante del stock de anchoveta no alcanza la BD_{RMS} para los modelos operativos MO2 y MO4, es posible que sea necesario ajustar la captura de referencia o el índice de referencia hacia valores más bajos.

2 OBJETIVOS

2.1 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 y sardina española de la Región de Arica y Parinacota a la Región de Antofagasta, bajo condiciones de riesgo e incertidumbre, cuantificando las distintas fuentes e integrando la mejor información científica-técnica disponible.

2.2 Objetivos específicos

- Implementar procedimientos de evaluación de stock basados en protocolos científicos para la determinación del estatus de anchoveta y sardina española, con arreglo al nivel de información, conocimiento e incertidumbre correspondiente, conforme a los estándares actuales en ciencia pesquera.
- Establecer el estatus actualizado de anchoveta y sardina española, 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.
- 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.
- 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.
- Implementar análisis de Evaluación de Estrategías de Manejo.

3 ANTECEDENTES

3.1 Distribución del recurso

La anchoveta se distribuye principalmente entre los 4°LS hasta los 42°LS, distinguiéndose tres stocks; uno que va desde el norte y centro del Perú, otro que va desde el sur del Perú al norte de Chile y el último en la zona central de Chile (Claramunt *et al.*, 2012). Para este estudio, el área de distribución de la anchoveta está entre el sur de Perú y norte de Chile (16°00'LS - 24°00'LS, **Figura 1**) en la cual la especie constituye una unidad stock independiente del norte-centro de Perú, norte-centro y centro-sur de Chile (Cubillos *et al.*, 2007). Por ser un stock compartido entre dos países es considerado un recurso pesquero transfronterizo (Serra, 1983; Chirichigno y Vélez, 1998).

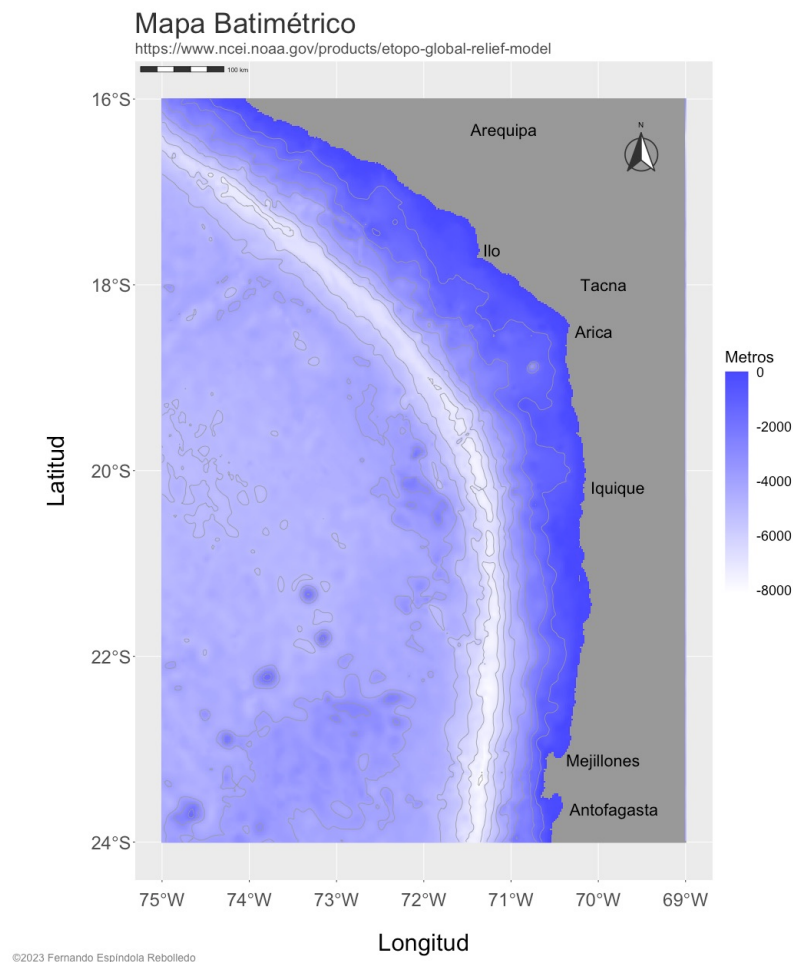


Figura 1. Área de distribución del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile, distribuido entre los 16°LS - 24°LS (FUENTE: Modelo Global de Elevación Batimétrico, ETOPO-NOAA).

Es importante señalar que el stock de anchoveta del sur de Perú y norte Chile, se plantea comoun

stock independiente del stock de anchoveta de la III y IV región (Leal y Canales, 2014). Canales y Leal (2009) plantean que la anchoveta centro-norte podría corresponder a una unidad poblacional independiente de la ubicada al norte de los 25°LS, que recluta, crece y se reproduce en el área. Los cruceros oceanográficos desarrollados en la década de 1980 muestran focos discretos de desove (huevos y larvas) de anchoveta en las bahías de Caldera y Coquimbo (Rojas *et al.*, 1983). Esto sugiere que la zona centro-norte de Chile podría representar un hábitat favorable para la anchoveta particularmente en las bahías de Caldera y Coquimbo, donde existen patrones de circulación y focos de surgencia (Valle-Levinson y Moraga, 2006) que podrían facilitar la retención y desarrollo de la anchoveta en estas bahías. Serra y Gil (1975) estudiaron la migración del stock de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile mostrando la ocurrencia de intensos y amplios movimientos migratorios hacia el sur de Perú en invierno y verano. Menos intensos y amplios son los movimientos migratorios de anchoveta con dirección hacia los 24°LS. Un estudio similar fue realizado por Martínez *et al.* (1998) reportaron resultados similares en términos de dirección e intensidad de las migraciones. Se plantea que en la zona comprendida entre los 24°LS y 25°LS al parecer no existirían las condiciones oceanográficas para permitir un flujo continuo que permita la residencia de focos anchoveta entre ambas zonas (Serra, *com. pers.*). Las poblaciones de Caldera y Coquimbo habrían surgido cuando en algunos años (y por razones ambientales, e.i. El Niño), la anchoveta de la zona norte expande su distribución hacia el sur de los 24°LS, colonizando las bahías de Caldera y Coquimbo donde procesos oceanográficos permiten el crecimiento y desarrollo de la anchoveta. Sin embargo, esta hipótesis no ha sido demostrada aún.

En la zona norte de Chile, la surgencia costera se caracteriza por ser débil y continua (Blanco *et al.*, 2001), con altos valores de clorofila (5 mg m^{-3}) restringidos a una estrecha banda costera (20 km desde la costa), con un máximo ciclo anual en primavera-verano que es coincidente con el máximo ciclo anual del viento (Hormazabal *et al.*, 2001; Correa-Ramírez *et al.*, 2007; Correa-Ramírez *et al.*, 2012). El ciclo de vida de la anchoveta está asociado a temperaturas que van desde los 12°a 23°C (Silva *et al.*, 2012; Claramunt *et al.*, 2012), con una distribución dentro de las 50 mn de la costa y donde casi el 70% de las capturas de la flota industrial se desarrolla dentro de las primeras 20 mn durante los últimos diez años (Böhm *et al.*, 2021). En esta franja costera la productividad biológica es alta debido al incremento de la abundancia del plancton producto de la surgencia costera. En la escala interanual, el principal forzante físico está asociado con ciclo El ENOS que determina una baja captura producto de una profundización de la anchoveta afectando su disponibilidad y accesibilidad. Además, durante un evento cálido la anchoveta presenta un desplazamiento al sur de la zona de estudio (Yáñez *et al.*, 1995; Ñiquen y Bouchon, 2004).

3.2 Unidades de stock

Recientes estudios han determinados el número de unidades poblacionales (demográficas) de anchoveta *Engraulis ringens* desde la región de Arica hasta la Región de Los Lagos, a través de la aplicación de múltiples metodologías de análisis: análisis químico de otolitos (isótopos estables y microelementos), fauna parasitaria, análisis de micro incrementos de otolitos, morfología de otolitos y análisis de marcadores moleculares (Garcés, *et al.* 2019). El análisis integrado de los diferentes métodos mostró una fuerte evidencia de que la zona 3 (Valparaíso-Los Lagos) corresponde a una unidad demográfica claramente separada de las zonas 1 (Arica-Antofagasta) y 2 (Copiapó-Coquimbo), con un nivel de mezcla del 3% hacia la zona 2, mientras que la zona 1 aporta un nivel de mezcla del 31% hacia la zona 2. Análisis basado a la forma del otolito sugiere que las diferencia entre zonas es más notoria para las zonas extremas, entre la zona norte y centro sur,

donde los individuos juveniles y adultos muestran una segregación espacial durante gran parte de su ciclo de vida (Cerna *et al.* 2019). Además, se debe considerar que las tasas de mezcla antes señaladas pueden variar a escala interanual y que pueden ser producto de dispersión durante las fases tempranas de huevos y larvas; y/u otros procesos advectivos que afecten las primeras fases de la progenie siendo además afectadas por cambios ambientales y/o en el tamaño de la población (Niklitschek *et al.* 2018).

3.3 Reproducción

La anchoveta es un desovante parcial, es decir, en un periodo determinado es posible encontrar ejemplares en diferentes estados de madurez sexual. Además, la anchoveta desova en tandas para producir un vasto número de pequeños huevos sobre un extenso periodo de desove que va desde mediados de agosto hasta el verano (Plaza *et al.*, 2012; Claramunt *et al.*, 2012), con una máxima intensidad que ocurre desde agosto a septiembre y otra desde diciembre a enero (Contreras-Reyes *et al.*, 2016). En este extenso periodo de desove (**Figura 2**), en el cual el 60% del ciclo anual el índice gonadosomático está por un valor sobre 5 (valor que señala que el 90% o más de las hembras están sexualmente activas, confirmado mediante análisis histológico), la anchoveta desova en sitios asociados a altas concentraciones de clorofila (Claramunt *et al.*, 2012), ya que esta variable ambiental es un buen indicador de la producción primaria (Longhurst *et al.*, 1995) y por ende de la disponibilidad de alimento. Basilone *et al.* (2006) demostraron que los niveles de clorofila afectan la intensidad del desove y el factor de condición. La madurez a la talla de la anchoveta ha sido estudiada por Martínez *et al.* (2009), cuya talla media de madurez corresponde a 11.5 cm en longitud total.

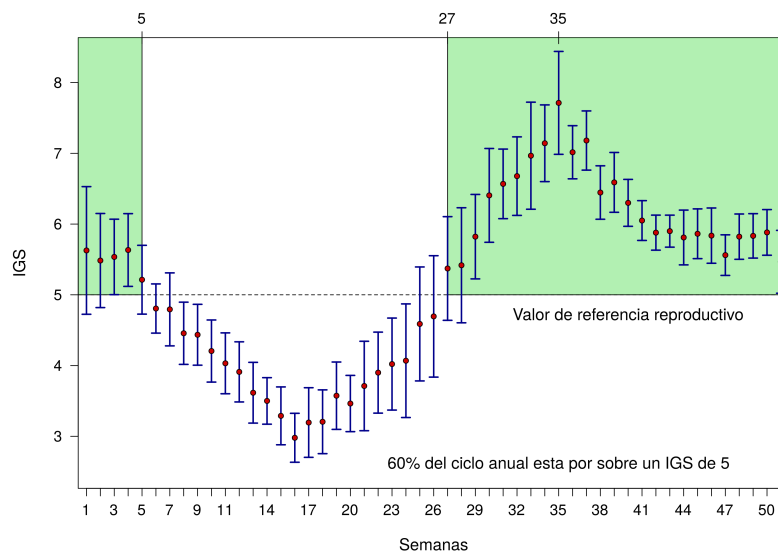


Figura 2. Ciclo anual del índice gonadosomático en escala semanal construido a partir de los datos recolectados por el monitoreo reproductivo en la zona norte de Chile desde el año 2000 al 2018. La línea punteada en un valor de 5 señala el inicio de la actividad biológica (FUENTE: IFOP).

3.4 Reclutamiento

Se define como reclutas a los ejemplares menores a 11.5 cm de longitud total e históricamente el ingreso de estos se ha observado desde octubre hasta marzo, sin embargo, durante los últimos años se ha detectado una mayor presencia de reclutas desde abril hasta agosto (Böhm *et al.*, 2021). La distribución de tallas observada por el crucero acústico estimó un 73% de reclutas, distribuyéndose los individuos entre 2.5 y 16 cm de longitud, con una alta presencia de individuos de 2.5 a 5 cm asociados a la franja costera (Leiva *et al.*, 2016). Durante la fase cálida del evento ENOS se observa un alto porcentaje de ejemplares menores a los 12 cm, alcanzando un 70% la presencia de reclutas en las capturas de la flota industrial (Bertrand *et al.*, 2004; Böhm *et al.*, 2016). Además, durante los últimos años se ha observado una disminución de las tallas medias en la flota industrial, donde la falta de ejemplares adultos ha estado ausente en los últimos años. La distribución de longitudes en las capturas de la flota industrial chilena muestra un patrón unimodal con una talla media de 14.73, 14.12, 13.03, 12.11, 12.63, 13.21, 11.46, 11.53, 11.82 y 12.27 cm en el 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022, respectivamente. Entre los años 2008-2018, la biomasa de este recurso registró una importante reducción producto de una tendencia negativa en los reclutamientos y un aumento de la mortalidad por pesca (Espíndola y Quiroz, 2017). Sin embargo, los cruceros de evaluación directa realizados en la zona norte de Chile registraron biomasa de reclutas por sobre el promedio histórico, cambiando la tendencia de anomalías negativas a positivas en los reclutamientos. Esto debido principalmente a que el reclutamiento del 2016 fue uno de los mayores registrados en la última década, superior en un 24% al reclutamiento observado en el 2015, y muy similar al observado en el 2014. Es decir, durante estos años 2015 al 2017 se registró un valor medio de 241 (± 28) mil toneladas de reclutas. Luego, la biomasa de reclutas observados a finales del segundo semestre del 2017 alcanzó un valor cercano a las 41 mil toneladas (Leiva *et al.*, 2018), lo que representó una disminución del 84% con respecto a la estimación de biomasa de reclutas del semestre anterior. A finales del 2018 y 2021 se registró un valor de 596 y 546 mil toneladas de reclutas, respectivamente. Estos registros representan los valores más altos de la serie historia desde que se hace el crucero acústico en el norte de Chile. Sin embargo, en el año 2022 la biomasa de reclutas alcanzó un valor mínimo de 48 mil toneladas.

3.5 Alimentación

La anchoveta se alimenta de fitoplancton y zooplancton, con una alta predominancia de fitoplancton por sobre zooplancton en 2.5 órdenes de magnitud (Medina *et al.*, 2015). Los componentes de mayor importancia relativa en la dieta fueron las diatomeas en el fitoplancton y los copépoda dentro del zooplancton, con un claro patrón oportunista y depredador generalista de la anchoveta en la zona norte de Chile. Durante los estadios larvales, el principal ítem alimenticio es el fitoplancton y posteriormente el zooplancton (Yáñez-Rubio *et al.*, 2011).

3.6 Crecimiento

Estudios recientes, utilizando análisis de microestructura de los otolitos, han reportado un crecimiento muy acelerado en la fase juvenil en algunas especies, incluido *Engraulidos*, lo que parece ser indicativo que estas especies alcanzan una porción significativa de sus longitudes asintóticas al finalizar el primer año de vida (Cerna y Plaza, 2016). En este contexto, se ejecutó el proyecto FIP

2009-17 que buscaba ajustar la asignación de edad anual, desde el análisis de microestructura de otolitos, que permitiera consignar la edad correcta de ejemplares que son producto de un reclutamiento prolongado en la zona norte de Chile. Los juveniles de esta especie crecieron a tasas muy elevadas, donde los reclutas de entre 11 y 12 cm de longitud total tenían entre 4 y 5 meses de edad. También se pudo determinar la edad diaria en ejemplares mayores a 12 cm de longitud total, reportándose que ejemplares de entre 15 y 16 cm no tenían más de 400 días de vida.

Posteriormente, un segundo proyecto de investigación fue ejecutado (SUBPESCA No 4728-31 LP 11), el cual permitió validar la periodicidad diaria de formación de los micro incrementos primarios en juveniles y adultos de esta especie en condiciones de confinamiento, lo que ratificaba los resultados del FIP 2009-17. Finalmente, un último proyecto FIP 2014-31 permitió confirmar la determinación y asignación de la edad de la anchoveta de la zona norte. Este proyecto concluyó que la determinación de la edad a nivel diario es altamente confiable para la anchoveta, *Engraulis ringens*, en la zona norte de Chile. Esta secuencia de proyectos involucrados en la determinación de la edad de la anchoveta es mostrada en la **Figura 3**.

También se han usado otolitos de peces de anchoveta capturados entre enero y julio del 2015. Las fechas de nacimiento fueron calculadas substrayendo a la fecha de captura la edad total en días. Los peces capturados correspondieron a juveniles de entre 8.5 y 12.5 cm de LT con edades que fluctuaron entre 97 y 167 días, peces nacidos entre julio (primer desove) y diciembre (segundo desove) del 2014 y una menor cantidad entre enero y abril (Böhm *et al.*, 2016). La edad de reclutamiento de la anchoveta varía entre los 92 días (3^{er} mes) y 191 días (6^{to} mes) desde la eclosión. Estos resultados son coincidentes con los reportados por Simpson y Buzeta (1967) que señalan dos nacimientos o dos desoves, uno durante el otoño (feb-abr) y el otro en primavera (jul-nov), con un coeficiente de crecimiento (k) de 1.6 año^{-1} y un L_{inf} de 16.9 cm, valores muy semejantes a los estimados por Cerna y Plaza (2016). También Saetersdal y Valdivia (1964) reportan para el Perú una descendencia de verano (segundo desove) y otra de primavera (primer desove), con la entrada de peces juveniles durante octubre-enero (primer reclutamiento) y otra en marzo-junio (segundo reclutamiento), con una alta proporción de peces de pequeño tamaño.

Reconfigurando los datos de micro incrementos diarios (otolitos) hacia una escala de tiempo mensual, como se muestra en la **Figura 4**, indica que a los tres meses de edad hay individuos de 4 y 12 cm de longitud total dependiendo del año en que fueron recolectados los peces, se muestra la alta variabilidad que presenta el crecimiento de la anchoveta en los primeros meses de vida. Estos resultados indican que habría individuos madurando sexualmente a los 3 meses en los años 1973, 1982 y 2009. En cambio, a los seis meses de edad, más de la mitad de los individuos (64%) están maduros sexualmente (caja celeste en la **Figura 4**).

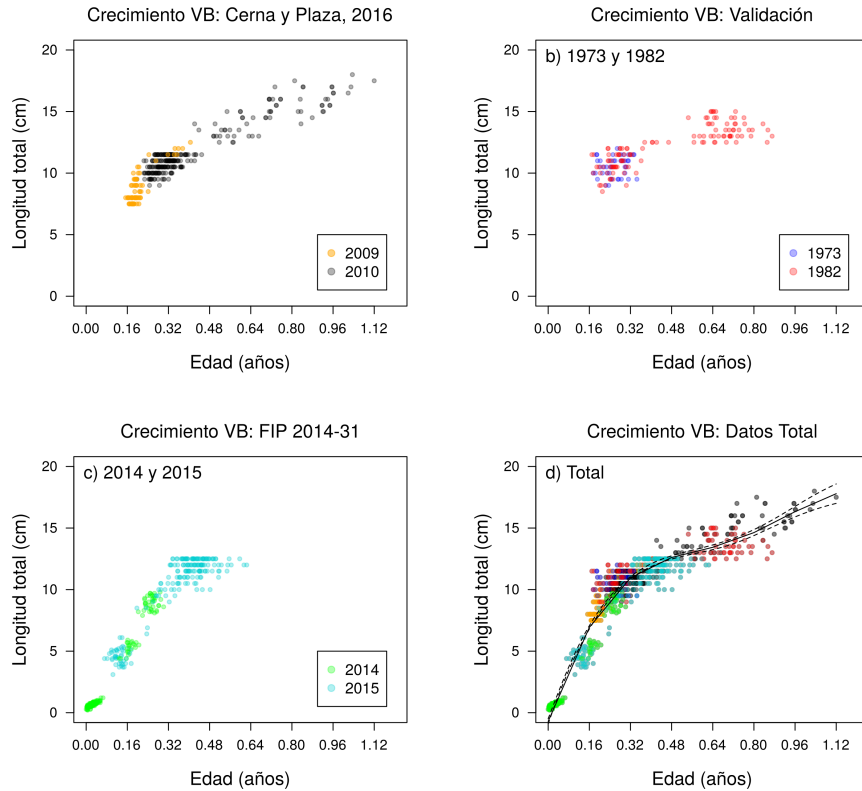


Figura 3. Diferentes proyectos que dan cuenta del modelo de crecimiento de la anchoveta en la zona norte de Chile, en el panel d) se resumen todos los datos juntos de los diferentes proyectos.

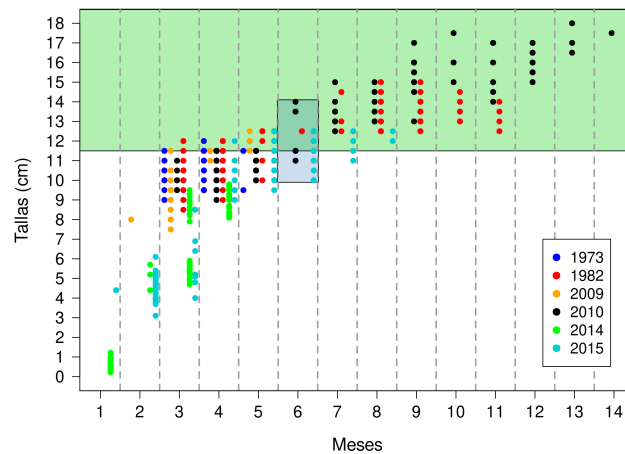


Figura 4. Reconfiguración de los datos de crecimiento de la anchoveta de la zona norte de Chile a una escala de tiempo mensual. La caja verde contiene los individuos sexualmente maduros que corresponde a tallas mayores e igual a 11.5 cm. Y la caja celeste contiene a los individuos de seis meses de edad con un intervalo de tallas que va desde los 10 a 14 cm de longitud total.

Estos resultados sugieren que la relación entre la desviación estándar de la talla a la edad no debería incrementarse con la edad, ya que para peces pelágicos pequeños, con tasas de mortalidad natural elevadas, como las reportadas en este estudio, es poco probable que sobrevivan suficientes individuos a la edad más vieja. Por ejemplo, para la zona centro sur de Chile, Cubillos *et al.* (2001) encontraron que el coeficiente de variación de la longitud a la edad disminuye con la edad. Aunque en este estudio los datos analizados provienen de mediciones basadas en macro-anillos. Sin embargo, en la **Figura 5** se muestra que el coeficiente de variación de la longitud a la edad disminuye linealmente a medida que aumenta la edad para los datos reportados por Cerna y Plaza *et al.* (2016). Aunque para algunos años (1982 y 2010) esta relación pareciera ser constante, esto se debería a que las muestras provienen de un rango de tallas acotado y de edades, sólo unos pocas muestras de otolitos a edades de más de 200 días.

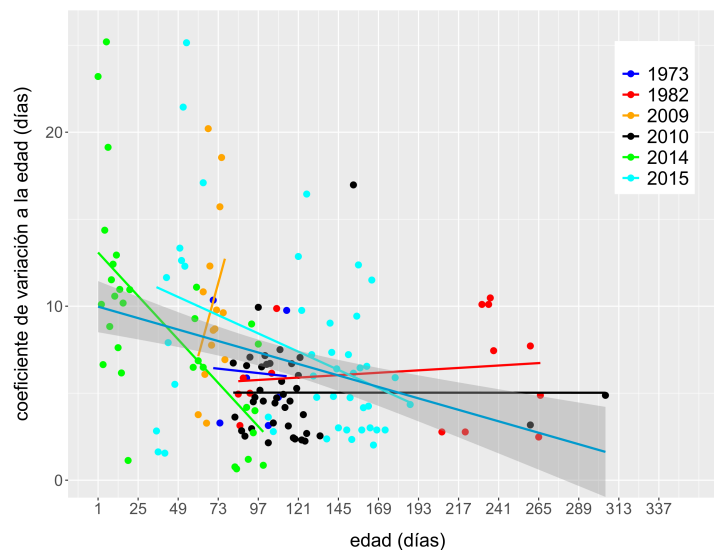


Figura 5. Coeficiente de variación de la longitud a la edad para la anchoveta de la zona norte de Chile en una escala diaria. Las estimaciones fueron realizadas para cada uno de los años en que se recolectaron las muestras. Y la línea de color cielo azul oscuro representa la tendencia lineal global con su intervalo de confianza al 95%.

3.7 Variabilidad ambiental

Una de las principales características que presentan los pequeños peces pelágicos es su alta variabilidad en el tamaño de su población debido a las fluctuaciones ambientales en diferentes escalas de espacio y tiempo. El principal forzante de los cambios interanuales de las condiciones atmosféricas y oceanográficas está asociado al fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENOS). Durante la fase cálida del ENOS se produce una disminución de la abundancia relativa de la anchoveta, con una profundización y distribución más costera, afectando la disponibilidad a la flota industrial. Además, de una alta presencia de juveniles por sobre los adultos (Bertrand *et al.*, 2004). Durante la última fase cálida del ENOS (2015-2016) se observó una talla modal de 12.5 cm en las

estructuras de las capturas de la flota industrial (CIAM, 2017) donde los ejemplares mayores a 16 cm no fueron observados. Es decir, las tallas medias han ido disminuyendo durante los años 2015-2016 y los buenos reclutamientos observados en los cruceros acústicos del 2014 al 2016, no se han traducido en ejemplares adultos, lo que refleja un claro efecto del calentamiento de la temperatura del mar debido a la fase cálida del ENOS. Y más aún, si consideramos los efectos del cambio climático (Bowler *et al.*, 2017) y la alta probabilidad de que eventos El Niño se hagan más frecuentes como resultado del calentamiento global (Hansen *et al.*, 2006; Cai *et al.*, 2014). Sin embargo, durante los últimos años, 2020, 2021 y 2022, la temperatura superficial del mar (TSM) ha registrado valores más fríos que aquellos registrados a fines del año 2018 y en el 2019, donde la temperatura superficial del mar estuvo más cálida. A fines del 2022 y comienzos del 2023 se registran anomalías positivas en la TSM, marcando el fin de tres años consecutivos con anomalías negativas (La Niña).

3.8 Ciclo de vida de la anchoveta

Considerando la información previamente señalada, en el sentido de: i) una distribución principalmente costera, donde el 70% de las capturas se desarrolla dentro de las primeras 20 millas náuticas, ii) con un desove que ocurre en un extenso período que va desde primavera hasta el verano, con dos máximos de intensidad, uno que ocurre desde agosto a septiembre y el otro desde diciembre a enero, es decir, dos reclutamientos al año, iii) una alimentación basada principalmente en el fitoplancton y secundariamente en el zooplancton, donde los componentes de mayor importancia relativa en la dieta son las diatomeas en el fitoplancton y los copépoda en el zooplancton, con un claro patrón oportunista y depredador generalista, iv) los nuevos antecedentes que dan cuenta de un coeficiente de crecimiento de la ecuación de von Bertalanffy de $k = 2.12 \text{ año}^{-1}$, donde al año de vida alcanza una longitud media de 16.3 cm y v) una mortalidad natural de 2.2 año^{-1} . Entonces, en base a estos antecedentes expuestos se plantea el siguiente modelo conceptual de la historia de vida de la anchoveta (*Engraulis ringens*) para el sur de Perú y norte de Chile (**Figura 6**).

CICLO DE VIDA ANCHOVETA XV-II REGIONES

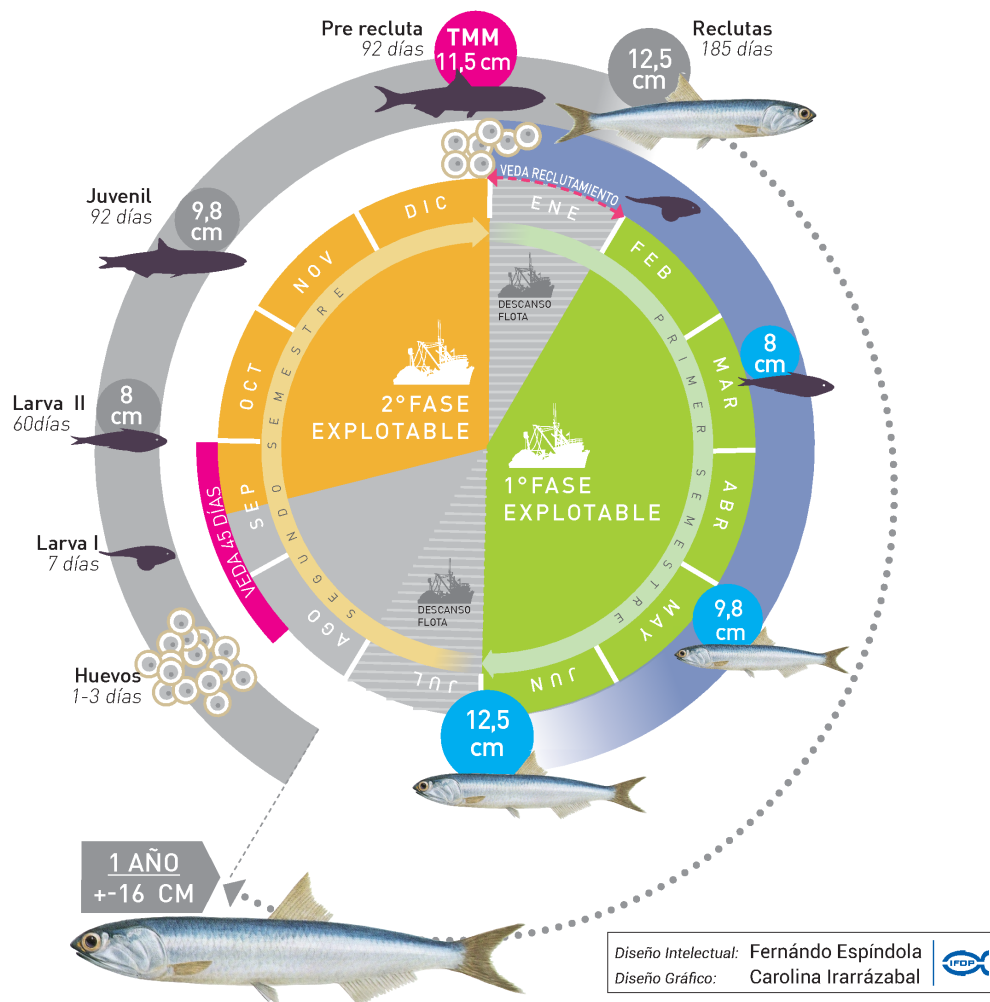


Figura 6. Diagrama del modelo conceptual planteado para la anchoveta (*Engraulis ringens*) del sur de Perú y norte de Chile (XV-II Regiones)

3.9 Pesquería

La anchoveta es el recurso objetivo de la pesquería pelágica de cerco de la zona norte de Chile, localizada en la región de Arica y Parinacota a la región de Antofagasta. La pesquería de anchoveta del norte de Chile ($18^{\circ}20'LS$ - $24^{\circ}00'LS$) ha reportado en promedio 827 mil ($\pm$ 409 mil) toneladas anuales de desembarque desde el año 1986 hasta el 2017, lo que representa una alta importancia a la economía regional y de empleos directos e indirectos, con el consiguiente beneficio económico y social. Los desembarques de la anchoveta en el norte de Chile han presentado fuertes variaciones en la historia de la pesquería, en particular, las capturas fueron bajas en el 2009 y 2010 alrededor de un 46% bajo el promedio 1986-2012 de 873 mil toneladas. Esta situación también se observó en la pesquería del sur del Perú donde en particular los años 2010 y 2013 se observó una disminución de las capturas de más de un 47% bajo el promedio 1986-2012 de 587 mil toneladas. A pesar de que el desembarque de ambos países sufrió un incremento relativo en el año 2011 (1.5 millones de toneladas), en el año 2012 y 2013 se observó una disminución del desembarque total. Durante el año 2014 (1 millón de toneladas) se observó un repunte del desembarque respecto de semestres equivalentes en años anteriores. En el 2015, el desembarque disminuye levemente para alcanzar las 938 mil toneladas, pero en el 2016 se registró el valor más bajo durante los últimos años, con un registro cercano a las 402 mil toneladas totales (**Figura 7**). Durante el 2017 este valor aumenta por sobre las 700 mil toneladas anuales para el stock compartido de anchoveta, y en el 2018 alcanza casi el millón de toneladas anuales, superando la cuota de captura en 211 mil toneladas. En el 2019 se alcanza las 719 mil toneladas anuales, valor levemente inferior a la cuota asignada de 749 mil toneladas. Durante el 2020 se registro el valor más bajo de la serie histórica alcanzando las 271 mil toneladas, debido principalmente a que la flota peruana no registro capturas durante este año. Luego, las capturas aumentan hasta las 620 y 719 mil toneladas en el 2021 y 2022, respectivamente. Durante el primer y segundo semestre del 2023 las capturas registradas por la flota chilena alcanzaron las 50 y 80 mil toneladas, respectivamente. Y las capturas de la flota peruana durante el año 2023 sólo alcanzaron las 26 mil toneladas, con un 99% de ellas capturadas en el primer semestre. Esta caída en las capturas se debe principalmente al fenómeno El Niño 2023-24.

Estacionalmente, el análisis promedio histórico (1986-2022) de las capturas semestrales del stock de anchoveta para ambas flotas señalan que éstas se concentran mayoritariamente en el primer semestre. Del total histórico capturado por la flota chilena (67%), el 58% se captura en el primer semestre y el 42% en el segundo semestre, en cambio para la flota peruana, del total histórico capturado (33%), el 76% se captura en el primer semestre y el 24% en el segundo semestre. Situación muy distinta es lo que ocurre en años más recientes donde las capturas de la flota chilena se han registrado en dos a tres meses del año. Al respecto, en el 2014 el 89% de los desembarques se registraron en abril y mayo, mientras que en el 2015 el 78% se concentró en mayo y junio. En el 2016 el 73% de las capturas se focalizó en mayo y junio, siendo nulos a partir de septiembre para la región sur del Perú. En el norte de Chile, la captura de anchoveta se concentra en los meses de marzo (2014) y abril (2015). En cambio, en el año 2016 el 77% de las capturas se concentraron en cuatro meses (abril-julio), siendo junio el valor máximo. En el 2017, el 60% de las capturas se concentraron en tres meses (feb-abr), con marzo con el mes de máxima captura.

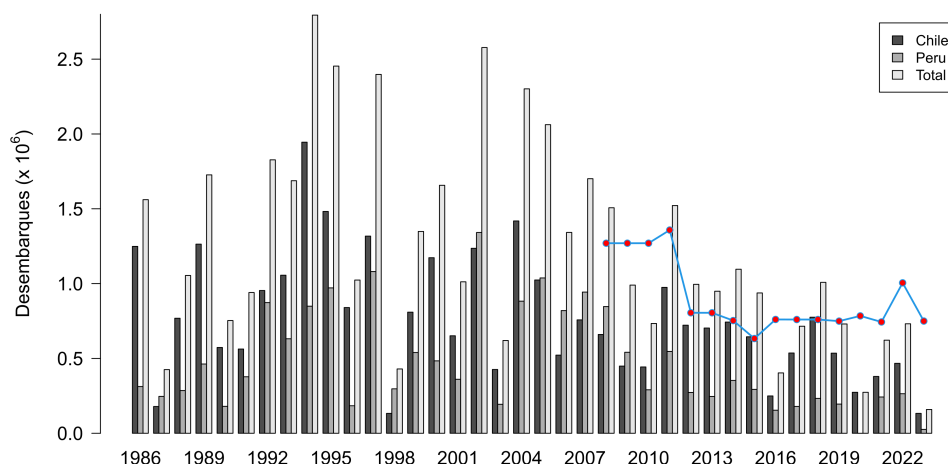


Figura 7. Desembarques (t) anuales por país para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. Los puntos rojos indican las cuotas de capturas asignadas para la pesquería chilena.

3.10 Evaluación de stock

Desde el año 2002 y hasta el 2010, la evaluación de stock de anchoveta estuvo basada en un modelo estadístico de captura a la edad (MECE). En octubre del 2010 se introdujo como una alternativa un modelo estadístico de captura a la talla (MECT). Este cambio se debió a las dudas existentes en la asignación de la edad de la anchoveta, y también porque la escala anual no representaba de manera adecuada la dinámica del recurso debido al extenso período de desove, es decir, con un máximo marcado a mediados de agosto y otro de menor intensidad a comienzos del año, donde el índice gonadosomático alcanza valores mayores a cinco (**Figura 2**). Esta característica del desove y la presencia de zona recurrentes del desove a lo largo de la zona norte de Chile hace que se observen reclutas durante todo el año.

Considerando estos aspectos y para independizarse de la determinación de la edad se optó por usar: i) la estructura de tallas de las capturas como variables observadas, pero se continuó con una dinámica en edades a través de la simulación de una clave talla-edad, constante en el tiempo; ii) para dar cuenta del extenso período de desove y de reclutas durante gran parte de año, se trabajó a escala semestral asumiendo la existencia de dos reclutamientos y dos desoves por año. Estas dos modificaciones al modelo de evaluación de stock (MECE) llevaron a concluir que el modelo MECT mejoraba el ajuste y además representaba mejor la dinámica del recurso (Serra y Canales, 2011). Una siguiente modificación al modelo de evaluación tuvo lugar en septiembre de 2012 (Serra y Canales, 2012) cuando se introdujo la diferenciación por flotas debido a que los patrones de explotación parecían ser distintos en Perú y Chile lo que se observa en la composición de tallas de la captura, esto a sugerencia del Taller de Evaluación de Recursos de junio de 2012 (Serra y Canales, 2012). La modificación introducida si bien no generó diferencias significativas desde el

punto de vista de las variables de estado del stock y del ajuste del modelo, si permitió representar mejor la vulnerabilidad del stock por ambas flotas (Serra y Canales, 2013).

A pesar de las mejoras introducidas a la evaluación de stock de la anchoveta y al hecho que el modelo es considerado en desarrollo, la incertidumbre en la edad y en el crecimiento, y la falta de sensibilidad del modelo a los índices de abundancia, motivaron el Taller de Revisión de la Evaluación de Stock de Anchoveta del Norte de Chile con la participación del experto internacional en evaluación de recursos pesqueros Dr. Chris Francis (Canales *et al.*, 2014). El Taller dio cuenta de la revisión de los datos, el modelo de evaluación y la identificación de las principales fuentes de incertidumbre. En la oportunidad se revisó cada fuente de información utilizada en la evaluación, y se realizaron algunas modificaciones buscando consistencia y evidencia entre el (los) indicador (es) y el proceso modelado. Se examinó el modelo de evaluación y sus supuestos estableciéndose un modelo base el cual estuvo asentado en una modificación del MECT considerando dos flotas (Serra y Canales, 2013) pero donde se ha independizado la estimación de la tasa de crecimiento, k , de la longitud asintótica (L_{inf}) siguiendo la aproximación de Schnute y Fournier (1980). Posteriormente, y utilizando el modelo base se realizó un análisis de sensibilidad a las piezas de información y supuestos del modelo. Esto permitió identificar las principales fuentes de incertidumbre en la evaluación y recomendaciones de estudios posteriores orientados a mejorar la evaluación de stock de anchoveta.

Uno de los temas prioritarios durante muchos años ha sido la incertidumbre asociada a la determinación de la edad de la anchoveta. Estudios recientes han reportado que el recurso tiene un crecimiento más rápido que el usado en las evaluaciones de stock históricas. Este crecimiento muestra que esta especie alcanza una porción significativa de su longitud asintótica al finalizar su primer año de vida (Plaza *et al.*, 2017). Estos antecedentes inducen cambios relevantes en la dinámica de la especie, los que se ven reflejados en los casos de evaluación de stock que fueron implementados en el primer informe de estatus (Espíndola y Quiroz, 2017). En este informe se dio cuenta de diez análisis, seis en términos del crecimiento y cuatro en términos de la productividad, determinándose que la mayor reducción de la verosimilitud total se produce en términos del crecimiento, con un $k = 2.12 \text{ año}^{-1}$ y $L_{inf} = 17.55 \text{ cm}$.

Dado el nuevo modelo de crecimiento y la incertidumbre que este generó en la evaluación de stock, 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). El taller dio cuenta de la revisión de los datos usados en la evaluación de stock, el crecimiento de la anchoveta basado en micro incrementos diarios y el supuesto de mortalidad natural usado, las hipótesis estructurales que definen el modelo conceptual de la pesquería de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. Además, se revisó la dinámica poblacional, los modelos de los procesos y error, la configuración del modelo de evaluación. Y finalmente, se revisaron los ajustes del modelo de evaluación a los datos usados, las variables poblacionales estimadas por el modelo, el desempeño del modelo, análisis retrospectivo, puntos biológicos de referencia y estatus del recurso estudiado.

Posterior a la revisión por pares hecha por el Dr. Ianelli, durante los días 8 al 12 de julio del 2019 en dependencias del IFOP, Valparaíso, se realizó el taller de sensibilidad de la evaluación de stock frente a diferentes casos de análisis (benchmark) en la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile con la colaboración de la Dra. Carolina Minte-Vera de la Comisión Inter-Americana del Atún Tropical (IATTC), cuyo objetivo fue cooperar en la implementación de las sugerencias de mejoras

priorizadas en el proceso de revisión por pares, en caso de que dicho proceso no sugiera un cambio estructural del enfoque de modelación (sólo mejoras al modelo actual). En su defecto, (si se sugiere un cambio estructural del modelo) contribuir en el desarrollo e implementación del modelo base. Como el Dr. Ianelli recomendó hacer mejoras al modelo actual de evaluación y validó el enfoque de modelación, este taller se implementaron las recomendaciones emanadas de la revisión pares y se exploraron otras modificaciones para mejorar el modelo, y el resultado de este taller propuso un modelo base que podría ser usado para el manejo pesquero. Posterior a este taller, en el cumplimiento del objetivo 4 de este proyecto “Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría Científica (PMCCAC)”, se ha continuado con las mejoras el modelo de evaluación, implementando una selectividad de tipo doble-normal, con la capacidad de convertirse en logística en caso que los datos así lo ameriten. Esta mejora permite lidiar con las altas mortalidades por pesca que se observan con el modelo logístico (las que alcanzan el límite superior establecido en el modelo) y que repercuten en el análisis retrospectivo cuando se registran las altas abundancias totales estimadas a través del método acústico y las bajas capturas que se registraron durante el período 2015-2017. Además, se han introducidos mejoras en cuanto a los datos usados por el modelo de evaluación, como es la incorporación de los pesos medios variables por semestre desde el año 2001 en adelante.

3.11 Estatus

La condición de explotación del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile fue evaluado conforme al estándar adoptado por el Comité Científico Técnicos de Pesquerías Pelágicas (CCT-PP) y es sustentado en la estimación de los Puntos Biológicos de Referencia (PBR) especie-específicos. Los proxies al Rendimiento Máximo Sostenido (RMS) son: i) la biomasa al rendimiento máximo sostenido (B_{RMS}) es igual al 50% de la biomasa desovante virginal (BD_0) y ii) la mortalidad por pesca al RMS (F_{RMS}) es aquella mortalidad por pesca que en el largo plazo produce el 55% de la biomasa desovante por recluta igual a $F_{55\%}BDPR$ (Beverton y Holt, 1957). Considerando estos PBR, el estado de explotación del stock de anchoveta indica que al segundo semestre del 2022 la mortalidad por pesca muestra un patrón fluctuante desde mediados de 1992, en varios períodos donde se registran valores por sobre el F_{RMS} y otros períodos por debajo del F_{RMS} . Desde el 2010 a la fecha los valores se ubican por debajo del F_{RMS} , generando con esto una condición sin sobrepesca (**Figura 8**), y al último semestre de la evaluación la mortalidad por pesca se encuentra un 51% por debajo del objetivo de manejo. De igual manera, los resultados indican que la reducción de la biomasa ocurrida en el 1987, 1993, 2001, 2008 y 2016 llevaron a la población a valores por debajo de la biomasa al RMS, generando con ello una condición de sobre-explotación. Sin embargo, la reducción de la mortalidad por pesca observada durante los últimos años y la alta variabilidad observados en los reclutamientos han llevado a la población a niveles por sobre el punto biológico de referencia objetivo, y esto se traduce que desde mediados del 2016 a la fecha ha variado en torno a un $1.58 (\pm 0.43)$. Al último semestre de la evaluación la biomasa desovante se encuentra un 49% superior al objetivo de manejo, y dado los niveles de incertidumbre, existe una probabilidad de 0.02 de que la $BD_{2022.5} < BD_{RMS}$ (**Figura 8**), definiendo una condición de sobre-explotación.

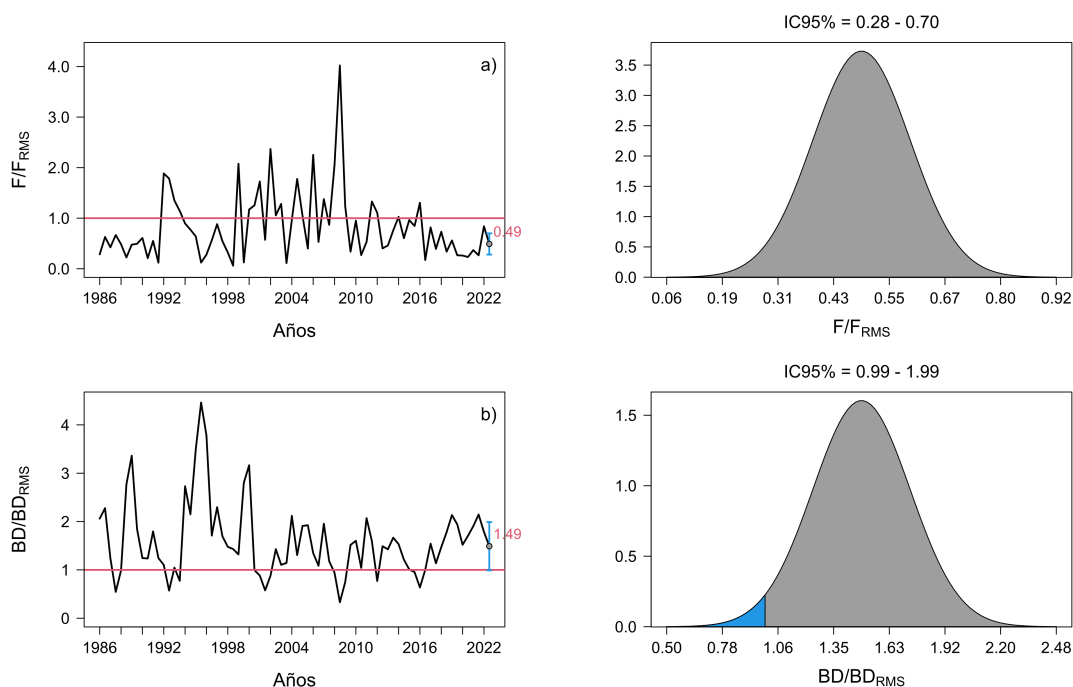


Figura 8. Serie temporal de la razón de la mortalidad por pesca respecto a su referente asociado al RMS y la incertidumbre al último semestre de la evaluación en el panel superior (a) y la serie temporal de la razón de la biomasa desovante respecto a su referente asociado al RMS y la incertidumbre al último semestre de la evaluación en el panel inferior (b) para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. La línea roja representa el objetivo de manejo referido al RMS.

3.12 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 octubre de cada año, establecer el estatus y recomendar el rango de CBA para el año siguiente. En el mes de noviembre y diciembre, el crucero de evaluación acústico permite estimar la abundancia y biomasa total para el norte de Chile (fines de año) y para el sur del Perú las estimaciones acústicas ocurren en primavera y verano, esta información junto a datos provenientes de la pesquería de Chile y Perú y la estimación de la biomasa desovante a partir del método de producción diaria de huevos, es utilizada para la actualización de la CBA que ocurre en marzo.

La **Tabla 31** muestra las CBA recomendadas por el CCT-PP en las distintas etapas de establecimiento de cuotas, desembarques registrados y sus diferencias, entre el 2015 y 2023. Entre el 2016 y 2019 la CBA se mantuvo en 760 mil toneladas *status quo*, en ambos hitos de manejo (CBA inicial y actualizada). El año 2020 se incrementa a 784 mil toneladas, no obstante, para ese año se capturó un 34% de la CBA recomendada. En el año 2021 disminuye levemente la CBA con respecto al 2020, y se captura un 83% de la CBA recomendada. En el año 2022, la CBA inicial fue de 751 mil toneladas y luego fue actualizada en torno al millón de toneladas, y se captura un



71% de la CBA recomendada. Y para el año 2023 la CBA inicial fue de 749.7 mil toneladas y a pesar que la recomendación de la CBA actualizada fue menor a la CBA inicial, esta no puede bajar y se mantuvo la CBA inicial aplicando el concepto de “*status quo*”. En la última sesión de CCT-PP¹ efectuada durante la primera quincena de octubre del 2023 se fijó una CBA inicial de 688.7 mil toneladas para el año 2024 sin considerar la ley de remanentes.

Tabla 1. Capturas biológicamente aceptables (miles de ton.) recomendadas por el CCT en las distintas etapas de establecimiento de CBA, desembarques (miles ton) registrados para ambos países y sus diferencias.

Año	CBA inicial	CBA actualizada	Desembarques	Diferencia
2015	633.0	633.0*	926.0	1.46 veces la CBA
2016	760.0	760.4*	397.4	0.52 veces la CBA
2017	760.0	760.0*	708.7	0.93 veces la CBA
2018	760.0	760.0*	971.1	1.27 veces la CBA
2019	749.3*	749.3*	719.9	0.96 veces la CBA
2020	784.3	784.3*	271.9	0.34 veces la CBA
2021	564.4	743.7	620.2	0.83 veces la CBA
2022	751.3	1005.2	719.5	0.71 veces la CBA
2023	749.7	749.7*	131.0	0.17 veces la CBA
2024	688.7		12.6**	0.018 veces la CBA**

Nota: **status quo* ***preliminar*

¹https://www.subpesca.cl/portal/616/articles-119803_documento.pdf

4 METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1 Objetivo específico 1

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

El enfoque de estudio se sustenta en la aplicación del método científico y en el uso de la mejor información y conocimiento disponible del recurso y la pesquería a la fecha de ejecución, consecuente con la aplicación del enfoque precautorio en las pesquerías establecido por la FAO (1997) y el enfoque ecosistémico (FAO, 2003). Con este propósito, se aplicarán procedimientos de trabajo científico (i.e., transparente, auditables y reproducibles) e inclusivos (talleres y reuniones de trabajo grupales), con el fin de asegurar el cumplimiento del Proceso de Asesoría Científica y que la Administración cuente con ella, en el Proceso Decisional de Manejo de las principales pesquerías nacionales. Para el logro de los objetivos del proyecto, se revisará toda la información científica y técnica disponible.

Se considera la participación del equipo de trabajo en las reuniones que para estos efectos establezcan los Comité Científico Técnicos, así como todas las actividades que demanden las Revisiones por Pares Externos e Independientes (RPEI) de estos estudios (tanto de expertos nacionales como internacionales) u otros proyectos que correspondan a temas relevantes al manejo pesquero, cuando corresponda. Las recomendaciones de los revisores constituirán un Estándar Metodológico en la Evaluación de un determinado recurso, cuyos protocolos se mantendrán vigentes hasta que se considere necesario perfeccionarlos, conforme la recomendación del Comité Científico Técnico respectivo.

Para determinar el estatus de los recursos selectos, se considerará lo establecido por los Comité Científico Técnicos 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. En aquellos casos en que el nivel de desarrollo del conocimiento, la información o los datos sean limitados o con altos niveles de incertidumbre, de forma que limiten o impidan la aplicación en propiedad de procedimientos de evaluación y análisis con estándares altos (i. e., para datos ricos), se desarrollarán e implementarán procedimientos y métodos alternativos adecuados a la disponibilidad de información con el fin de determinar el estatus de los recursos que se encuentren en esta condición, los que propenderán a reducir los niveles de incertidumbre que perturben la toma de decisión (sensu Carmichael y Fenske, 2010).

No obstante, lo anterior y con el propósito de alcanzar el Estándar Completo, se identificarán las brechas y limitaciones que impiden lograr ese objetivo y se propondrán detalladamente las acciones que se consideren necesarias para alcanzarlo, en el corto o mediano plazo, según corresponda.

4.1.1 Modelo conceptual

La dinámica poblacional es conceptualizada a través del modelo biológico de la historia de vida de la anchoveta (*Engraulis ringens*), que es sustentado por los siguientes componentes:



- *Distribución geográfica.* Se asume que la población de anchoveta de los 16°- 24°LS constituye una única unidad de stock. Además, se considera que el stock de anchoveta es homogéneo al interior de esta área, donde el conjunto de individuos está sujeto a la misma probabilidad de crecimiento y mortalidad, y donde la migración fuera del área no es importante.
- *Escala temporal.* Se asume una escala temporal semestral. Los supuestos sobre la escala de la dinámica se sustentan sobre el hecho que la anchoveta es una especie de vida corta (al año de vida alcanza una longitud media de 16.3 cm), que tiene un período de desove bien prolongado, comenzando a mediados de agosto y extendiéndose a través de toda la primavera para comenzar a declinar hacia fines del verano. Este período prolongado de desove y los reclutamientos han determinado que la escala temporal de la dinámica poblacional usada sea al menos a nivel de semestre.
- *Reproducción.* Dada la extensión del período de desove, que va desde primavera hasta el verano, se asume que los individuos del stock tienen dos eventos reproductivos discretos durante el año. La máxima intensidad del desove ocurre desde agosto a septiembre y otra desde diciembre a enero. Consistente con ello, el reclutamiento a la pesquería también se observa durante gran parte del año, registrándose un máximo reclutamiento durante enero y otro que ocurre en julio.
- *Reclutamiento.* El reclutamiento ocurre a la forma de pulsos de abundancia a comienzos de cada semestre y estimado a través de desviaciones de R_0 .
- *Modelo de crecimiento.* El crecimiento es determinado a través del análisis de micro incrementos diarios de los otolitos. Estos resultados indican que al año de vida la anchoveta alcanza una longitud media de 16.3 cm (Cerna y Plaza, 2016; Plaza *et al.*, 2017).
- *Mortalidad natural.* La tasa de mortalidad natural se asume constante en el tiempo y a través de las edades. Se considera un valor de 2.2 año^{-1} . Valor que es obtenido a través de aplicación de diferentes métodos bio-analógico que están disponibles en la literatura (http://barefootecologist.com.au/shiny_m.html).
- *La mortalidad por pesca.* Es el resultado de la interacción entre la mortalidad por pesca semestral y el patrón de explotación edad y flota (Chile, Perú) específico. Se asume que los desembarques en esta pesquería es un buen sustituto de las capturas.

El modelo de evaluación de stock de anchoveta se basa en un análisis estadístico de la dinámica poblacional donde las observaciones en tallas son transformadas a edades por medio de una clave talla-edad variable en el tiempo, además incorpora información biológica y pesquera. La información que ingresa al modelo consiste en los desembarques totales y datos de composición de longitudes que son proporcionados por el programa de monitoreo de las pesquerías de peces pelágicos (Chile-Perú), mientras que las evaluaciones acústicas de verano proporcionan información de la biomasa total, junto a la composición de abundancia por rango de longitud. Además, se incorpora información de la biomasa total estimada en la zona sur del Perú por las evaluaciones acústicas. En base a esta información el modelo de evaluación estima las variables de estado representadas por la biomasa desovante (BD) y los niveles de mortalidad por pesca (F) para cada una de las flotas, que junto a los puntos biológicos de referencia (PBR) permiten determinar el estatus y calcular la captura biológicamente aceptable (CBA).

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

Al respecto, la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile es una especie que tiene un rápido crecimiento en los primeros estadios de vida, con altos valores del coeficiente de crecimiento de von Bertalanffy (Plaza *et al.*, 2017), para poder tempranamente reproducirse, lo que implica una alta mortalidad natural (M). Por ende, el reclutamiento está altamente influenciado por el ambiente. El modelo de evaluación de stock tiene una frecuencia temporal semestral, está estructurado a la edad, con información en tallas mediante el uso de una clave talla-edad variable en el tiempo. Se considera dos flotas comerciales en el modelo de evaluación y el patrón de selectividad es asumido variable en el tiempo. El modelo de evaluación de stock no incluye una relación stock-reclutamiento, sino que los reclutamientos son estimados a través de desviaciones de R_0 . Estos antecedentes permiten clasificar a anchoveta del sur de Perú y norte de Chile en el *tier* o nivel 1b. A continuación, se detalla y fundamenta el conjunto de datos a emplear en el modelo de evaluación de stock, además se informa la incertidumbre asociada a los indicadores de abundancia propuestos para utilizar en la evaluación de anchoveta.

4.1.2 Incorporación del descarte

En la pesquería de la zona norte de Chile, la principal causa del descarte identificada fue el enmalle de individuos juveniles (menor de 12 cm de longitud) y otras de las causas identificadas fueron exceder el límite permitido de fauna acompañante (langostino colorado enano, mote, bonito y roncacho), la captura de especies prohibidas como el tiburón peje zorro y exceder la capacidad de carga de la embarcación (Vega *et al.*, 2020). Las mayores capturas se registran en el primer semestre para ambas flotas, debido al desove principal que ocurre en otoño-primavera. Y la menor captura del segundo semestre se debe al desove secundario que ocurre en el verano. Esto genera que la operación de la flota industrial y artesanal se concentre en el primer semestre del año (**Tabla 2**), durante el año 2019 para la flota industrial se realizaron 2,210 y 1,835 viajes en el primer y segundo semestre, respectivamente. Y para la flota artesanal se realizaron 2,551 y 1,764 viajes en el primer y segundo semestre, respectivamente. El número de viajes muestreados entre los años 2019-2021 fluctúa entre 13 a 148 para ambas flotas, con una cobertura de muestreo del 0.72 al 15.81% del total de viajes realizados por ambas flotas.

Durante el primer semestre 2020, se registró el nivel más bajo de captura total y descartada producto de la reducción significativa de los viajes totales sobre el recurso anchoveta, debido a

la falta de operación de la flota industrial que dirigió su operación a la pesca del jurel, siendo la anchoveta capturada principalmente por la flota artesanal. Además, las dificultades que presenta la flota artesanal para implementar protocolos de seguridad frente a la pandemia, generaron la más baja cobertura de muestreo. Sin embargo, los formularios de auto-reportaje aumentaron significativamente lo que permitió desarrollar las estimaciones. Las estimaciones del descarte durante el 2020 fueron bajas al igual que las capturas, lo que es coincidente para este estudio, ya que a mayor captura el descarte también aumenta. Se asume que entre los años 1986 al 1999 no ocurrió descarte (supuesto 0% descarte), ya que durante este período no existían regulaciones administrativas que pudieran incentivar el descarte. La corrección de la serie de captura de la flota chilena se realiza a partir del año 2000, basado en el inicio del proceso de certificación en la pesquería anchoveta norte y la recomendación de CBA por el CCT-PP. Para el período entre el 2000 al 2016 el descarte se asume igual al promedio del descarte de la serie 2017-2020 para la flota artesanal e industrial. La **Tabla 3** muestra la captura total, captura retenida y descartada promedio para el período de monitoreo 2019-2022 por flota y semestre.

Entonces, la captura corregida artesanal (CC_{art}) por el descarte está dada por:

$$CC_{art} = C_{tot} * Pro_{art} * (1 + \%D_{art}) \quad (1)$$

Donde la C_{tot} es la captura total, Pro_{art} es la proporción de la captura total correspondiente a la flota artesanal y $\%D_{art}$ es la estimación del descarte para la flota artesanal. La captura corregida industrial (CC_{ind}) por el descarte está dada por:

$$CC_{ind} = C_{tot} * Pro_{ind} * (1 + \%D_{ind}) \quad (2)$$

Donde Pro_{ind} es la proporción de la captura total correspondiente a la flota industrial y $\%D_{ind}$ es la estimación del descarte para la flota industrial. Luego, la captura total corregida por semestre y por el descarte es:

$$CT_{cor} = CC_{art} + CC_{ind} \quad (3)$$

La evaluación de stock de anchoveta norte incorpora los porcentajes de descarte estimados entre el 2017 al 2022 (**Tabla 2 y Tabla 3**) para corregir la serie de desembarques semestrales de la flota chilena artesanal e industrial de la anchoveta norte. Los supuestos de descarte utilizados en la evaluación de stock entregada en la asesoría de septiembre del 2023 (1^{er} Hito CBA 2024) son los siguientes:

- El supuesto 1 de descarte propuesto para la corrección de la serie de desembarques semestrales (2022.0,2022.5) para flota artesanal e industrial se obtiene del programa del descarte actualizado desarrollado por IFOP (**Tabla 2**).
- El supuesto 2 de descarte propuesto para la proyección de la CBA semestral durante el 2024 para la flota total se obtiene del promedio de la serie de datos 2019-2022.

Los supuestos de descarte utilizados en la asesoría de marzo del 2024 (2^{do} Hito CBA 2024) fueron los siguientes:



- El supuesto 1 de descarte propuesto para la corrección de la serie de desembarques semestrales (2023.0 y 2023.5) para flota artesanal e industrial se obtiene del promedio de la serie 2019-2022.
- El supuesto 2 de descarte propuesto para la proyección de la CBA semestral 2024 para la flota chilena total se obtiene del promedio de la serie de datos 2019-2022 (**Tabla 3**).

El IFOP presentó al CCT-PP, en la sesión de febrero del 2021, un resumen de las estimaciones de descarte y una propuesta de un procedimiento estándar a implementar por un plazo de dos años, como mecanismo transitorio para compensar la incertidumbre de las estimaciones del descarte usado como input en la determinación de la CBA. Posteriormente, en la cuarta sesión del CCT-PP, IFOP presentó los niveles de descarte para ser aplicados en la CBA 2023, para la anchoveta norte se consideró aplicar el promedio de los datos provenientes del período de monitoreo de descarte 2019-2021, que incluye ambas flotas, un valor de 1.56% para el primer semestre y un 0.97% para el segundo semestre ².

Tabla 2. Estimaciones de captura total (CT), retenida (CR) y descartada (CD) en toneladas, porcentaje de descarte (%D), tamaños de muestra de los viajes muestreados (VM) y totales (VT) y porcentaje de cobertura (%C) para el período 2017 al 2022 por semestre para la pesquería de cerco de anchoveta de la zona norte de Chile.

Año	Semestre	Flota	CT	CR	CD	%D	VM	VT	%C
2017	1	Artesanal	91,182	88,290	2,892	3.17	30	2,845	1.05
		Industrial	363,031	362,620	411	0.11	43	2,210	1.95
	2	Artesanal	48,199	46,003	2,196	4.56	32	1,331	2.40
		Industrial	246,902	245,702	1,200	0.49	39	1,835	2.13
2018	1	Artesanal	79,450	78,238	1,213	1.53	27	2,620	1.03
		Industrial	530,289	515,183	15,106	2.85	59	2,864	2.06
	2	Artesanal	31,106	28,325	2,781	8.94	30	947	3.17
		Industrial	221,449	216,934	4,515	2.04	46	2,004	2.30
2019	1	Artesanal	85,711	83,941	1,770	2.07	37	1,756	2.11
		Industrial	355,916	347,147	8,769	2.46	32	2,551	1.25
	2	Artesanal	43,221	42,565	656	1.52	41	905	4.53
		Industrial	98,775	97,652	1,103	1.12	24	1,764	1.36
2020	1	Artesanal	93,880	93,410	471	0.50	13	1,800	0.72
		Industrial	19,351	19,274	76	0.40	39	249	15.66
	2	Artesanal	41,024	40,702	323	0.79	71	790	8.99
		Industrial	52,401	51,662	739	1.41	148	951	15.56
2021	1	Artesanal	133,028	132,112	916	0.69	60	2,150	2.79
		Industrial	83,137	83,137	0	0.00	135	854	15.81
	2	Artesanal	30,343	30,163	180	0.59	28	459	6.10
		Industrial	45,050	45,049	2	0.00	71	561	12.66
2022	1	Artesanal	87,802	84,080	3,722	4.24	47	2,652	1.77
		Industrial	34,191	33,950	241	0.70	78	436	17.89
	2	Artesanal	38,937	38,360	578	1.48	71	927	7.66
		Industrial	25,145	25,140	5	0.02	51	258	19.77

²<https://www.subpesca.cl/portal/616/w3-propertyvalue-51142.html>

Tabla 3. Valores del descarte promedio sobre la base de la captura total (CT), captura retenida (CR) y descartada (CD) en toneladas para el período de monitoreo 2019-2022 por flota y semestre.

Flota	Semestre	CT	CR	CD	% descarte
Artesanal	1	400,421	393,542	6,878	1.718
	2	153,526	151,789	1,737	1.132
Industrial	1	492,594	483,508	9,087	1.845
	2	221,351	219,503	1,848	0.835

4.1.3 Modelo de evaluación de stock

El modelo estadístico de evaluación de stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile se basa en la dinámica de las estructuras de tallas por flotas (Perú y Chile), donde las tallas son convertidas a edades a través de la simulación de una clave talla-edad variable en el tiempo. Además, se incorpora la biomasa total del crucero acústico de Perú, biomasa total del crucero acústico de Chile, biomasa desovante estimada a través del crucero de huevos de Chile y los desembarques peruanos y chilenos.

4.1.3.1 Modelo de los procesos

La abundancia ($N_{a,t}$) de la anchoveta a la edad a , y en el tiempo t en semestres, está dada por

$$N_{a,t} = \begin{cases} R_t, a = 0 \\ N_{a-1,t-1}S_{a-1,t-1}, 0 < a < m \\ N_{a,t} + N_{a,t}S_{a,t}, a = m \end{cases} \quad (4)$$

Donde $N_{a,t}$ es la abundancia a la edad a y al semestre t y $S_{a,t}$ es la sobrevivencia a la edad a , del semestre t . Donde $a = [0, 1, \dots, 5]$, $m = 5$ y $t = [1986.0, 1986.5, \dots, 2021.0, 2023.5]$.

A su vez la sobrevivencia $S_{a,t}$, es descrita con una función exponencial de la mortalidad total $Z_{a,s}$ a la edad a y al semestre t .

$$S_{a,t} = \exp(-Z_{a,t}) \quad (5)$$

La mortalidad total, $Z_{a,t}$ se descompone en mortalidad natural ($M_s = M/2$) y por pesca (F), según:

$$Z_{a,t} = M_s + F_{t,f}\zeta_{t,f} \quad (6)$$

Donde M , F y s han sido previamente definidas, f indexa el tipo de flota (chilena o peruana), y $\zeta_{t,f}$ corresponde al patrón de explotación (o selectividad) del semestre t y flota f . La mortalidad natural

M_s se asume igual 1.1 (semestre^{-1}). El patrón de explotación es edad y flota específico y sigue una función doble normal definida para todo rango de edad. La función doble-normal utiliza tres parámetros, la edad máxima de selectividad (k) y las varianzas del lado derecho (v^r) e izquierdo (v^l) de la curva. Estos tres parámetros otorgan considerable flexibilidad a la funcionalidad de la selectividad, definida como:

$$\zeta_{t,f} = \begin{cases} 2^{-\left[\frac{a-k}{v^l}\right]^2}, & a \leq k \\ 2^{-\left[\frac{a-k}{v^r}\right]^2}, & a > k \end{cases} \quad (7)$$

Donde, a corresponde a la edad. La curva de selectividad es asintótica cuando la varianza derecha tiene valores altos y conforma una curva tipo domo cuando adopta valores bajos. Para el crucero acústico de Chile se emplea una curva de selectividad logística a la edad y a la talla del tipo:

$$\zeta_{t,f} = \left(1 + \exp \left[-\ln 19 \frac{(a - a_{t,f})}{\beta_{t,f}} \right] \right)^{-1} \quad (8)$$

Donde, a corresponde a la edad. La curva de selectividad es asintótica cuando la varianza derecha tiene valores altos y conforma una curva tipo domo cuando adopta valores bajos. Para el crucero acústico de Chile se emplea una curva de selectividad logística a la edad y a la talla del tipo:

$$\zeta_{t,f} = \left(1 + \exp \left[-\ln 19 \frac{(a - a_{t,f})}{\beta_{t,f}} \right] \right)^{-1} \quad (9)$$

Donde, a corresponde a la edad, $a_{t,f}$ es la edad del 50% de reclutamiento y $\beta_{t,f}$ entre la edad al 95% y 50% del reclutamiento. Los índices t y f fueron definidos previamente. El reclutamiento semestral se estima como desviaciones desde R_0 más un 50% de σ_R . La abundancia a la edad $a = 0$ y semestre t son estimados según:

$$N_{a=0,t} = R_0 e^{\varepsilon_t + 0,5\sigma_R^2} \quad (10)$$

R_0 corresponde al reclutamiento virginal y es un parámetro a resolver por el modelo dentro de una distribución uniforme (prior), según $\ln R_0 \sim U[a, b]$. ε_t corresponde a las desviaciones de los reclutamientos al semestre t , los cuales son parámetros también a resolver por el modelo y σ_R corresponde a σ_{σ_R} , que toma un valor de 0.65.

La abundancia de la población comienza con la estimación de la abundancia inicial (N_0) afecta por mortalidad natural la cual permite estimar la biomasa desovante virginal de largo plazo. Luego, se estima una abundancia inicial (N_{eq}) desde una condición de equilibrio estocástica en torno a la mortalidad total para el primer año:

$$N_{a,t=1} = \left(N_{a,t=1} e^{-Z_{a,t=1}} \right) e^{\rho_a} \quad (11)$$

donde la abundancia inicial $N_{a,t=1}$ depende de un reclutamiento estimado según se explicó anteriormente, ρ_a también se obtiene como desviaciones resueltas por el modelo dentro de una distribución normal.

4.1.3.2 Modelo de las observaciones

Las expresiones anteriormente descritas definen la dinámica de la población explotada. A continuación, se presentan las expresiones que definen las observaciones y que se contrastan estadísticamente con los datos provenientes de las pesquerías y evaluaciones directas.

Las capturas predichas, son obtenidas siguiendo la ecuación de captura de Baranov (1918), cuya forma es:

$$\hat{C}_{a,t,f} = \frac{F_{a,t,f}}{Z_{a,t}} N_{a,t} (1 - S_{a,t,f}) \quad (12)$$

donde $\hat{C}_{a,t,f}$ representa las capturas estimadas por el modelo de evaluación a la edad a , semestre t y flota f . Las variables F , Z , N y S fueron definidas en la sección anterior.

Dado que este modelo utiliza observaciones de estructuras en tallas de las capturas, es necesario transformar las capturas predichas en tallas a edades. Esto se resuelve simulando una clave talla-edad variable por semestre y fuente de información (capturas Chile y Perú, biomasa acústica Chile y biomasa desovante Chile), y otra que es constante para el crucero acústico de Perú. Estas claves describen la probabilidad de que un individuo de talla l pertenece a una cierta edad a . De acuerdo a lo anterior, la proporción de ejemplares de edad a en un intervalo de longitud, $P_{l,a}$, es una función de la longitud promedio (l_a) a la edad (predicha por los parámetros de crecimiento) y la varianza (σ_a) de las longitudes a una edad determinada, según:

$$l_a = l_\infty (1 - e^{-k}) + e^{-k} l_{a-1} \quad (13)$$

$$\sigma_a = \alpha_a + \beta_a l_a \quad (14)$$

$$P_{l,a}(l_a, \sigma_a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_a} e^{\left(-\frac{(l-l_a)^2}{2\sigma_a^2}\right)} \quad (15)$$

donde $P_{l,a}$ representa la matriz de distribución de probabilidad por talla l a la edad a . Y σ_a corresponde a la desviación estándar de la talla media para la edad a . Este calculo de la matriz de distribución de probabilidad a la talla se implementa a través de la función de distribución acumulada de $P_{l,a}$ de la siguiente manera:

$$P(l; l_a, \sigma_a) = \frac{1}{\sigma_a \sqrt{2\pi}} \int_{l_1}^{l_2} \exp\left(-\frac{(l-l_a)^2}{2\sigma_a^2}\right) dl \quad (16)$$

Las capturas estimadas a la talla l , semestre t y flota f quedan representada entonces por:

$$\hat{C}_{l,t,f} = P_{l,a} C_{a,t,f} \quad (17)$$

donde $C_{a,t,f}$ corresponde a las capturas observadas a la talla provenientes de los monitoreos de la pesquerías pelágicas del sur de Perú y norte de Chile. El desembarque en peso de las capturas de la anchoveta sur de Perú y norte de Chile está dado por:

$$\hat{Y}_{t,f} = \sum_l \hat{C}_{l,t,f} \bar{w}_l \quad (18)$$

donde $\hat{Y}_{t,f}$ corresponde al desembarque predicho en el semestre t y flota f , y $\bar{w}_l$ corresponde al peso teórico de un individuo de talla l constante por semestres. Este peso teórico es obtenido de una relación longitud-peso como un promedio para el período 1986-2000 y otra variable por semestre para el periodo 2001-2022, la que es calculada a través de los muestreos biológicos realizados por el programa de monitoreo de las pesquerías pelágicas del norte de Chile. La biomasa total (BT_t) y desovante (BD_t) semestral predicha se obtiene según:

$$BT_t = \sum_l (P_{l,a} N_{a,t}) \bar{w}_l \quad (19)$$

$$BD_t = \sum_l P_{l,a} \left(N_{a,t} e^{-\Delta m Z_{a,t}} \right) \bar{w}_l O_l \quad (20)$$

Donde $N_{a,t}$ corresponde a la abundancia a inicio de semestre, $P_{l,a}$, $\bar{w}_l$ y $Z_{a,t}$ fueron descritas anteriormente. O_l corresponde a la ojiva de madurez sexual, que describe la probabilidad de que un individuo maduro sexualmente pertenezca a la talla l y que se asume conocida. Δm corresponde a la fracción del semestre (fecha del crucero de huevos) en la cual ocurre del desove.

Los índices de biomazas predichos siguen la siguiente forma general:

$$\hat{I}_t^c = q^c \sum_l P_{l,a} \left(N_{a,t} \Gamma_a^c e^{-\Delta^c Z_{a,t}} \right) w_l \quad (21)$$

donde $\hat{I}_t^c$, c define el crucero y t el semestre y puede corresponder a i) la biomasa total predicha del Perú, ii) la biomasa total predicha de Chile y iii) la biomasa desovante predicha de Chile. La constante, q^c es la capturabilidad y/o disponibilidad al crucero (c). En esta evaluación se asume $q^c \neq 1$, dado que todos los índices sólo observan una fracción de la distribución del stock, y por tanto q^c es resuelto por el modelo.

La variable, Γ^c corresponde a la selectividad o madurez sexual según sea el caso del índice predicho, y Δ^c es la fracción del semestre en la cual se realiza la evaluación directa (c).

La proporción predichas de la captura ($\hat{p}^{f,l,t}$) por flota a la talla l y el semestre t y la proporción predicha para los cruceros, ($\hat{p}^{c,l,t}$) a la talla l y el semestre t , quedan descritas respectivamente por:

$$\hat{p}^{f,l,t} = \frac{\hat{C}_{l,t}}{\sum_l \hat{C}_{l,t}} \quad (22)$$

$$\hat{p}^{c,l,t} = \frac{P_{l,a} N_{a,t} \Psi_a^c e^{-\Delta^c Z_{a,t}}}{\sum_l P_{l,a} (N_{a,t} \Psi_a^c e^{-\Delta^c Z_{a,t}})} \quad (23)$$

donde Ψ_a^c corresponde a la selectividad del crucero acústico, los otros términos contenidos en ambas expresiones fueron descritos previamente.

4.1.3.3 Modelo de los errores y función de minimización

Los modelos de los errores para los índices de biomاسas y desembarques tanto peruanos como chilenos asumen una distribución lognormal. El estimador de verosimilitud para los índices de biomاسas y desembarques es descrito como:

$$-L(I_t^c) = \frac{1}{2\sigma_{I_t^c}^2} \sum_t \ln \left(\frac{\hat{I}_t^c}{I_t^c} \right)^2 \quad (24)$$

Donde, $\hat{I}_t^c$ corresponde al índice predicho por la evaluación descrito en el punto (b.2) para cada índice de biomasa directa y desembarque. I_t^c son los índices estimados por el sistema de monitoreo del stock y las pesquerías de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. El parámetro $\sigma_{I_t^c}$ corresponde a la desviación estándar asignada entre el valor observado y el predicho. Para el caso del desembarque observado se agregó un valor épsilon asociado a la ecuación descrita anteriormente. El modelo de error para la proporción de individuos en la captura de la flota f y abundancia de la evaluación directa c , a la talla l y el semestre t , asumen una distribución multinomial. Su estimador de verosimilitud está dado por:

$$-L(p) = n^{f,c} p_{l,t}^{f,c} \ln \hat{p}_{l,t}^{f,c} \quad (25)$$

donde p indica proporción y n es el tamaño de muestra efectivo para la flota f y evaluación directa, c . La función objetivo emerge de las sumas de log-verosimilitud negativas de cada índice de biomasa directa, desembarques y proporción de individuos observados a la talla en las evaluaciones directas y capturas, más el logaritmo de las priors (π) antes mencionadas. Luego la función a minimizar corresponde a:

$$-\ln L(\theta|x) = -\sum L(c) - \sum P(\lambda) \quad (26)$$

Donde, θ corresponde al vector de parámetros a estimar dado los datos observados, x a las observaciones I_t^c y $p_{l,t}^{f,c}$. $L(c)$ es estimador verosímil de cada biomasa directa y desembarques, y $P(\lambda)$ a las distribuciones de los parámetros con priors.

4.1.3.4 Peso estadístico de los datos en la verosimilitud total

- *Coeficientes de variación de los índices de biomasa y desembarques*

Los coeficientes de variación (CV) que son asignados a los distintos índices de biomasa miden el nivel de desviación que tienen los datos respecto del valor central verdadero como parte del error de observación. El coeficiente de variación tiene relevancia en las estimaciones ya que es inversamente proporcional al peso que tiene una determinada fuente de datos en la verosimilitud total. La **Tabla 4** muestra los CV utilizados.

Tabla 4. Coeficientes de variación (CV) de la función objetivo para los desembarques e índices de biomasa de la anchoveta.

Serie de observaciones	cv
Desembarque de Chile y Perú	0,05
Biomasa desovante de Chile	0,20
Biomasa total acústica de Chile	0,30
Biomasa total acústica de Perú	0,30

La **Tabla 5** muestra el resumen de los valores de tamaños de muestra finales utilizados en la verosimilitud de la estructura de tallas de cada flota y observación directa de Chile. Estos valores fueron determinados mediante el proceso iterativo recomendado por Gavaris y Ianelli (2002) considerando el promedio armónico. Este método (que esta al final del archivo .tpl) comienza con un valor arbitrario de tamaños de muestra, que durante el proceso iterativo, llega a valores estables que son propuestos para la evaluación de stock. A menudo es deseable verificar estas estimaciones a medida que se vayan incorporando nuevas composiciones de tamaños o datos, ya que estos valores pueden ir variando a medida que se va incorporando nuevas fuentes de información o cambios en los supuestos del modelo de evaluación.

Tabla 5. Tamaños de muestra para cada serie de estructuras de tallas en la evaluación del stock de anchoveta.

Composición	Período	Tamaño de muestra
Capturas de la flota chilena	1986-2022	26
Capturas de la flota peruana	1986-2022	21
Crucero de evaluación directa	1996-2001 y 2007-2022	17

4.1.3.5 Parámetros estimados por el modelo de evaluación

El vector de parámetros (θ) corresponde a:

$$\theta = \{k_{f,b}, v_{f,b}^r, v_{f,b}^l, \alpha_b^c, \beta_b^c, \gamma_b^c, \lambda_b^c, \bar{R}_0, \delta_{s,1986} \cdots \delta_{s,2023,5}, N_{a_1}^{t=1} \cdots N_{a_6}^{t=1}, F_{s,1986}^f \cdots F_{s,2023,5}^f, q_{TPE}^c, q_{TCH}^c, q_{BDCH}^c\} \quad (27)$$

Los parámetros resueltos por el modelo corresponden a los parámetros de la selectividad, $k_{f,b}$, $v_{f,b}^r$ y $v_{f,b}^l$ para cada flota f y bloque b para Chile y Perú. Los parámetros para la selectividad a la edad para el crucero acústico de Chile, α_b^c y β_b^c para la selectividad a la talla para el crucero acústico de Chile, γ_b^c y λ_b^c . Las desviaciones de los reclutamientos semestrales δ_s desde 1986.0 al 2023.5, el reclutamiento virginal R_0 y las abundancias iniciales, $N_a^{t=1}$ con a tomando valores de 0 hasta 5. Las mortalidades por pesca semestrales $F_{s,1986}^f$ para cada semestre s y para ambas flotas f . El modelo asume que todos los índices de biomasa son indicadores relativos de la biomasa total de Chile q_{CH}^c y Perú q_{PE}^c , biomasa desovante de Chile q_{BDCH}^c que asume tres bloques, por tanto se estiman cinco capturabilidades. El modelo de evaluación de stock de anchoveta contiene actualmente un número total de 287 parámetros.

4.1.4 Desempeño del modelo de evaluación

Las herramientas para evaluar el desempeño de un modelo de evaluación de stock y como estas deben ser usadas cuando se desarrolla una evaluación de stock fueron propuestas por Carvalho *et al.* (2021). Estas herramientas fueron agrupadas en cuatro categorías: convergencia, bondad de ajuste (análisis de residuales), consistencia del modelo (análisis retrospectivo y perfil de verosimilitud) y habilidad para la predicción. Aunque para alguna de estas herramientas no hay un método para evaluarla, sino más bien la observación de las salidas del modelo de evaluación, como i) si los parámetros estimados alcanzan el límite del intervalo de confianza, ii) si el gradiente final de convergencia es relativamente pequeño (< 0.0001), iii) si la matriz hessiana es definida positivamente, iv) observar los pares de parámetros que presentan una alta correlación (> 0.95) y v) observar los parámetros que presentan una alta varianza. Otra herramienta que propone Carvalho *et al.* (2021) pero que no aplica para la anchoveta norte, es la habilidad para la predicción, esto porque al rápido crecimiento, el conductor de la población es el reclutamiento, variable poblacional imposible de predecir dado que los reclutamientos se estiman como desviaciones de R_0 . A continuación se describen las principales herramientas de desempeño que serán abordadas en este informe y las restantes podrían formar parte del plan de mejoramiento continuo de la calidad de la asesoría científica.

4.1.4.1 Análisis de residuales

Una forma gráfica de evaluar la bondad o calidad del ajuste del modelo de evaluación es a través de los gráficos cuantil-cuantil (qqplot), esto permite evaluar dos distribuciones de probabilidad, que en este caso corresponde a la teórica (modelo) versus la empírica (los datos). Si el conjunto de datos proviene de una distribución teórica, entonces los puntos deberían ubicarse en las proximidades de una línea recta. Esto significa que el supuesto de normalidad, media y varianza conocida, es adecuado para los datos analizados.

Otra medida usada para el análisis de los residuales, es la raíz del cuadrado medio de los errores (RMSE), que es una medida de uso frecuente para evaluar las diferencias entre los valores

predichos por un modelo o un estimador y los valores observados. La RMSE representa la raíz cuadrada del segundo momento de la muestra de las diferencias entre los valores previstos y los valores observados o la media cuadrática de estas diferencias. El RMSE es una medida de precisión, para comparar errores de predicción de diferentes modelos para un conjunto de datos en particular y no entre conjunto de datos, ya que depende de la escala.

La RMSE es siempre no negativa, y un valor de cero indicaría un ajuste perfecto a los datos. En general, un valor bajo para la RMSE es mejor que un valor alto. Sin embargo, las comparaciones entre diferentes tipos de datos no serían válidas porque la medida depende de la escala de los números utilizados. La RMSE es la raíz del cuadrado promedio de los errores cuadrados, y el efecto de cada error en la RMSE es proporcional al tamaño del error cuadrado; por lo tanto, los errores mayores tienen un efecto desproporcionadamente grande en la RMSE. Por lo tanto, la RMSE es sensible a los valores atípicos.

Un problema frecuente que se puede observar en el análisis de los residuales es que estos no presenten independencia, es decir, que no estén autocorrelacionados en el tiempo. El análisis de autocorrelación mide la relación de las observaciones entre los diferentes puntos en el tiempo y, por lo tanto, busca un patrón o tendencia a lo largo de la serie de tiempo. Una de las pruebas más conocida para detectar la presencia de autocorrelación (una relación entre los valores separados el uno del otro por un intervalo de tiempo dado) en los residuales (errores de predicción) es el estadístico de Durbin-Watson. Si e_t es el residual asociado a la observación en el tiempo t , entonces el estadístico de la prueba es:

$$d = \frac{\sum_{t=2}^T (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^T e_t^2} \quad (28)$$

Donde T es el número de observaciones, d es aproximadamente igual a dos veces $1 - r$, donde r es el coeficiente de autocorrelación de primer orden de los residuales, si $d = 2$ indica que no hay autocorrelación. El valor de d siempre está entre 0 y 4. Si el estadístico de Durbin-Watson es sustancialmente menor que 2, hay evidencia de correlación positiva. Como regla general, si el estadístico de Durbin-Watson es menor a 1, puede ser causa de alarma. Valores pequeños de d indican que los términos de error sucesivos están correlacionados positivamente. Si $d > 2$, los términos de error sucesivos están correlacionados negativamente. En los modelos de regresión, esto puede implicar una subestimación del nivel de significación estadística.

Las consecuencias de ignorar esta medida podría hacer que las varianzas estimadas para los diferentes parámetros estén sesgadas, lo que conduce a que las pruebas de hipótesis sean poco fiables, como es el caso de las pruebas estándar de t y F no serán válidos. Otra consecuencia es que las medidas de bondad de ajuste, como los errores estándar, subestimarán la varianza de la regresión y las estimaciones de los parámetros. Y por último, los estimadores de los parámetros seguirán siendo insesgados.

Para el caso del análisis de la proporción a la talla que siguen una distribución multinomial, se emplea la metodología de Trijoulet *et al.* (2023) para comparar los residuales que se obtienen de las composiciones de tallas. Este método demuestra que los residuos de Pearson, que habitualmente se utilizan para analizar la bondad de ajuste de las composiciones de edad o talla es incorrecta cuando los datos se ajustan utilizando una distribución multivariante como la multinomial. En su lugar, se deben utilizar los residuos de un “paso por delante” (OSA, on-step-ahead). Para

tales distribuciones, los residuos OSA son independientes y se distribuyen normalmente para modelos correctamente especificados. El package `compResidual`³ calcula los residuos OSA para de-correlacionar las observaciones de composición de las distribuciones multivariantes como la multinomial y otras que son utilizadas en los modelos de evaluación de stock.

4.1.4.2 Análisis retrospectivo

Otra manera de probar la capacidad del modelo de evaluación y de sus resultados a la ausencia o exclusión de series de información es el análisis retrospectivo. Este análisis mide la coherencia entre estimaciones sucesivas de un mismo parámetro a medida que se eliminan datos en forma secuencial. En muchas evaluaciones de stock se ha visto que la varianza estadística en la estimación de abundancia (o mortalidad por pesca) tienden a disminuir con el transcurso del tiempo, y las estimaciones del último año (utilizadas para el manejo pesquero) son poco confiables (Sinclair *et al.* 1991; Mohn, 1993, 1999; Parma, 1993). Estos errores retrospectivos pueden deberse a muchas razones, desde sesgo en los datos de captura, hasta diferentes tipos de especificaciones erróneas en el modelo de evaluación de stock, como parámetros que se asumen que son constantes en el análisis pero que en realidad cambian en el tiempo (como la mortalidad natural), así como supuestos sobre la vulnerabilidad relativa de ciertas clases de edad o talla. El estadístico rho de Mohn 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, y esta dado por:

$$d = \sum_{y=1}^{npeels} \frac{X_{(Y-y,trip)} - X_{(Y-y,ref)}}{X_{(Y-y,ref)}} \quad (29)$$

Donde X corresponde a alguna variable de la evaluación de stock, tal como la biomasa desovante o la mortalidad por pesca, e 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. El análisis retrospectivo puede ser visualizado también como la suma de las diferencias relativas entre un parámetro estimado de la evaluación con todos los datos, y el mismo parámetro estimado con respecto a una serie de tiempo reducida. Este estadístico es conocido como rho de Mohn (1999), y su cálculo sera cero cuando la evaluación descontada sea igual con la evaluación con todos los datos, o cuando las diferencias entre la evaluación descontada y la evaluación con todos los datos son balanceadas por las diferencias positivas y negativas. El estadístico de rho de Mohn sera grande, si es positivo o negativo, cuando hay un consistente patrón de cambio en la evaluación descontada relativo a la evaluación con todos los datos.

4.1.4.3 Perfil de verosimilitud

Otra forma de evaluar el desempeño del modelo de evaluación es el perfil de verosimilitud del parámetro de escala global ($\log R_0$). Este procedimiento se utiliza para determinar si la información sobre la escala de la biomasa absoluta es coherente entre los diferentes conjuntos de datos (Lee *et al.* 2014; Wang *et al.* 2014). El perfil se realiza fijando el $\log R_0$ a un rango de valores alrededor de

³<https://github.com/fishfollower/compResidual>

la estimación de máxima verosimilitud y estimando todos los demás parámetros, luego obteniendo la contribución de cada conjunto de datos a la probabilidad condicionada del valor de $\log R_0$. El perfil cuantifica cómo se degrada el ajuste a cada componente de datos al cambiar la escala de la población. Los componentes de datos con una gran cantidad de información sobre la escala de la población mostrarán una pérdida de ajuste a medida que la escala de la población cambia de la estimación de máxima verosimilitud (Lee *et al.* 2014). Si diferentes componentes de datos favorecen diferentes valores para el $\log R_0$, entonces existe información contradictoria entre ellos, condicionada por el modelo, lo que apunta a una posible especificación errónea del modelo de evaluación de stock.

4.1.5 Datos de entrada al modelo de evaluación de stock

El período de análisis de la evaluación de stock comienza en 1986 hasta el segundo semestre del 2022, con información completa. Se incluye la biomasa total y composición de la estructura de tamaños estimada por el crucero de Chile, la biomasa total del sur de Perú, la biomasa desovante estimada en Chile, la composición de la estructura de tamaños y el desembarque para la flota chilena y peruana.

4.1.5.1 Desembarques

La historia de la pesquería del stock de anchoveta compartido entre el sur de Perú y norte de Chile, comienza con leves desembarques ocurridos en 1984 y a contar de 1986 se incrementan considerablemente hasta el año 1994 (**Tabla 6, Figura 9**), los valores más altos ocurren entre los años 1994 al 2002. Desde el año 2004 al primer semestre 2013 estos muestran una tendencia de descenso con máximos relativos. El desembarque por país muestra un cambio de dominancia. Entre los años 1986 al 2004 se puede señalar que el mayor desembarque fue realizado en Chile. Sin embargo, entre el 2005 al 2009 los mayores desembarques se realizaron en Perú. Entre las causas probables de la dominancia peruana del desembarque se encuentra el aumento del esfuerzo de pesca en la pesquería del sur del Perú debido a la mayor disponibilidad de anchoveta en dicha área según lo informado por IMARPE en el 12^{do} taller de evaluación conjunta de IFOP e IMARPE, 2008 (Serra y Canales, 2013). Desde el año 2010 a diciembre del 2013 el desembarque chileno ha dominado el desembarque total del stock anchoveta. Se postula que el incremento del desembarque chileno en el año 2011 habría estado asociado a un desplazamiento de la anchoveta del sur de Perú hacia el norte de Chile evidenciándose un incremento del desembarque particularmente en la zona de Arica (Böhm *et al.*, 2013).

Más recientemente y de acuerdo a las estadísticas oficiales, el primer y segundo semestre del 2014 se capturaron en Chile 375.1 mil y 354.3 mil toneladas, respectivamente. Por su parte, en el sur del Perú y de acuerdo a lo informado en Oficio PRODUCE 100-59-2015, el desembarque acumulado de enero a octubre había sido de 336.7 mil toneladas, de las cuales solo 26 mil toneladas fueron capturadas en el segundo semestre. Si se considera además que producto de este oficio la captura de anchoveta fue prohibida en la zona sur del Perú en noviembre y diciembre 2014 debido a la gran presencia de reclutas, se deduce entonces que la captura en esta región pudo haber alcanzado 310 mil toneladas durante el primer semestre del 2014. De esta forma, el desembarque total 2014 se estima en 1.082 millones de toneladas (**Tabla 9**) el cual se traduce un alza del 15% respecto del año 2013, y el desembarque del 2015 disminuyó en un 1% con respecto al 2013. Y

el desembarque del 2015 se tradujo en una disminución del 14% con respecto al del 2014. Sin embargo, el desembarque durante el 2016 se redujo fuertemente, alcanzando 397 mil toneladas para ambos países. Y finalmente, en el año 2017 el desembarque aumento a 708 mil toneladas. Cerrando el año 2018, se registró un desembarque total de 971.1 mil toneladas, un 37% superior a lo registrado en el 2017. Desde el 2016 hasta el 2018 se viene registrando un aumento constante de los desembarques, pasando de 397.4, 708.7, 971.1 mil toneladas, respectivamente (**Figura 17**). Y desde el 2019 hasta el 2020 se registra una disminución del desembarque, pasando desde 719.9 a 271.9 mil toneladas, un reducción del 62% debido principalmente a que la flota peruana no registró capturas en el 2020, y desde el 2021 hasta el 2022 este valor aumenta hasta alcanzar las 620.2 y 719.5 mil toneladas anuales, respectivamente. Sin embargo, producto del fenómeno El Niño 2023-24 el desembarque total disminuyó drásticamente, alcanzando un valor de 158 mil toneladas en el año 2023, con un 84% capturado por la flota chilena.

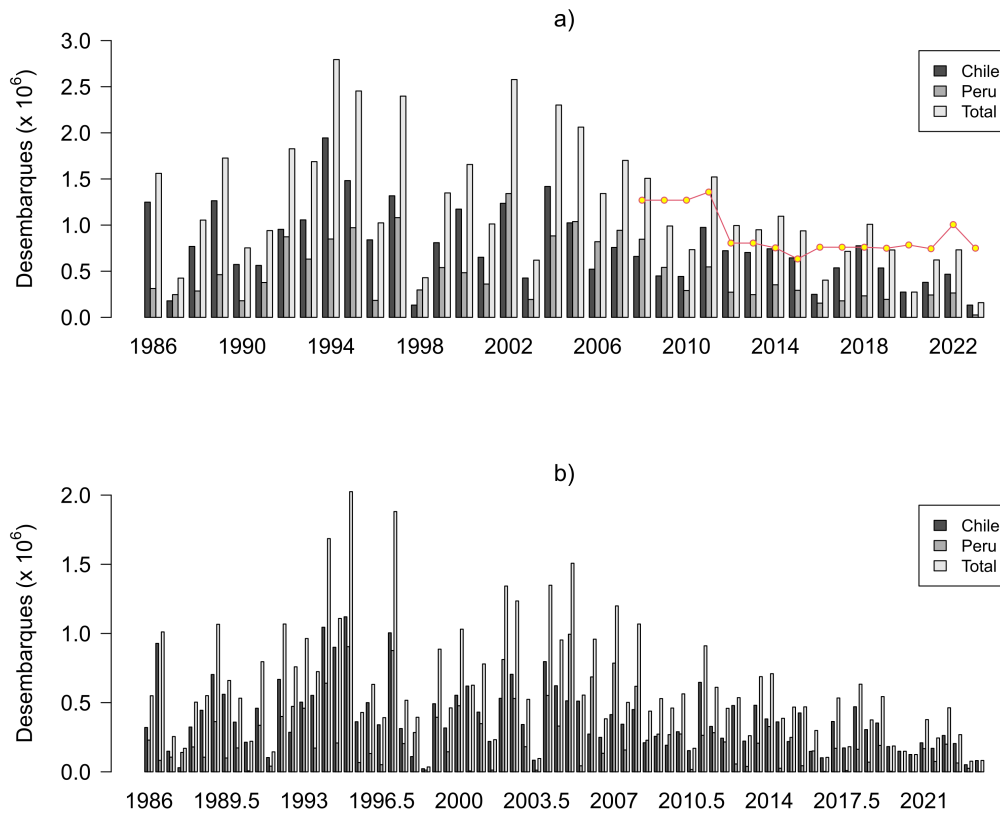


Figura 9. Desembarques anuales y semestrales para Chile, Perú y Total del stock de anchoveta distribuido entre 16°LS - 24°LS (1986 - 2023). Los puntos amarillos representan la cuota chilena. En el panel superior (a) se muestra el desembarque en escala anual y en el panel inferior (b) en escala semestral.



Tabla 6. Desembarques (miles de ton.) del stock de anchoveta 16°- 24°LS 1986-2023. La última columna corresponde a la captura de Chile corregida con el descarte acordado dentro del CCT-PP.

Año	Sur Perú	Norte Chile	Total	Norte Chile Corregido
1986	321.2	1248.7	1560.9	-
1987	246.4	178.8	425.2	-
1988	285.6	768.5	1054.1	-
1989	462.8	1263.8	1726.6	-
1990	179.9	573.1	753.0	-
1991	377.5	562.8	940.3	-
1992	873.2	953.9	1827.1	-
1993	631.4	1056.2	1687.1	-
1994	849.2	1945.0	2794.2	-
1995	971.5	1482.1	2453.6	-
1996	183.8	840.0	1023.8	-
1997	1080.6	1317.4	2398.0	-
1998	297.0	132.7	429.7	-
1999	539.4	809.2	1348.6	-
2000	483.8	1154.4	1638.2	1173.0
2001	360.8	639.8	1000.6	651.2
2002	1341.6	1216.0	2557.6	1235.5
2003	193.7	417.9	611.6	425.8
2004	882.8	1394.1	2276.9	1418.2
2005	1037.9	1007.7	2045.6	1024.1
2006	819.8	513.1	1332.9	521.7
2007	943.4	744.8	1688.2	757.3
2008	846.8	648.2	1495.0	659.8
2009	541.3	440.2	981.5	448.2
2010	290.5	435.0	725.5	442.8
2011	546.8	958.0	1504.8	974.8
2012	272.9	710.1	983.0	721.5
2013	246.0	691.0	937.0	702.3
2014	353.0	729.4	1082.4	742.2
2015	293.0	633.0	926.0	643.6
2016	154.0	243.4	397.4	248.5
2017	179.0	529.7	708.7	536.3
2018	220.0	751.1	971.1	775.4
2019	195.0	524.9	719.9	535.4
2020	-	271.9	271.9	273.8
2021	242.4	377.8	620.2	379.3
2022	264.2	455.2	719.6	467.4
2023	26.1	131.0	157.1	132.8



4.1.5.2 Composición de longitud de la captura y cruceros

El número de individuos a la longitud en las capturas totales (COLOCAP) se elabora en base mensual tanto de la pesquería del sur de Perú como del norte de Chile. En Perú la expansión de las tallas a las capturas se realiza en base diaria y por puerto, en la pesquería del norte de Chile se realiza en base mensual y por macrozona hasta el 2007. Desde el 2008 se construyen por viaje dentro de cada macrozona, donde las composiciones de tallas muestrales son ponderadas por las capturas. Las macrozonas son:

- Arica: Límite – 19°30'LS
- Iquique: 19°30'LS – 21°30'LS
- Antofagasta: 21°30'LS – 24°00'LS

Para la pesquería chilena y peruana cubren el período comprendido entre el primer semestre de 1986 y el segundo semestre 2022. Los COLOCAP semestrales de ambas pesquerías muestran diferencias que justifican el uso de un modelo que discrimine por flotas. Por ejemplo, desde el 2002 y hasta el 2011, la flota peruana capturó sistemáticamente ejemplares de menor tamaño que los registrados en el norte de Chile. En general, las tallas han disminuido fuertemente en ambas pesquerías, alcanzando valores medios en torno a los 11 cm de LT en el año 2019 (**Figura 10**). Sin embargo, durante los años 2021, 2022 y 2023 se observaron valores medios de 11.82, 12.27 y 11.17 cm de LT, respectivamente.

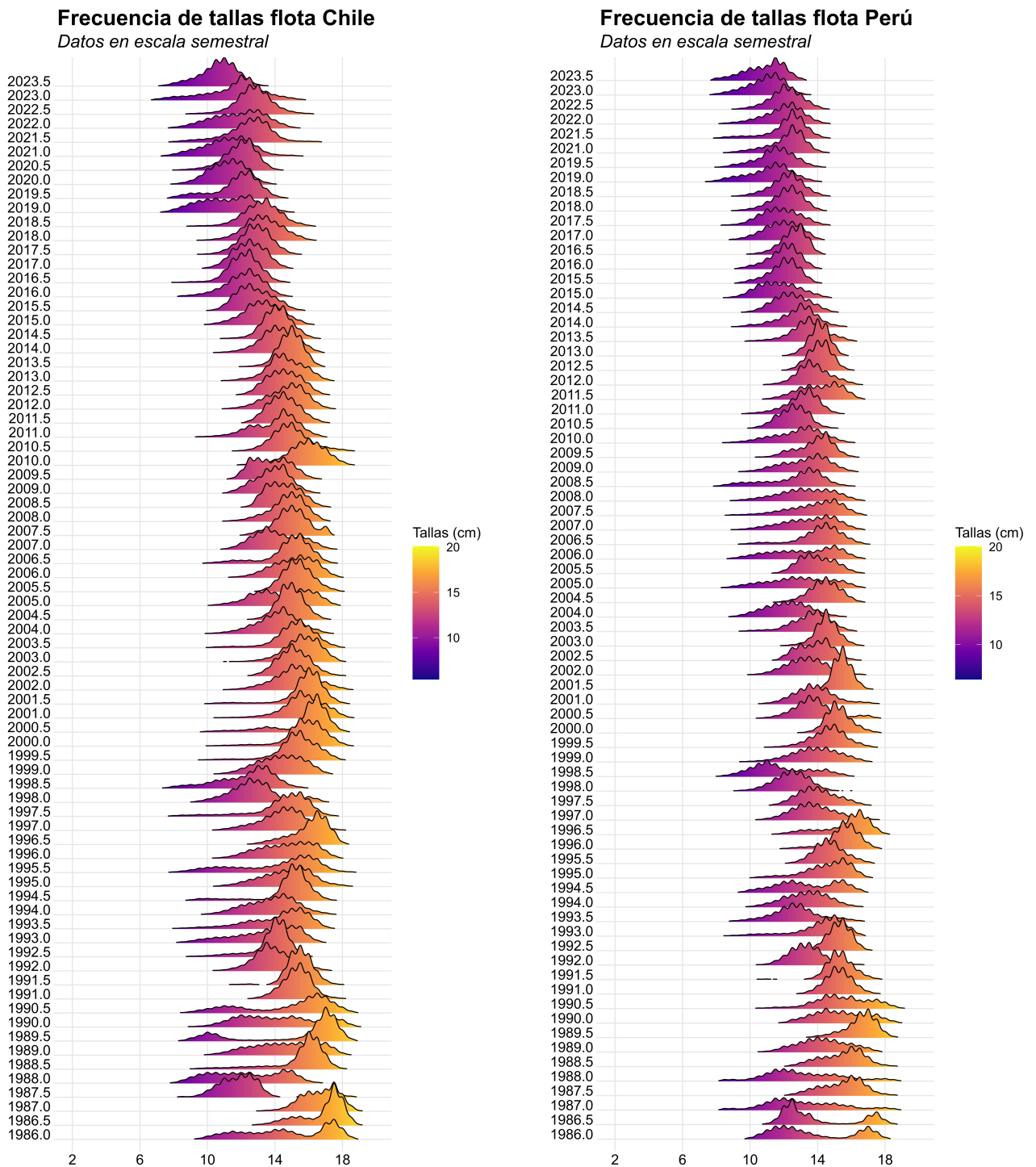


Figura 10. Proporción por tallas de las capturas semestrales en las pesquerías de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile (1986 – 2023).

Además, para la pesquería chilena se analizan los datos de los muestreos biológicos efectuados por el programa de seguimiento de la pesquería desarrollado por IFOP y los resultados muestran la proporción en la captura de cuatro categorías de tallas desde el 2001 hasta el 2022 (**Figura 11**). Desde el 2001 hay una predominancia de individuos de 14 a 16 cm de longitud y una baja incidencia de individuos de 12 a 13.5 cm, alcanzando sobre el 40% en el 2004 y 2007. Desde el 2007 en adelante este porcentaje aumenta considerablemente y se observa en una mayor frecuencia, llegando alcanzar valores por sobre el 80% en el 2011. Desde el 2015 dominan gran parte de la serie y se observa una participación significativa de individuos menores a los 11.5 cm de longitud.

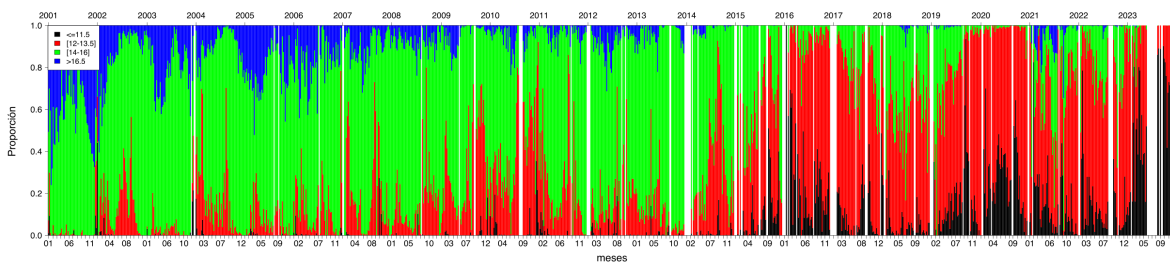


Figura 11. Participación de las tallas en las capturas de la flota chilena por intervalo de talla desde el 2001 hasta el 2023. El color azul (>16.5 cm), color verde (14 a 16 cm), color rojo (12 a 13.5 cm) y color negro (<=11.5 cm).

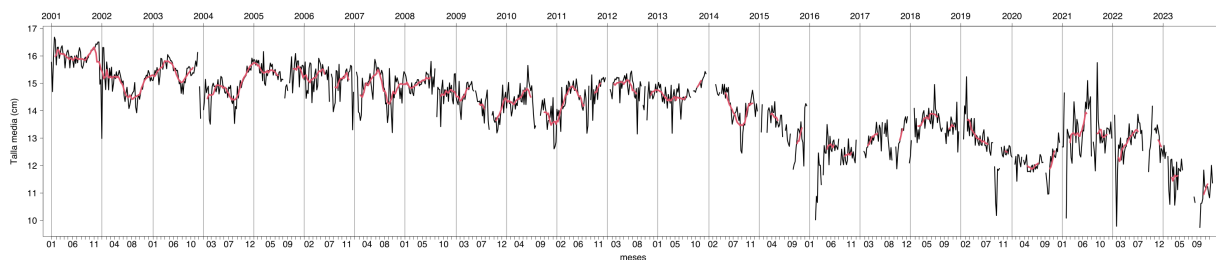


Figura 12. Serie temporal de la talla media en las capturas de la flota chilena desde el 2001 hasta el 2023.

Durante el 2020 dominan las tallas de 12 a 13.5 cm de longitud, con una alta participación de tallas menores a los 11.5 cm. En el 2021, se observan tallas de 14 a 16 cm longitud, incluso una pequeña proporción de tallas de 16.5 cm de longitud. Sin embargo, una alta proporción está presentada por individuos de 12 a 13.5 cm de longitud. Esta tendencia en la disminución de las tallas durante los últimos años también es apreciable en la talla media (**Figura 12**), que desde el 2014 registra una disminución hasta alcanzar los 10 cm a comienzos del 2016. Luego, se mantiene entre los 12 a 14 cm para nuevamente disminuir hasta los 10 cm en el 2019. Hacia el final del 2019 y durante el 2020 se registró una talla media en torno a los 12 cm. Durante el 2021 y 2022 la talla media aumenta hasta alcanzar valores cercanos a los 13 cm de longitud, con algunos máximos cercanos a los 14 y 15 cm. Y en el año 2023 la talla media muestra una variación inferior a los 12 cm de longitud.

4.1.5.3 Pesos y madurez a la talla

Entre los años 1986 y 2000 se utiliza un valor de peso medio a la talla obtenido desde los parámetros de la relación longitud-peso para el mismo período (promedio) en la zona norte de Chile. Los coeficientes de la relación son: $a = 0.00625$ y $b = 3.02561$. Y para los años 2001 hasta 2023 se utiliza una relación longitud-peso variable por semestre ajustada mediante modelos no lineales mixtos (Pinheiro y Bates, 2000), en que los parámetros a y b de la relación longitud-peso son considerados como efectos aleatorios (**Tabla 7 y Figura 13**). En cuanto a la madurez, se utiliza la ojiva a la talla obtenida por Martínez *et al.* (2009), cuya talla media de madurez corresponde a 11.5 cm en longitud total. La función de proporción de individuos maduros a la talla se muestra en la **Figura 14**.

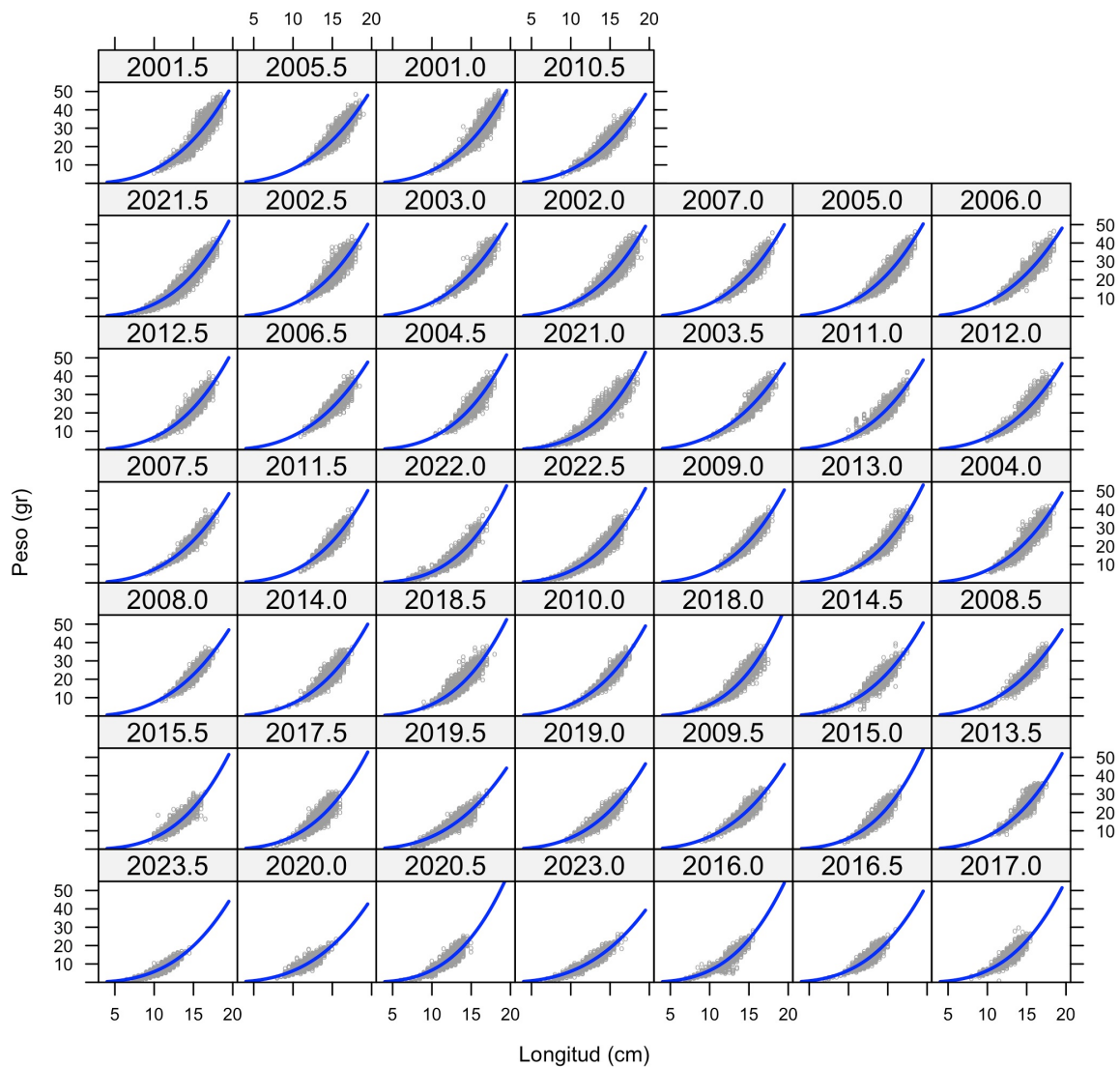


Figura 13. Relación longitud-peso variable por semestres desde el 2001 hasta el 2023. Cada curva (línea azul) fue ajustada por medio de modelos mixtos con efectos aleatorios.

**Tabla 7.** Parámetros a y b de la relación longitud-peso estimados por modelo no lineales mixtos.

Semestre	a	b
2001.0	0.007810934	2.953925
2001.5	0.011107999	2.833511
2002.0	0.006689012	2.996512
2002.5	0.007180881	2.980155
2003.0	0.011145474	2.832652
2003.5	0.012501097	2.769733
2004.0	0.008088254	2.931933
2004.5	0.005530761	3.077420
2005.0	0.008281394	2.931933
2005.5	0.014549947	2.726752
2006.0	0.013851617	2.744509
2006.5	0.012773019	2.768485
2007.0	0.007564375	2.961119
2007.5	0.010773553	2.832238
2008.0	0.011974593	2.785081
2008.5	0.012830483	2.761722
2009.0	0.005619524	3.065078
2009.5	0.009529009	2.856279
2010.0	0.005298669	3.074377
2010.5	0.011398358	2.812732
2011.0	0.007784679	2.943700
2011.5	0.005732487	3.056045
2012.0	0.008782683	2.889336
2012.5	0.006577518	3.008842
2013.0	0.003655199	3.227376
2013.5	0.007650149	2.994775
2014.0	0.007650149	2.957364
2014.5	0.008815520	2.914416
2015.0	0.002972675	3.303684
2015.5	0.004319944	3.160051
2016.0	0.004162371	3.188746
2016.5	0.005994121	3.037969
2017.0	0.004849688	3.120800
2017.5	0.006904577	3.010688
2018.0	0.002855162	3.338865
2018.5	0.004324776	3.165825
2019.0	0.005989567	3.015624
2019.5	0.011380066	2.781900
2020.0	0.008502352	2.868338
2020.5	0.003946365	3.224859
2021.0	0.003930498	3.201456
2021.5	0.006106513	3.045731
2022.0	0.003131899	3.276660
2022.5	0.005155218	3.099289
2023.0	0.009074561	2.818506
2023.5	0.005402881	3.032145

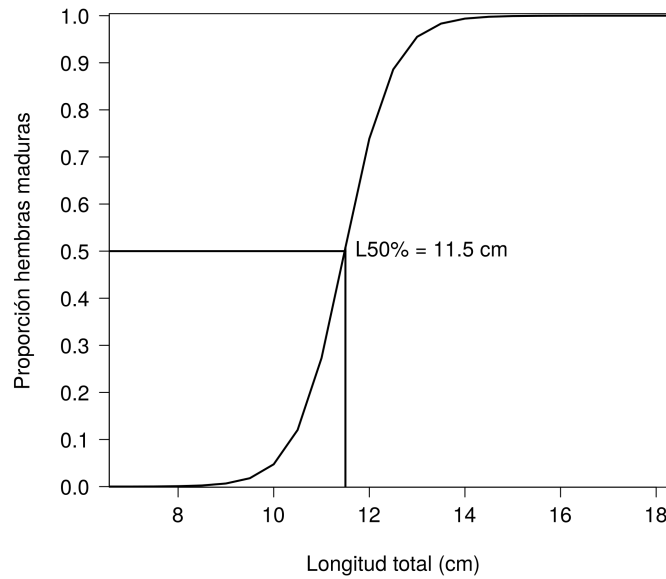


Figura 14. Ojiva de madurez sexual a la talla para la anchoveta obtenida de Martínez *et al.* (2009).

4.1.5.4 Crecimiento

Como fue mencionado en el **Punto 3.6**, en relación con los nuevos antecedentes sobre el crecimiento de la anchoveta del norte de Chile. Plaza *et al.* (2017) señalan una dinámica más rápida que la establecida para las especies de *Engraulis* de otros ecosistemas de surgencia de borde oriental tales como Butler (1989), Waldron *et al.* (1989 y 1992), Melo (1984) y Prosch (1986). Estos resultados señalan un coeficiente de crecimiento de $k = 1.96 \text{ año}^{-1}$, $t_0 = 0.013 \text{ año}$ y $L_{inf} = 19.85 \text{ cm}$.

Sin embargo, durante el Taller Benchmark realizado en julio del 2019 se revisaron los diferentes casos de crecimiento, tanto los que incorporan la estacionalidad en el crecimiento como aquellos basados en el modelo de von Bertalanffy tradicional. Los resultados indican que el modelo tradicional de von Bertalanffy no difiere mucho de los modelos estacionales (**Figura 15**) y que el modelo tradicional de crecimiento fue el que mejor se ajustó a los datos de la evaluación durante el Taller Benchmark (**Tabla 8**).

Tabla 8. Parámetros de crecimiento estimados del modelo de von Bertalanffy.

t_0 (año)	k (año ⁻¹)	L_{inf} (cm)
0.01	2.12	17.55

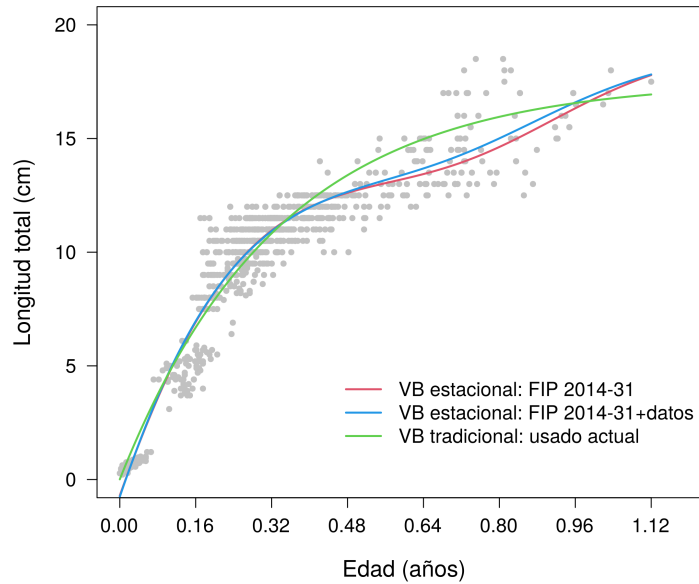


Figura 15. Función de crecimiento de von Bertalanffy tradicional y estacional para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.

4.1.5.5 Mortalidad natural

La mortalidad natural fue calculada a través de diferentes modelos bio-analógicos existentes en la literatura según los parámetros de crecimiento anteriormente señalados (**Tabla 8**). Estos modelos entregan un valor superior a dos (**Tabla 9**), para lo cual se utilizó un valor de $M = 2.2$ (año^{-1}) para la tasa de mortalidad natural (M), valor usado como constante para todas las edades y años. Este valor corresponde al promedio de las tres columnas para la fila en negrita de la **Tabla 9**.

Tabla 9. Métodos empíricos para estimar la mortalidad natural.

Método	Edad teórica máxima		
	–	1	2
Rikhter y Efanov (1976)	2.78	–	–
Pauly (1980)	1.74	–	–
Taylor (1958, 1960)	–	2.16	1.99
Hoening (1983)	–	2.16	2.14
Alverson y Carney (1975)	–	2.33	2.28
Alagaraja (1984)	–	2.33	2.30
Hewitt y Hoening (2005)	–	2.14	2.11
Promedio	2.26	2.22	2.17

$$(1) T_{max} = t_0 + \frac{3}{k}$$

4.1.5.6 Indicadores de abundancia independientes de la pesquería

Las estimaciones actualizadas de las biomásas al 2023 y disponible para la evaluación de stock se entregan en la **Tabla 10** y la **Figura 16**. Estas muestran los índices provenientes de las evaluaciones acústicas por año e incluyen: i) las biomásas totales para el sur de Perú realizadas durante los años 1990 al 2023 y las biomásas totales para el norte de Chile (Castillo *et al.*, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013). Los cruceros acústicos peruanos fueron realizados durante el primer y segundo semestre de cada año, salvo para algunos años donde se realiza un sólo crucero al año. Para el crucero acústico del norte de Chile se incluye la estructura de tamaños disponible para la abundancia total estimada durante los años 2000-2002 y 2007-2023 (**Figura 16**). En el caso de la biomasa total acústica del Perú, representa la fracción correspondiente a la región sur de Perú (16-18°21'LS). En el caso de la biomasa acústica del norte de Chile representa la totalidad de la biomasa estimada desde los 18°21' hasta los 24°LS. Para propósitos de la evaluación de stock, el índice de biomasa desovante utilizado corresponde al reportado por Claramunt *et al.* (2014). Durante el período 2014 al 2016 la biomasa desovante mostró una tendencia creciente, pasando de 399 a 461 mil toneladas, respectivamente. Sin embargo, en el 2017 este valor cae a 201 mil toneladas, lo que representa una disminución del 56% con respecto al 2016. Entre los años 2018 y 2019 este valor varió entre las 799 y 645 mil toneladas, respectivamente. Pero entre los años 2020 y 2021 fluctuó entre las 297 mil toneladas y un millón 336 mil toneladas, respectivamente. Y en el 2022 este valor disminuyó a un valor de 458 mil toneladas, y en el año 2023 no se realizó el crucero de huevos.

En enero 2015, el IMARPE reportó en la zona sur del Perú una biomasa total de 534 mil toneladas, de las cuales el 94% estaba compuesto por biomasa de reclutas (Oficio PRODUCE 100-556-2014), individuos menores a 11.5 cm de longitud total. Asimismo, poco antes y en diciembre del 2014 IFOP había registrado una biomasa de 410 mil toneladas cuya incidencia de reclutas alcanzaba el 60% en peso. Y en el 2016 se registró un valor de 370 mil toneladas en el sur de Perú, valor más bajo registrado durante los últimos 10 años. Y desde el 2017 al 2021 se registraron biomásas totales semestrales del orden del millón de toneladas, pero en el 2022 este valor cae a un valor medio semestral de 386 (± 60.81) mil toneladas, es decir, una caída del orden del 64% en biomasa total. Para el norte de Chile, las estimaciones hechas a fines de primavera de los años 2014, 2015 y 2016 se registraron valores relativamente altos, con un promedio de 334 (± 66) mil toneladas, y un gran porcentaje de estas biomásas corresponde a la fracción juvenil del stock. En el 2017 se registro una biomasa total de 105 mil toneladas, valor más bajo registrado en los últimos diez años. Posteriormente, este valor sube drásticamente a 793 mil toneladas en el 2018, lo que representa un aumento de más de seis veces de magnitud. Y en 2019, este valor cae drásticamente a las 230 mil toneladas, y luego en el 2020 sube levemente a las 264 mil toneladas. En 2021 este valor aumenta hasta alcanzar las 851 mil toneladas, lo que representa un aumento de más de tres veces con respecto a la estimación del 2020. Y entre los años 2022 y 2023 se registran valores relativamente bajos, del orden de las 304 y 255 mil toneladas, respectivamente (**Figura 17**).

La **Tabla 11** muestra un resumen de la temporalidad de las evaluaciones directas llevadas a cabo en el norte de Chile. Anterior al año 2007, los cruceros se realizaban en distintos meses, ya que el criterio era evaluar el máximo reclutamiento basado en el máximo desove a fines de agosto (ver **Figura 2**). Posterior al año 2008, se fijó la fecha para el crucero acústico del norte de Chile. Las estructuras de tallas de los cruceros acústicos de anchoveta están disponibles desde el 2000 hasta 2002 y desde el 2007 hasta el 2023. Esta información es relevante ya que da cuenta de la estructura etarea de la población evaluada para el norte de Chile, y la relevancia poder evaluar la presencia de individuos de menor tamaño (individuos desde los 2.5 cm) que dan cuenta de los



reclutas que están ingresando a la pesquería, y además por el extenso período que abarca esta información (**Figura 16**).

Tabla 10. Biomasa desovante (toneladas) estimada a través del cruceros de huevos del norte de Chile y biomاسas totales (toneladas) estimada a través de cruceros acústicos del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.

Año	Crucero Huevos	Acústica Perú	Acústica Chile
1990	—	187,000	—
1991	—	558,000	—
1992	314,232	482,000	—
1993	—	893,000	—
1994	—	744,000	—
1995	465,696	2,667,000	—
1996	253,356	648,000	385,881
1997	744,838	745,000	—
1998	—	1,306,000	957,868
1999	973,292	178,000	—
2000	608,087	522,000	959,791
2001	765,885	199,000	317,977
2002	1,503,911	1,008,000	—
2003	1,238,731	839,000	—
2004	668,979	682,000	—
2005	1,520,754	1,375,000	—
2006	1,081,156	283,000	—
2007	240,727	1,318,000	713,012
2008	532,132	554,000	135,550
2009	287,916	425,000	456,341
2010	—	1,274,000	253,861
2011	795,056	613,000	170,405
2012	672,077	2,271,000	299,520
2013	520,336	2,013,000	163,002
2014	399,605	884,000	410,660
2015	436,014	534,000	285,644
2016	461,000	370,000	307,129
2017	201,178	1,487,000	105,841
2018	799,400	1,156,000	793,242
2019	645,891	2,968,000	230,206
2020	297,628	2,035,000	264,438
2021	1,336,312	2,066,078	851,911
2022	458,386	772,532	304,938
2023	—	815,972	255,445

**Tabla 11.** Período de realización (semanas) de los cruceros hidroacústicos de anchoveta de la zona norte de Chile.

Crucero	Año	Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
RECLAN9601	1996									X	X	X					
RECLAN9611	1997			X	X	X											
RECLAN9801	1998										X	X	X				
RECLAN9811	1999				X	X	X										
RECLAN0001	2000										X	X	X				
RECLAN0012	2001					X	X	X									
RECLAN0111	2002				X	X	X										
RECLAN0702	2007													X	X	X	
RECLAN0712	2008																
RECLAN0812	2009					X	X	X									
RECLAN0912	2010					X	X	X									
RECLAN1012	2011			X	X	X	X	X									
RECLAN1112	2012			X	X	X	X	X									
RECLAN1212	2013			X	X	X	X	X									
RECLAN1312	2014			X	X	X	X	X									
RECLAN	2015			X	X	X	X	X									
RECLAN	2016			X	X	X	X	X									
RECLAN	2017			X	X	X	X	X									
RECLAN	2018			X	X	X	X	X									
RECLAN	2019			X	X	X	X	X									
RECLAN	2020			X	X	X	X	X									
RECLAN	2021			X	X	X	X	X									
RECLAN	2022			X	X	X	X	X									
RECLAN	2023			X	X	X	X	X									

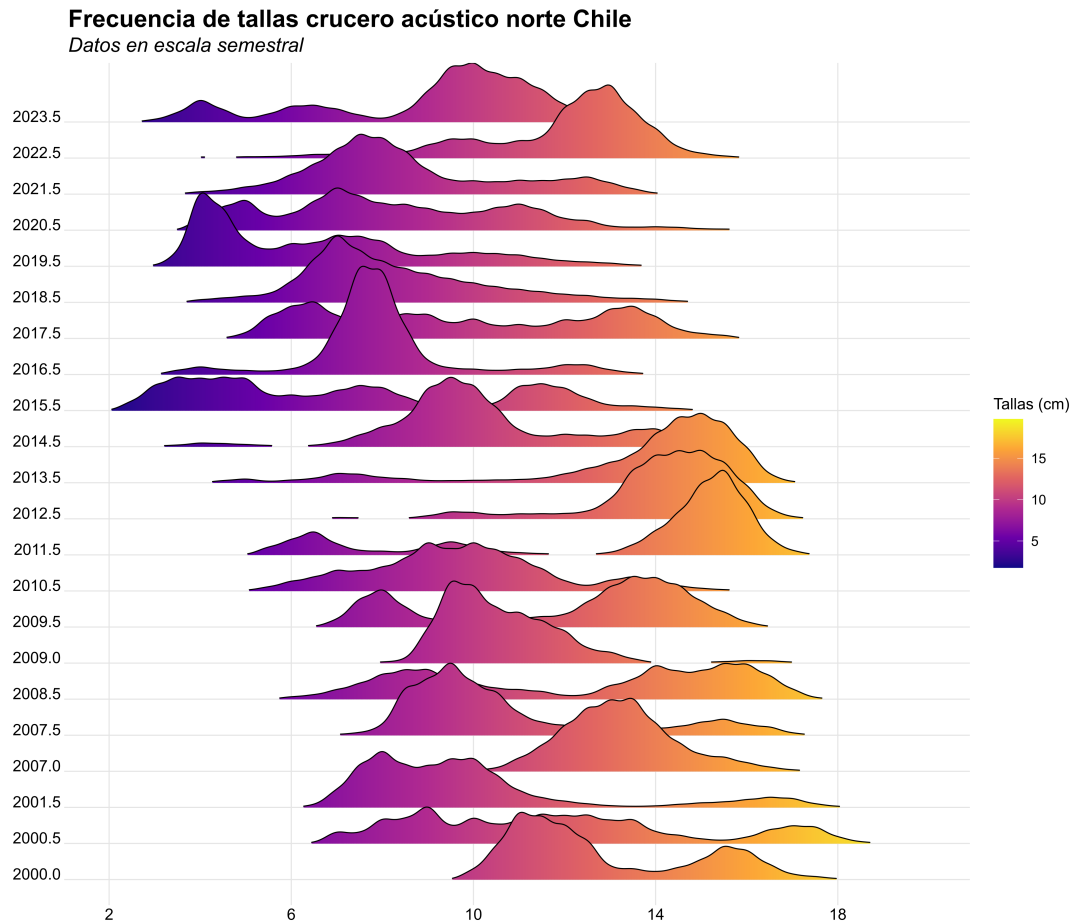


Figura 16. Proporción de la abundancia a la talla del crucero acústico en el norte de Chile (2000-2001 y 2007- 2023).

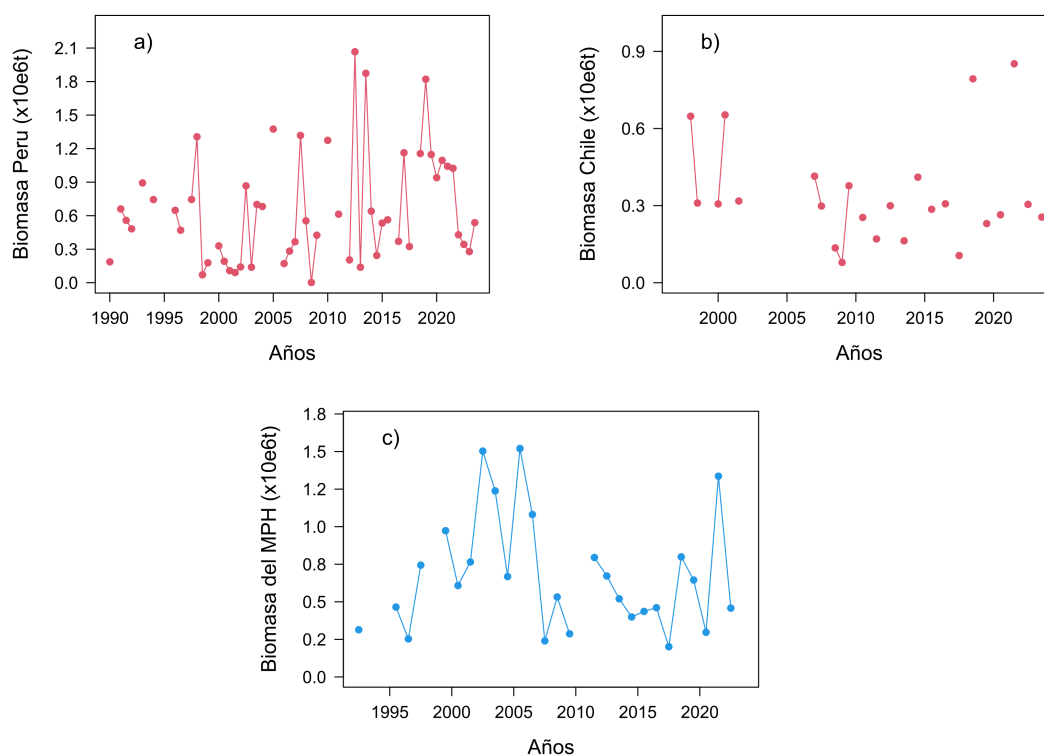


Figura 17. Índices considerados en la evaluación del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile al segundo semestre del 2023, en a) la biomasa total acústica del Perú, b) la biomasa total acústica de Chile y c) biomasa desovante estimada a partir del crucero de huevos del norte de Chile.

4.2 Objetivo específico 2

“Establecer el estatus actualizado de anchoveta y sardina española, 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.”

Para determinar el estatus de los recursos en estudio, se ha establecido un nivel de requerimientos técnicos que define los estándares de análisis y evaluación para las pesquerías analizadas, conforme a los datos y niveles de información y conocimiento disponibles para esos fines, como se detalla más adelante. En aquellos casos en que el levantamiento de datos y nivel de desarrollo de información y conocimiento sean limitados o con altos niveles de incertidumbre, de forma que limiten o impidan la aplicación en propiedad de procedimientos de evaluación y análisis con estándares altos (i. e., para datos ricos), se deberán desarrollar e implementar procedimientos y métodos alternativos adecuados a la disponibilidad de información con el fin de determinar el status de los recursos que se encuentren en esta condición, los que deberán propender a establecerlo con la menor incertidumbre posible (sensu Carmichael & Fenske, 2010). No obstante lo anterior y con el claro propósito de alcanzar el Estándar Completo, se identificarán las brechas y limitaciones que impiden lograr ese objetivo y se propondrán detalladamente las acciones que se consideren necesarias para alcanzarlo, en el corto o mediano plazo, según corresponda.

4.2.1 Estatus

El establecimiento del estatus de los recursos se realizará conforme el estándar adoptado por los Comité Científico Técnicos CCT y tomando como referencia los resultados del proyecto “Revisión de los puntos biológicos de referencia (Rendimiento Máximo Sostenido) en las pesquerías nacionales” (Payá *et al.*, 2014). El marco de referencia que ha sido adoptado por estos CCT se sustenta en la estimación de los Puntos Biológicos de Referencia (PBR) especie-específicos, esto a objeto de situar los indicadores de estado y flujo del stock analizado.

4.2.1.1 Puntos biológicos de referencia

Durante el año 2013 y 2014 se desarrolló un Proyecto denominado “Revisión de los puntos biológicos de referencia para las pesquerías nacionales” donde los proxies al RMS para la anchoveta fueron finalmente estimados y luego ratificados por el Comité Científico Técnico en:

- Biomasa al Rendimiento Máximo Sostenido (B_{RMS}) = 50% Biomasa desovante virginal (BD_0)
- Mortalidad por pesca F_{RMS} , corresponde aquella mortalidad por pesca que en el largo plazo produce el 55% de la biomasa desovante por recluta = $F55\%BDPR$.

Para la determinación del valor de la mortalidad por pesca de referencia ligada al RMS, se utiliza un análisis por recluta de dinámica combinada (Beverton y Holt, 1957) que describe el cambio de la biomasa de una cohorte o clase anual por efectos de la mortalidad natural y la pesca. La producción y la biomasa desovante por recluta (YPR, BDPR) son obtenidas en función de la mortalidad por pesca (F), y en cada una de estas curvas es factible identificar niveles de referencia biológicos que se supone deberían estar minimizando el impacto de la pesca sobre el stock.

La biomasa adulta o desovante por recluta (BDPR) es obtenida como función de la mortalidad por pesca (F) y en esta curva es factible identificar el nivel de referencia biológico ($F_{55\%BDPR}$) que se supone debería minimizar el impacto de la pesca sobre el stock, permitiendo es escape en torno al 55% respecto del valor que existiría en ausencia de explotación pesquera. La estimación de esta curva y su valor de referencia ($55\%BDPR$) se obtiene por medio de la dinámica de la abundancia en equilibrio definida como:

$$N_a = \begin{cases} 1, a = 1 \\ N_{a-1}e^{(-M-FS_{a-1})}, 1 < a < m \\ \frac{N_{a-1}e^{(-M-FS_{a-1})}}{1-e^{(-M-FS_m)}}, a = m \end{cases} \quad (30)$$

Donde N_a es la abundancia en número a la edad $a + 1$ para una población con longevidad máxima m , S_{a-1} corresponde a la selectividad edad específica, M es la mortalidad natural y F es la mortalidad por pesca. Basada en esta abundancia (N_a), la biomasa desovante por recluta se define como:

$$BDPR = \begin{cases} \sum_{a=0}^m N_a \exp(-d_s M) m_a \bar{w}_a, F = 0 \\ \sum_{a=0}^m N_a \exp(-d_s S_a F_a + M) m_a \bar{w}_a, F = F_{RMS} \end{cases} \quad (31)$$

Donde, d_s es la fracción del semestre donde ocurre el desove, m_a es la fracción de peces maduros a la edad y $\bar{w}_a$ es el peso medio a la edad. Entonces, para resolver el parámetro $F_{RMS}=55\%BDPR$ es necesario resolver la siguiente función objetivo:

$$f = \left(\frac{BDPR_{F_{RMS}}}{BDPR_{F=0}} - 0.55 \right)^2 \quad (32)$$

4.2.1.2 Estatus

Para diagnosticar el estatus del recurso se utiliza el diagrama de fase. Este diagrama de dispersión se construye entre la razón de la biomasa desovante respecto a la biomasa desovante objetivo ($BD/BD_{objetivo}$) o aquella que lleva al máximo rendimiento sostenido (RMS) al stock, y la razón de mortalidades por pesca y la del RMS (F/F_{RMS}). Estas variables nacen de las estimaciones provenientes de la evaluación de stock y la estimación de los puntos biológicos de referencia. A su vez, en este diagrama (**Figura 18**) se identifican distintas áreas que dicen relación con la condición del stock esto es, subexplotado, plenamente explotado, sobreexplotado y colapsado en concordancia con la Nueva Ley General de Pesca y Acuicultura y los CCT-PP (2014). A estas definiciones se agrega el concepto de sobrepesca, lo cual nace de los talleres realizados durante el 2013 en conjunto con la Subsecretaría de Pesca (Canales *et al.*, 2014).

De esta forma se tiene que el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile puede estar en condición de:

- **Sobreexplotado**, si la razón BD/BD_{RMS} del último año es menor a 1 y además cae bajo el valor inferior en biomasa de la zona de plena explotación.
- **Plena explotación**, se define considerando los siguientes límites:
 - límite bajo el objetivo de manejo (10% bajo B_{RMS}) y
 - límite sobre el objetivo de manejo (35% sobre B_{RMS}).
- **Subexplotación**, si la razón BD/BD_{RMS} del último año es mayor a 1 ($BD/BD_{RMS} > 1$) y además es superior al valor límite de la zona de plena explotación.
- **Sobrepesca**, si la razón F/F_{RMS} del último año es mayor a 1 y además es mayor al límite correspondiente al valor superior en mortalidad por pesca de la zona de plena explotación.

Cabe hacer notar que por objetivo de manejo de la pesquería de anchoveta sur de Perú y norte de Chile se entenderá alcanzar el Rendimiento Máximo Sostenido (RMS) de la biomasa desovante.

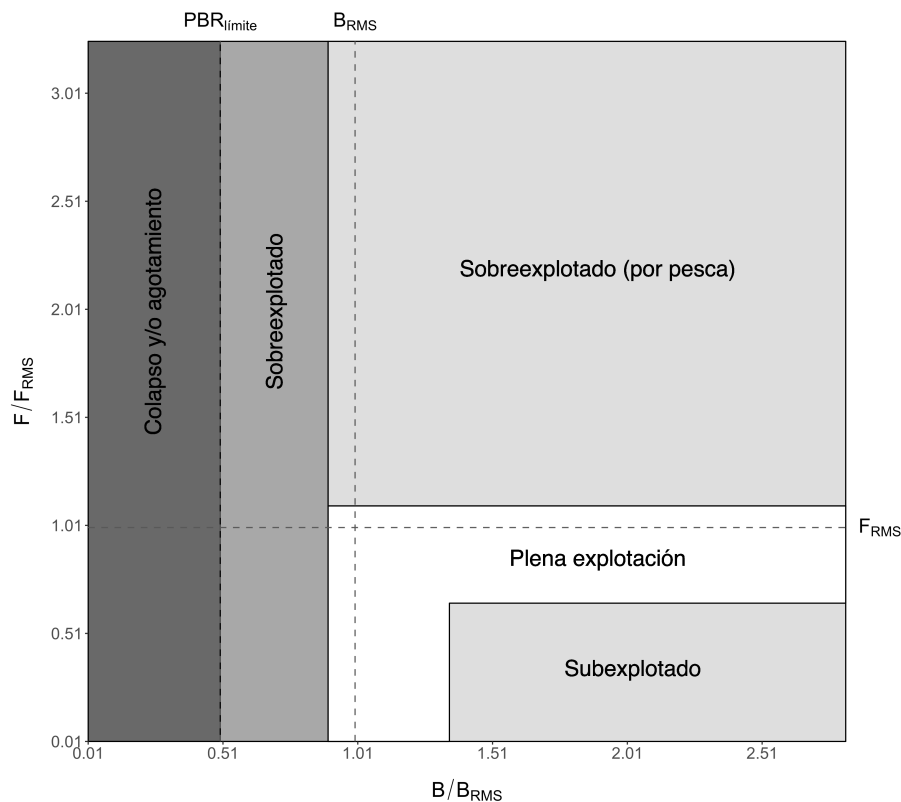


Figura 18. Diagrama de fase tipo para las pesquerías de recursos pequeños pelágicos acordado por el Comité Científico Técnico.

4.2.2 Calidad de la información

Una de las tareas fundamentales en el proceso de evaluación stock consiste en dimensionar el nivel de conocimiento del stock en estudio. Determinar el nivel de calidad de datos e información permite definir el tipo de enfoque de modelamiento que es posible usar para determinar los niveles poblacionales del stock, así como también definir procedimientos para el cálculo de los puntos biológicos de referencia (PBR). De acuerdo con Restrepo *et al.* (1998), la calidad de la información permite clasificar el estándar de una pesquería en tres categorías según los siguientes criterios:

Estándar completo (“Data-Rich”): Se pueden realizar estimaciones confiables del Rendimiento Máximo Sostenido (RMS) y/o de cantidades relacionadas, así como de la abundancia del stock. La evaluación puede ser sofisticada e incorporar la mayor parte de las fuentes de incertidumbre o bien una cantidad razonable de ella.

Estándar medio (“Data-Medium”): No se disponen de estimaciones confiables del rendimiento máximo sostenido y/o cantidades relacionadas, ya sea porque no están disponibles o bien tienen un uso limitado debido a peculiaridades de la historia de vida del recurso, a la pobreza del contraste de los datos, o a la alta variabilidad del reclutamiento. Sin embargo, existen estimaciones confiables del tamaño del stock y de todos los parámetros claves de la historia de vida (crecimiento) y de la pesquería (selectividad). Este caso se utiliza PBR genéricos (“*proxy*”) para sustituir los PBR asociados al RMS que no se pueden estimar confiablemente.

Estándar pobre (“Data-poor”): No existen estimados confiables del rendimiento máximo sostenido, de la abundancia del stock, de los parámetros vitales ni de los parámetros de la pesquería. La evaluación es mínima y la incertidumbre se aproxima sólo cualitativamente. No se pueden realizar cálculos de rendimientos por recluta o biomasa desovantes por recluta. Este caso se utiliza aproximaciones especiales para estimar el RMS, tales como “reglas del pulgar”, promedio de capturas históricas corregidas, o más sofisticadas como aproximaciones bayesianas que usan información desde stock con data rica.

El estándar de la pesquería de anchoveta fue revisado a partir de un listado de tópicos generales y específicos, tomado desde el Anexo D “Checklist for the Stock Assessment”(NRC, 1998). Este listado fue adaptado para las pesquerías chilenas, incluyendo un total de 7 tópicos y 87 preguntas generando la “matriz de conocimiento” del recurso (Canales *et al.*, 2011). Complementariamente se considera la asignación que fue realizada en el marco del proyecto “Revisión de los puntos biológicos de referencia (Rendimiento Máximo Sostenible) en las pesquerías nacionales” realizado por IFOP (Payá *et al.*, 2014) en tres talleres de trabajo y la participación de 8 expertos internacionales.

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.”

En base al modelo conceptual de la dinámica del stock respectivo que sustentó el enfoque y modelo de evaluación aplicado, se realizó un análisis de la productividad del stock y de sus escenarios de explotación, considerando los parámetros e indicadores estimados precedentemente, con su incertidumbre, atendiendo para esto, la incorporación de los niveles probables de remociones totales (captura retenida, descarte y subreporte) de las poblaciones evaluadas, según corresponda. Sobre la base de lo anterior, el ejecutor deberá realizar los análisis de los niveles de CBA, conforme a los requerimientos de las reglas de control de captura, establecidas por esta Subsecretaría y/o en los Planes de Manejo o programas de recuperación respectivos, según el marco legal y normativo vigente, atendiendo la incertidumbre global de los análisis que lo sustentan en cada caso de estudio.

Los análisis considerarán entre otros, la proyección estocástica del stock propagando las fuentes de incertidumbre, para la generación de tablas de decisión sobre las consecuencias de determinadas acciones en base a posibles estados de la naturaleza (e.g. optimista, neutro, pesimista) de variables de estado relevantes tales como, biomasa desovante y/o niveles de reclutamientos futuros, junto al análisis de riesgo (probabilístico) de no lograr determinados objetivos y su equivalente nivel resguardo. Todo lo anterior deberá considerar, tanto las sugerencias provistas por el Instituto como aquellas solicitadas por esta Subsecretaría y/o recomendadas a ésta por sus órganos asesores (CCT y/o CM) como respuesta a consultas formuladas en el contexto de la asesoría requerida anualmente.

4.3.1 Proyección del stock

Se realiza un conjunto de análisis estocásticos de las probables trayectorias de la biomasa desovante como consecuencia de la aplicación de las diferentes estrategias, tácticas y reglas de decisión consideradas en los respectivos Planes de Manejo y/o Programas de Recuperación de las pesquerías, según corresponda, considerando la incertidumbre del estatus (e.g. matriz de correlación de variables de estado) y los posibles estados de la naturaleza a futuro (e.g. niveles probables de reclutamiento futuro). Lo anterior debe permitir analizar los niveles de riesgo de no alcanzar los objetivos de conservación en el corto o mediano plazo, considerando la incertidumbre del estatus y los probables estados de la naturaleza a futuro.

4.3.2 Captura biológicamente aceptable (CBA)

La estimación de las capturas biológicamente aceptables se estimó mediante un análisis de estrategias de explotación, que considera niveles de mortalidad por pesca constante, es decir, las remociones por pesca son proporcionales a los cambios de abundancia del stock. El criterio de explotación está basado en los Puntos Biológicos de Referencia (PBR), el cual considera el criterio

el F55%BDPR (biomasa desovante por recluta) como un proxy del nivel de mortalidad por pesca que genera el Rendimiento Máximo Sostenido (RMS). Además, es posible usar otros valores de mortalidad por pesca para realizar estimaciones de captura y proyecciones del stock.

En el caso de la pesquería de anchoveta norte, la recomendación de CBA comienza con un reporte entregado en el mes de septiembre, después de la realización del crucero de huevos, donde se reporta la CBA inicial (“Primer Informe de Estatus”) (**Tabla 12**). Este primer reporte permite al CCT-PP (reunión de octubre) establecer el estatus y recomendar el rango de CBA para el año siguiente en base a percentiles de riesgo (10% - 50%) de sobrepasar el objetivo de manejo $p(F > F_{RMS})$. Luego, durante el mes de noviembre y diciembre se realiza el crucero de evaluación hidroacústico que permite estimar la abundancia y biomasa total, esta información junto a datos provenientes de la pesquería chilena y peruana, junto a las estimaciones de biomasa total de los curcero del sur de Perú es utilizada para la primera revisión de la CBA (“Segundo Informe de Estatus”). Este segundo reporte permite al CCT-PP (reunión de marzo) establecer el estatus y recomendar el rango de CBA para el año en curso en base a percentiles de riesgo (10%- 50%) de sobrepasar el objetivo de manejo $p(F > F_{RMS})$. Este procedimiento de manejo pesquero actual para la anchoveta de la zona norte, descrito anteriormente, es representado en la **Figura 19**.

Tabla 12. Información relevante para el cálculo de CBA 2024 en cada una de las etapas de estimación.

Datos de entrada	CBA inicial	CBA actualizada
Desembarques Chile	1986.0 - 2022.5	1986.0 - 2023.5
Desembarques Perú	1986.0 - 2022.5	1986.0 - 2023.5
Descarte Chile	2017.0 - 2022.5	2017.0 - 2022.5
Biomasa acústica Perú	1990-2022.5	1990 - 2023.5
Biomasa acústica Chile	1997-2002, 2007-2022.5	1997-2002, 2007-2023.5
Biomasa desovante Chile	1992-2022	1992-2022
Composición de tallas flota Perú	1986 -2022.5	1986 - 2023.5
Composición de tallas flota Chile	1986 - 2022.5	1986 - 2023.5
Composición de tallas crucero Chile	2000-2002 y 2007-2022	2000-2002 y 2007-2023
Pesos medios a la talla Chile	2001 - 2022.5	2001 - 2023.5
Madurez a la talla Chile	Constante	Constante
Parámetros de crecimiento	Constante	Constante
Mortalidad natural	Constante	Constante
Proyección del reclutamiento	4 semestres	2 semestres

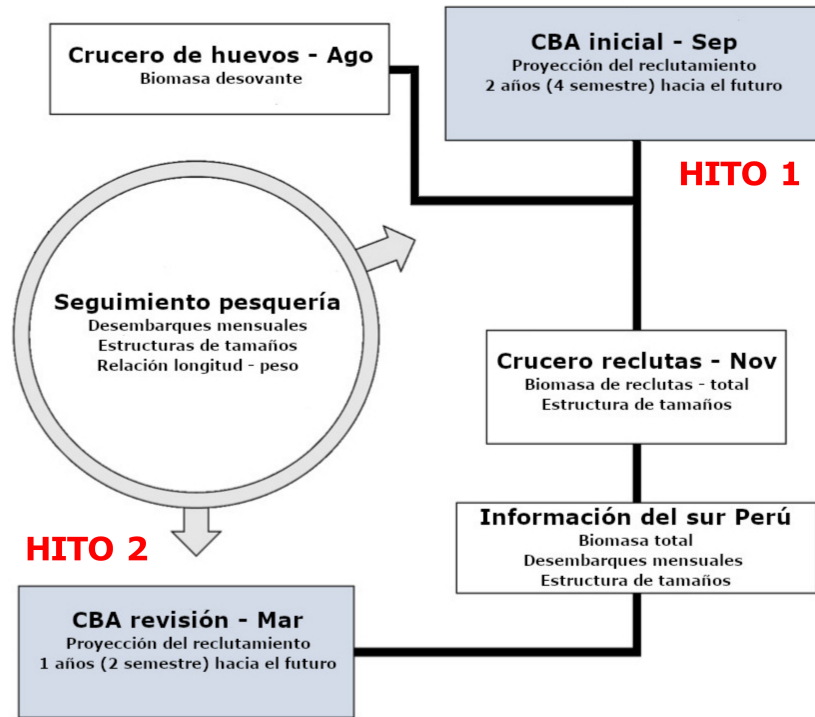


Figura 19. Ciclo de manejo pesquero actual para la anchoveta de la zona norte de Chile.

Para el cálculo de la CBA del segundo hito de asesoría (reunión de marzo) se asumieron los siguientes supuestos para el cálculo de la CBA:

- Las proyecciones se realizan en el corto plazo, 2 semestres (2024.0 y 2024.5).
- Durante la proyección del stock, los reclutamientos a ingresar provienen de tres escenarios:
 - reclutamientos promedios para el primer y segundo semestre (**Figura 20**).
 - reclutamientos proyectados desde un modelo serie temporal arima (**Figura 21**).
 - reclutamientos proyectados desde un modelo poblacional logístico (**Figura 22**).
- Estos escenarios en los reclutamientos proyectados fueron presentados en la cuarta y quinta sesión del CCT-PP efectuado en el 2022 ⁴.
- El CCT-PP planteó incorporar un nuevo escenario como la media ponderada a través de la varianza de todos los escenarios.
- La longitud de la serie de reclutamientos va desde el año 2000 hasta el año 2022.
- Durante la proyección del stock de anchoveta, se consideran los niveles de mortalidad por pesca totales ocurridos al último semestre de la evaluación, ponderado por la F_{RMS} .

⁴<https://www.subpesca.cl/portal/616/w3-propertyvalue-51142.html>

- Se asume que los peces capturados es una función de la población y de la mortalidad por pesca y natural (Baranov, 1918).
- La incertidumbre de la CBA se obtendrá del error estándar de los parámetros.

Para proyectar el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile es necesario incorporar los nuevos reclutas para cada semestre proyectado, primer y segundo semestre del 2024. La elección de los niveles de reclutamientos que entran en cada semestre tiene fuertes implicancias en los niveles poblacionales que se estimen en el futuro y en los niveles de captura biológicamente aceptable debido principalmente al rápido crecimiento y a una alta mortalidad natural más la mortalidad por pesca que genera el F_{RMS} . Dado que el último reclutamiento estimado por el modelo de evaluación tiene una alta incertidumbre, es necesario aplicar el enfoque precautorio en la toma de decisión inicial sobre los niveles de captura biológicamente aceptable, es decir, se podría considerar el percentil más bajo cuando la incertidumbre sea alta o penalizar este reclutamiento antes que se proyecte la población del stock de anchoveta en el segundo hito de asesoría. Esta aproximación tiene una fuerte relevancia en el segundo hito de asesoría, ya que la CBA depende de la forma en que es penalizado el último reclutamiento estimado por el modelo de evaluación. Esta penalización ocurre por un fuerte patrón retrospectivo que presentan los reclutamientos estimados por el modelo de evaluación. Para la penalización del último reclutamiento se ocupan dos relaciones basadas en los reclutamientos históricos estimados por el modelo de evaluación y la biomasa de juveniles (<11.5 cm) que estima por el crucero acústico del norte de Chile, que se realiza a fines de cada año. Estas relaciones se diferencian según las condiciones ambientales (anomalías de la temperatura superficial del mar) que dominan la zona de estudio cuando se realiza el crucero acústico del norte de Chile (**Figura 23**).

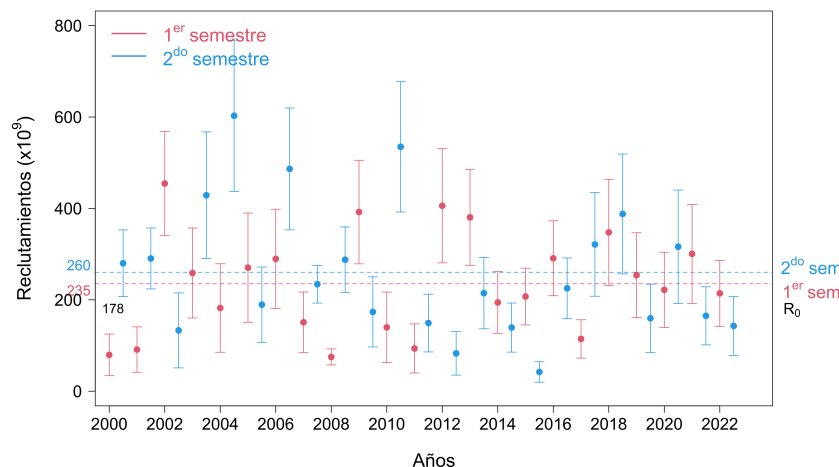


Figura 20. Escenario de reclutamientos promedios diferenciado para el primer y segundo semestre empleados para proyectar el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. Las líneas punteadas indican los promedios para cada semestre.

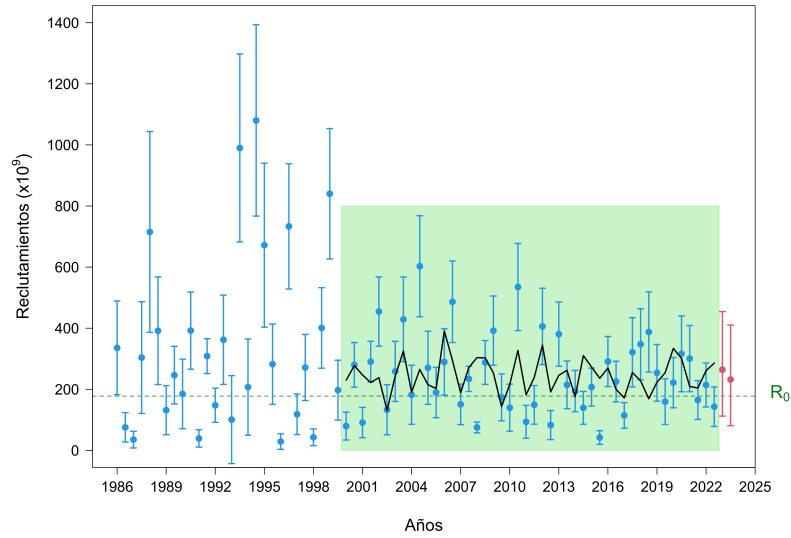


Figura 21. Reclutamientos proyectados según el modelo serie temporal arima empleados para proyectar el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. La línea negra representa los reclutamientos estimados por el modelo y la zona verde representa la serie de tiempo usada. Los puntos rojos corresponden a los reclutamientos proyectados para dos semestres.

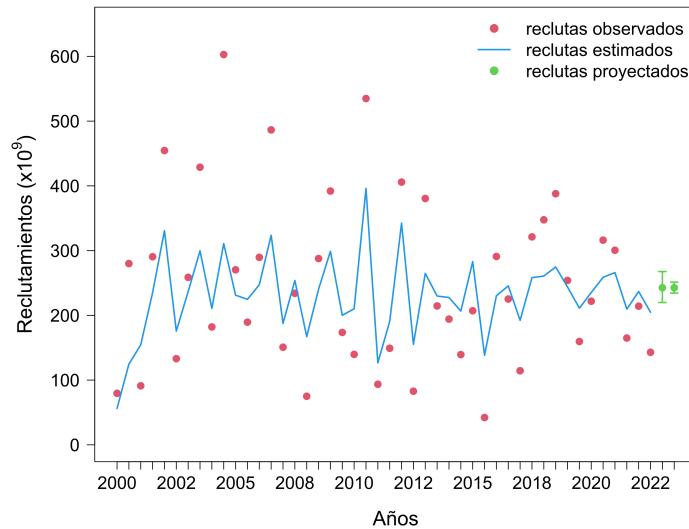


Figura 22. Reclutamientos proyectados según el modelo poblacional logístico autorregresivo empleados para proyectar el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. Los puntos verdes representan los reclutamientos proyectados para dos semestres.

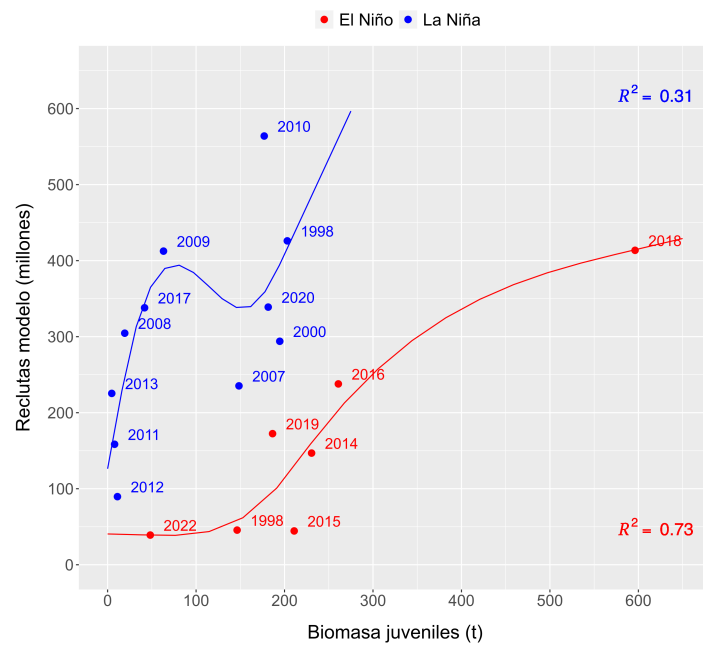


Figura 23. Relación no lineal entre los reclutamientos estimados por el modelo de evaluación de stock y la biomasa acústica de juveniles (< 11.5 cm) según la anomalía de la temperatura superficial de mar que se registraron durante la realización de crucero acústicos que se desarrolla durante los meses de noviembre y diciembre de cada año.

En la actualidad, la CBA considera un rango de valores (de 10% a 50%) basado en el riesgo de no alcanzar el objetivo de conservación. El riesgo corresponde a una distribución de probabilidad acumulada y representa la expectativa de sobrepasar la mortalidad por pesca que conduce al objetivo de manejo, que es equivalente a mantener el stock robusto. Dada la alta incertidumbre existente en el establecimiento de la CBA en el proceso de asesoría, se recomienda utilizar un nivel de riesgo inferior al 50%.

Con el objeto de mejorar el proceso de establecimiento de CBA y los niveles de riesgo de no alcanzar el objetivo de manejo, se presenta una propuesta metodológica que permite definir un marco de trabajo para la proyección poblacional y para la toma de decisión del nivel de riesgo. Según los escenarios probables de biomasa de reclutas y/o biomasa desovante del semestre siguiente al término de la evaluación, y utilizando la metodología indicada por Gruss *et al.* (2016), la cuál permite establecer una CBA mediante la captura al RMS (C_{RMS}) y un porcentaje de resguardo o buffer respecto de la C_{RMS} (**Figura 24**). Este buffer entre la CBA y la captura al RMS se calcula a partir de la probabilidad de sobrepesca considerada aceptable (P^*) y el error estándar de la distribución de la C_{RMS} (sigma), bajo el supuesto de que la C_{RMS} presenta una distribución normal. Dada la distribución de la C_{RMS} , la CBA se determina de manera que la probabilidad de que CBA exceda C_{RMS} sea igual a P^* .

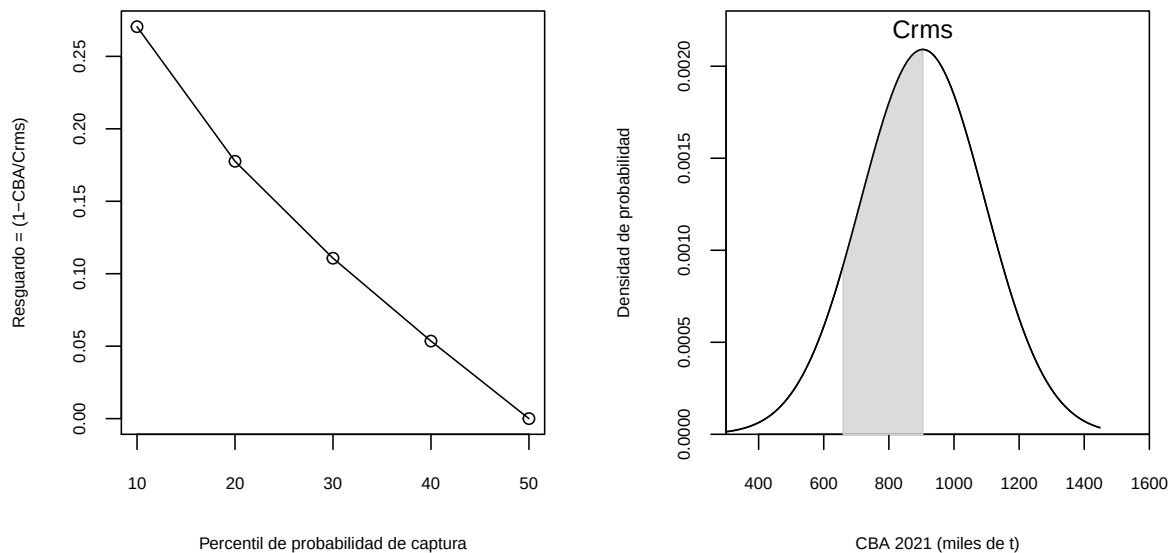


Figura 24. Nivel de resguardo de la Captura al RMS ($1-CBA/CRMS$) (panel izquierdo) y densidad de probabilidad de la $CRMS$ (panel derecho). La región sombreada corresponde al rango entre el 10% - 50% de probabilidad de sobrepasar la $CRMS$ (P) que da origen a la CBA determinada por el CCT-PP.

4.3.3 Incorporación del descarte en la CBA

Considerando que el descarte es una fuente de mortalidad adicional a la mortalidad por pesca, se realiza el descuento a la captura al RMS de un porcentaje asociado a la captura descartada



que podría ocurrir durante el primer y segundo semestre del año 2024 en la flota total. Este supuesto de descarte semestral proyectado se obtiene del promedio de la serie de datos 2019-2022 (período de monitoreo), correspondiente a un 1.79% y un 0.96% para el primer y segundo semestre, respectivamente (**Tabla 13**).

Tabla 13. Captura total (CT), captura retenida (CR) y captura descartada (CD) en toneladas promedio 2019-2022 por semestre y flota utilizados para obtener el % de descarte a utilizar en la proyección de CBA 2024. Se utiliza la captura total y descartada promedio para la flota total chilena.

Año	Flota	Semestre	CT	CR	CD	% descarte
2024	Total	1	893,015	877,050	15,965	1.79
		2	374,877	371,292	3,585	0.96

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 Programa de mejoramiento continuo de la calidad de la asesoría científica

Para el cumplimiento de este objetivo, se detallará los avances alcanzados durante el desarrollo del 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 enfocará a las brechas de datos, información y conocimiento, sino que incluirá la pertinencia, calidad y coherencia de éstos con la situación general de la pesquería, acorde con los requerimientos de asesoría solicitados por la administración pesquera. Sobre la base de lo anterior, se evaluará el desempeño logrado y se propondrán las acciones, actividades, metas, plazos y condiciones que consideren necesarios para lograr disminuir las brechas identificadas y los requerimientos para alcanzar los estándares de asesoría previamente definidos. En el contexto del desarrollo metodológico del trabajo, se realizará un listado de comprobación en el que se dará cuenta de todas las recomendaciones emanadas de los revisores expertos, con el propósito de verificar el cumplimiento de cada uno de las observaciones, correcciones y recomendaciones señaladas por los revisores, detallando al menos grado de avance, aspectos abordados y no abordados.

Se informará sobre todas las actividades realizadas con el objetivo de lograr la mejor aplicación del EME, conforme al estándar de análisis de la pesquería (datos ricos, medios o pobres) y sus respectivos “Tiers”. En el caso de que esta evaluación de stock hayan sido sometida a Procesos de Revisión por Pares (PRPP), este objetivo deberá contener una sección especialmente dedicada a informar detalladamente ¿cómo y cuándo? se abordaron y fueron implementadas cada una de las recomendaciones realizadas por los expertos revisores externos (e. g., situación anterior, modificación, situación post- revisión con los cambios/mejoras implementadas), a la forma de un listado de comprobación (o checklist).

Las sugerencias planteadas en las revisiones de este informe serán abordadas mediante una propuesta de trabajo anual asociado al esquema de trabajo y plan de actividades asociado al Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad en la Asesoría Científica, explicitando las tareas y metodologías a implementar. Los resultados que se generen de dicho plan de trabajo serán presentados en el Taller de Datos y Modelos, a efectuarse en una sesión del CCT-PP durante el año en curso, en coordinación con la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

4.4.2 Esquema de trabajo y plan de actividades

El plan de actividades del proyecto de evaluación de stock considera la participación en reuniones de coordinación entre el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) y la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SSPA) con el objeto de estandarizar los informes del presente proyecto y elementos de apoyo a la toma de decisión. Al respecto, el día 12 de junio de 2017 se desarrolló la primera reunión de coordinación donde la SSPA propuso un esquema de trabajo para ser aplicado a los futuros desarrollos e implementaciones de las mejoras y modificaciones (MM) a la evaluación de stock



(EV), además de la revisión y actualización de datos y modelos, los cuales estarán vinculados al trabajo del CCT-PP. Este esquema se aplicará para los próximos años. El IFOP estuvo de acuerdo con esta propuesta ya que ayudará a ordenar las tareas comprometidas durante el período de ejecución de este proyecto. El esquema de trabajo de datos y modelos presentado en la **Figura 25**, consiste en los siguientes pasos:

- 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 en el CCT-PP para la definición del caso base, EV(t+1), utilizado para establecer el estatus y CBA.
- 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.
- IFOP presenta propuesta de modelo alternativo y soporte para evaluar los criterios del establecimiento de vedas para trabajar durante la ejecución de este proyecto.
- Uno de los propósitos de este esquema de trabajo es que en esta instancia también se realice la revisión de datos, sin embargo, en este proyecto en particular se dará prioridad a la propuesta de MM(t+1), con el compromiso que la revisión de datos se lleve a cabo en los futuros proyectos.

Finalmente, en la etapa de revisión y actualización de la EV(t+2 y t+3) a realizarse entre marzo y julio, también se comparará con los resultados de la EV(t+1 y t+2) correspondiente a las asesorías de septiembre y marzo de cada año, respectivamente.

ESQUEMA DE TRABAJO DE DATOS Y MODELOS

Proyecto Estatus y CBA de Pelágicos

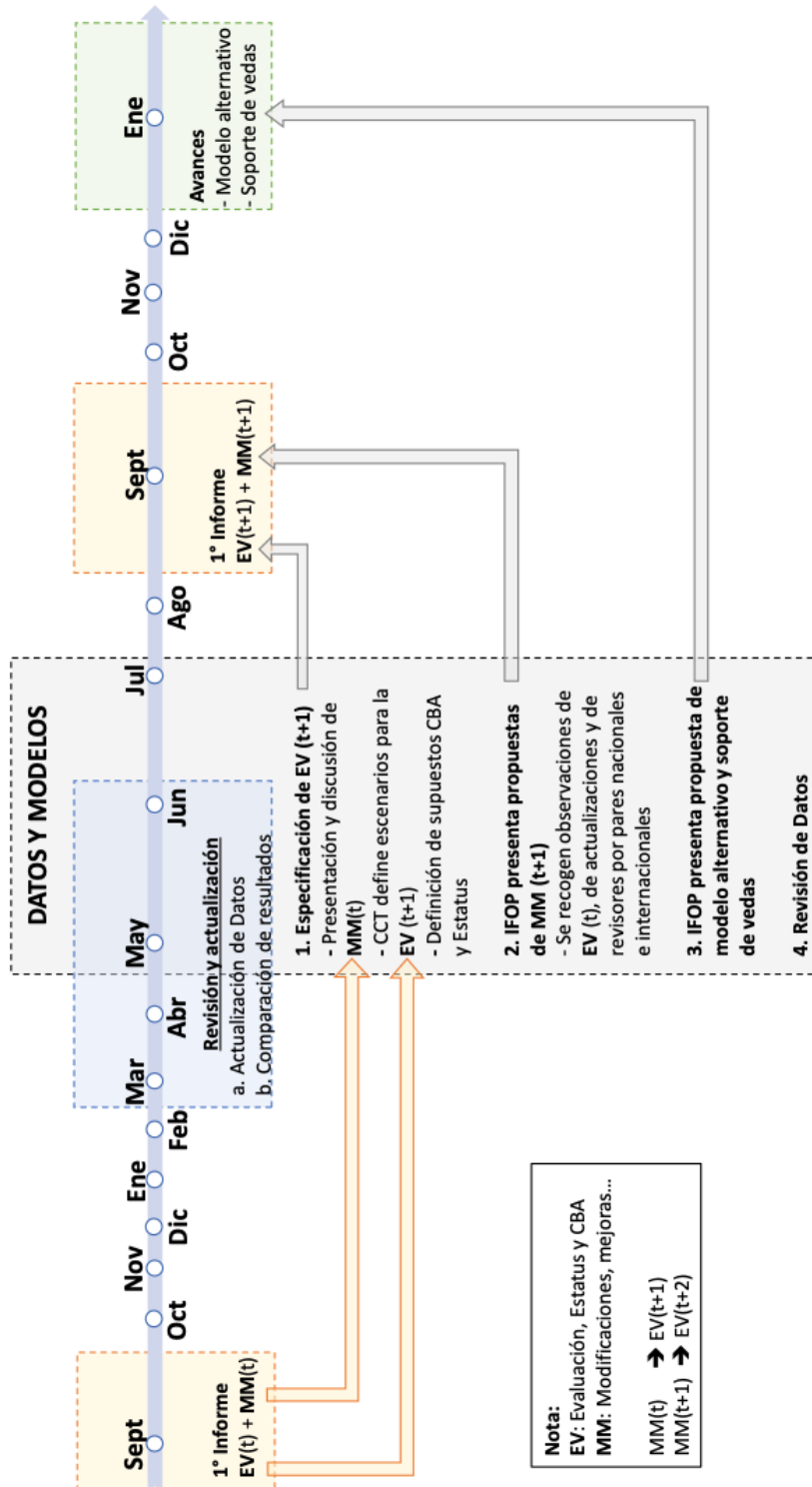


Figura 25. Esquema de trabajo de datos y modelos por la SSPA y IFOP para la implementación de mejoras y modificaciones (MM) a la evaluación de stock (EV) durante el desarrollo del proyecto de estatus y CBA de las pesquerías de pequeños peces pelágicos.



El propósito del taller de Datos y Modelos, es la revisión exhaustiva de los antecedentes (estado del conocimiento) del recurso y su pesquería, en concordancia con el informe de PMCCAC del año anterior, esto es, el examen detallado de los datos e información disponibles, atendiendo a los requerimientos y/o compromisos suscritos en cada pesquería analizada, conforme a los reportes de los talleres de datos y modelación de años previos, observaciones y recomendaciones formuladas por evaluadores externos (nacionales e internacionales) y observaciones formuladas por el CCT respectivo, cuando corresponda.

4.4.3 Recomendaciones realizadas en informe de evaluación técnica de proyectos

En la **Tabla 14** se describen las principales observaciones realizadas en asesorías previas, las cuales forman parte del programa de mejoramiento continuo a desarrollar en el mediano a largo plazo.

Tabla 14. Principales observaciones realizadas en asesorías previas, las cuales formaran parte del programa de mejoramiento continuo.

Ítem	Observación
Corrección clave-talla	Supuesto de crecimiento, desviación estándar de la talla a la edad se incrementa con la talla.
Análisis de sensibilidad	Respecto de diferentes supuestos estructurales asociados a la evaluación de stock de anchoveta norte.
Selectividad	Implemetar la selectividad a la talla.

4.5 Objetivo específico 5

“Implementar análisis de Evaluación de Estrategías de Manejo (EEM) basado en la plataforma openMSE.”

4.5.1 Implementación de EEM en la plataforma openMSE

Para la implementación de la Evaluación de Estrategías de Manejo (EEM) basado en la plataforma openMSE⁵, se desarrolló un contrato de trabajo con Blue Matter Science Ltd⁶ que permitió desarrollar dos talleres de trabajo. El primer taller de trabajo en línea se desarrolló durante los días 17 al 21 de julio del 2023 estuvo destinado a desarrollar capacidades en los conceptos centrales y la aplicación práctica de la EEM y del software openMSE. El taller estuvo dirigido a los administradores de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA), científicos del IFOP y otras partes involucradas en la pesquería de anchoveta de la zona norte de Chile. El taller fue dirigido por tres instructores de Blue Matter Science Ltd. de una duración de 3 horas al día. Los temas tratados en el taller incluyeron una introducción a la evaluación de estrategias de manejo, una discusión de las diferencias entre un EEM y el paradigma del mejor modelo de evaluación de stock, una discusión de los componentes importantes de un proceso de EEM, una introducción y demostración del software openMSE y una descripción general del proceso potencial para la EEM de la pesquería de anchoveta de la zona norte de Chile. Al taller en línea asistieron en promedio unas 65 personas por día, incluyendo a administradores de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, científicos del IFOP, miembros de los diferentes comités científicos técnicos (CCT) y miembros de la academia (PUCV).

El segundo taller de trabajo presencial para la aplicación de EEM y del software openMSE fue desarrollado durante los días del 31 de julio al 4 de agosto del 2023 en la ciudad de Valparaíso. El taller estuvo dirigido a administradores de la SUBPESCA, científicos del IFOP y otros actores involucrados en la pesquería de la anchoveta de la zona norte de Chile. El taller fue dirigido por el Dr. Quang Huynh de Blue Matter Science Ltd. y tuvo una duración de cinco días completos, de lunes a viernes. El taller abarcó diferentes temas y cada día se centró en un aspecto específico del trabajo técnico para la implementación de EEM a través de los paquetes del software openMSE. Los temas incluyeron la construcción de modelo operativos, procedimientos de manejo y métricas de desempeño para la pesquería de anchoveta de la zona norte de Chile. Al taller asistieron 18 personas, desde los administradores de la SUBPESCA, científicos del IFOP y del Instituto de Investigación Pesquera (INPESCA) y miembros del comité científico técnico. Al final del taller, todas las participantes acordaron un borrador del documento de especificación que detalla las principales decisiones tomadas con respecto al conjunto de modelos operativos, la especificación del procedimiento de manejo actual y alternativas, y el conjunto de métricas de desempeño utilizadas para presentar los resultados de las simulaciones y ayudar a la interpretación de las principales conclusiones del análisis. Todas las partes involucradas en el taller quedaron satisfechas con el progreso realizado durante el taller y una comprensión del objetivo del análisis de la solidez de los procedimientos de manejo ante diferentes estados de la naturaleza. Sin embargo, la complejidad del modelo operativo y del procedimiento de manejo de la anchoveta de la zona norte de Chile requerirá un trabajo adicional para completar los análisis.

⁵<https://openmse.com>

⁶<https://bluematterscience.com>



Este documento de especificación detalla las principales decisiones que fueron acordadas durante el taller presencial en torno a los modelos operativos, principalmente estos modelos abordaron la incertidumbre biológica que es recurrentemente discutida en los comités científicos técnicos. También, se detalla la especificación del procedimiento de manejo actual y alternativos, y finalmente, se establecieron un conjunto de métricas de desempeño las cuales fueron discutidas y acordadas por los administradores de la SUBPESCA. Para un mayor detalle de este documento revisar el **Anexo A**.

5 RESULTADOS

5.1 Objetivo específico 1

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

5.1.1 Modelo de evaluación de stock

Los siguientes resultados corresponden al modelo base de evaluación de stock que esta basado en los resultados de la Revisión por Pares Internacionales, del Taller Benchmark y en las mejoras continuas hechas hasta el desarrollo de este informe. A continuación, se presentan los resultados de la evaluación de stock de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.

Ajuste del modelo a las observaciones

El ajuste del modelo de evaluación a los índices de abundancia auxiliares se muestra en la **Figura 26**. Se aprecia que el modelo es capaz de reproducir en forma adecuada las principales tendencias de los diferentes índices y en menor medida la alta variabilidad que presenta la información. En este sentido se destaca el buen ajuste a la biomasa desovante y en menor medida las biomazas acústicas del sur de Perú y norte de Chile, como indica la raíz del cuadrado medio de los errores (RMSE). La biomasa acústica del sur de Perú durante los últimos años ha presentado alta variabilidad, con valores de 370 mil toneladas en el 2016, 1.4 millones de toneladas en el 2017, 1.1 millones de toneladas en el 2018, 2.9 millones de toneladas en el 2019 y valores cercanos al millón de toneladas en los cruceros realizados durante el 2020 y 2021 (**Figura 26**). En el 2022 estos valores caen drásticamente a 429 y 343 mil toneladas para el primer y segundo semestre, respectivamente. Y en el 2023 se observan valores de 278 y 537 mil toneladas para el primer y segundo semestre, respectivamente. Estos bajos valores han llevado al modelo de evaluación a reproducir en forma adecuada esta disminución en la biomasa, presentando una tendencia decreciente en biomasa durante el 2022 y 2023. Lo mismo ha ocurrido para los dos últimos valores de la biomasa del crucero acústico en el norte de Chile (**Figura 26**). Por otro lado, el modelo es capaz de reproducir adecuadamente casi todos los valores de biomasa desovante, salvo para algunos años en particular, como se muestra en el valor del RMSE de 0.43, la mitad en comparación a los índices acústicos. En este sentido, el modelo trata de reproducir una disminución en la biomasa desovante en el último año de la evaluación (**Figura 26**).

El ajuste a los desembarques semestrales (**Figura 27**) se destaca el buen desempeño del modelo debido al coeficiente de variación asignado a esta variable. En la **Figura 28, 29 y 30** se muestran los ajustes del modelo a las estructuras de tamaños para la flota chilena, peruana y cruceros, respectivamente. En general, el modelo reproduce en buena medida la variabilidad que se observa entre los semestres, debido a cambios en el patrón de explotación o variaciones en la talla media. El modelo tiene la capacidad de capturar las formas generales referidas a los efectos selectivos, pero en menor medida las altas proporciones que se observan en algunos semestres. Sin embargo, el ajuste a las estructuras de tamaños de la flota peruana presenta un mejor desempeño (**Figura 29**) que el ajuste a la flota chilena, debido en gran medida a los bloques de selectividad usados



(Figura 31) y la fecha, en proporción al semestre, en que ocurre la máxima captura. También se observa un buen ajuste del modelo a las estructuras del crucero acústico chileno para algunos años en particular, como en el 2007, 2010, 2012, 2013 y 2023 (Figura 30). El modelo de evaluación considera diferentes bloques de selectividad para la flota chilena (6), para la peruana (7) y para el crucero acústico de Chile (2) como se muestra en la Figura 31. Esto debido a que las composiciones de tallas muestran variaciones importantes durante el período de estudio, más aún en los últimos años dada la presencia de peces de menor tamaño en las estructuras de tamaños. Sin embargo, en el 2021 la presencia de peces de mayor tamaño en las capturas han llevado a que la talla media aumente en comparación al 2019 y 2020. En el 2023 se observa un aumento de la fracción juvenil en el crucero acústico producto del fenómeno El Niño 2023-24. Cabe señalar que la conversión de edades en longitudes se realiza al interior del modelo de evaluación sobre las base de los parámetros de crecimiento y una matriz de probabilidad a la talla variable en el tiempo dada la fecha en que fue observado el proceso pesquero (Figura 32).

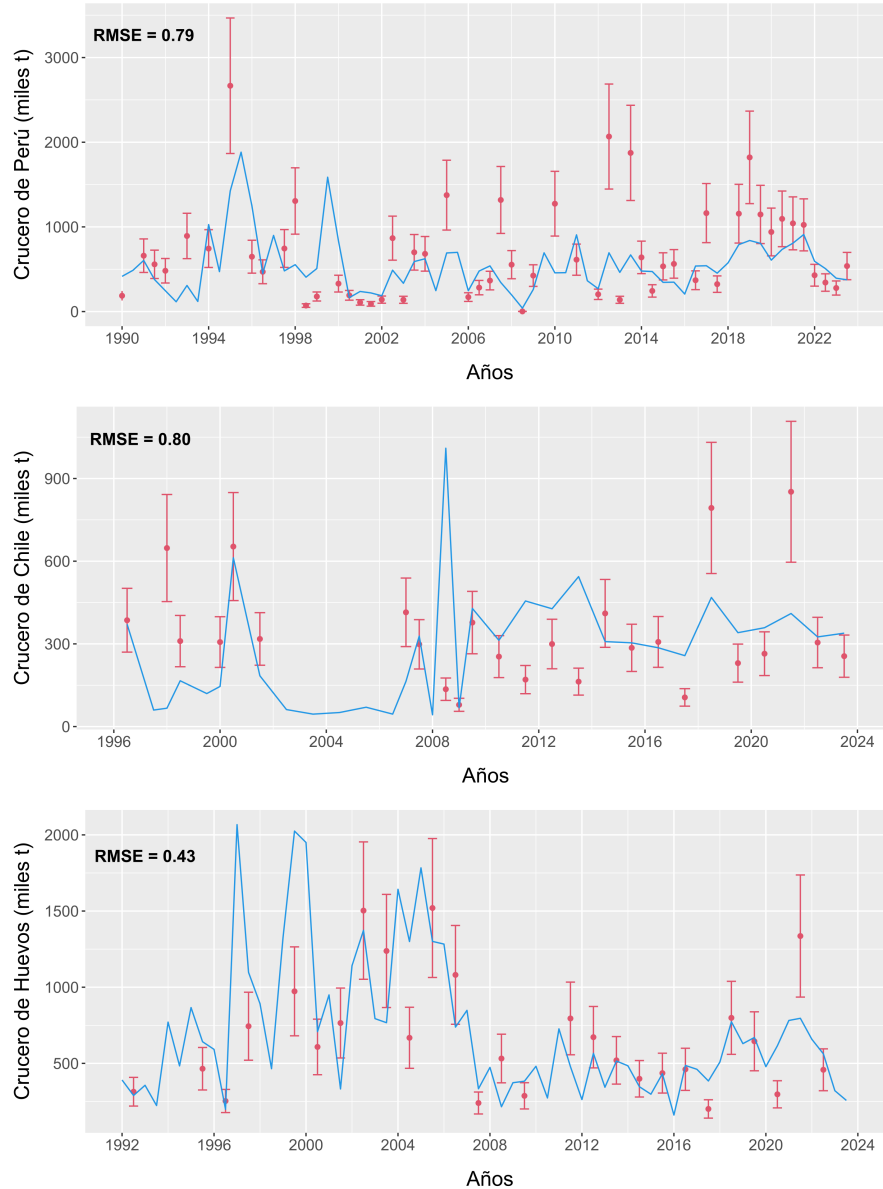


Figura 26. Ajuste del modelo (línea azul) de evaluación de stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. En el panel superior se muestra la biomasa acústica del sur de Perú, en el panel intermedio se muestra la biomasa acústica del norte de Chile y panel inferior se muestra la biomasa desovante estimada a partir del crucero de huevos del norte de Chile. Las líneas rojas verticales indican el coeficiente de variación asignados a estas variables. Se indica la raíz del cuadrado medio de los errores (RMSE) en negro.

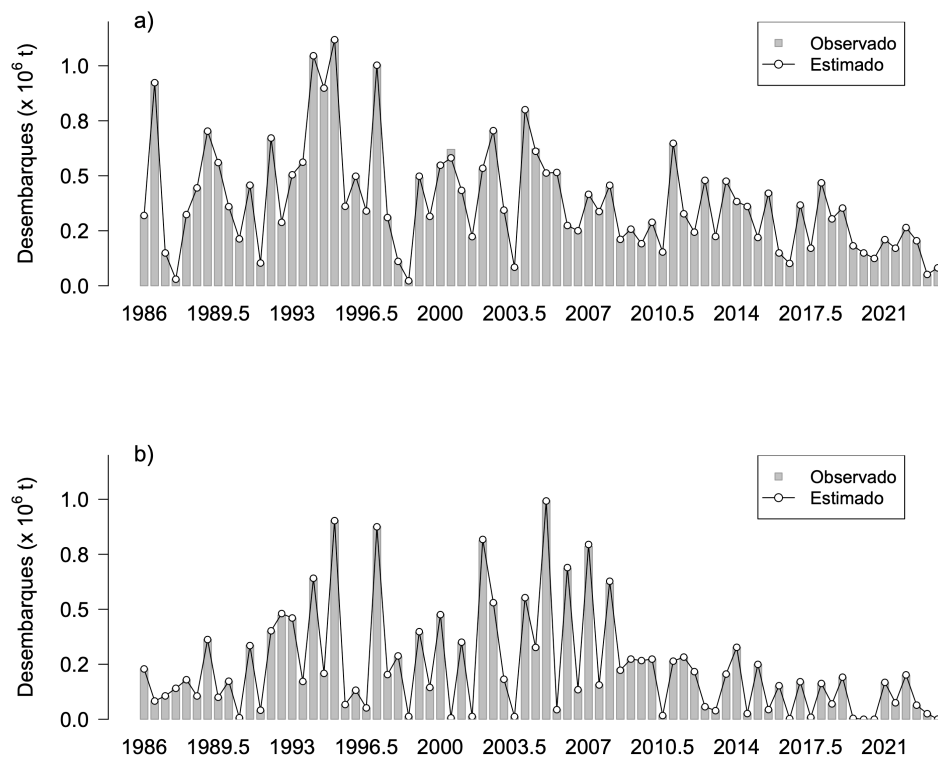


Figura 27. Ajuste del modelo de evaluación de stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile a las series de desembarques en toneladas para ambos países. En a) los desembarques semestrales del norte de Chile y en b) los desembarques semestrales del sur de Perú.

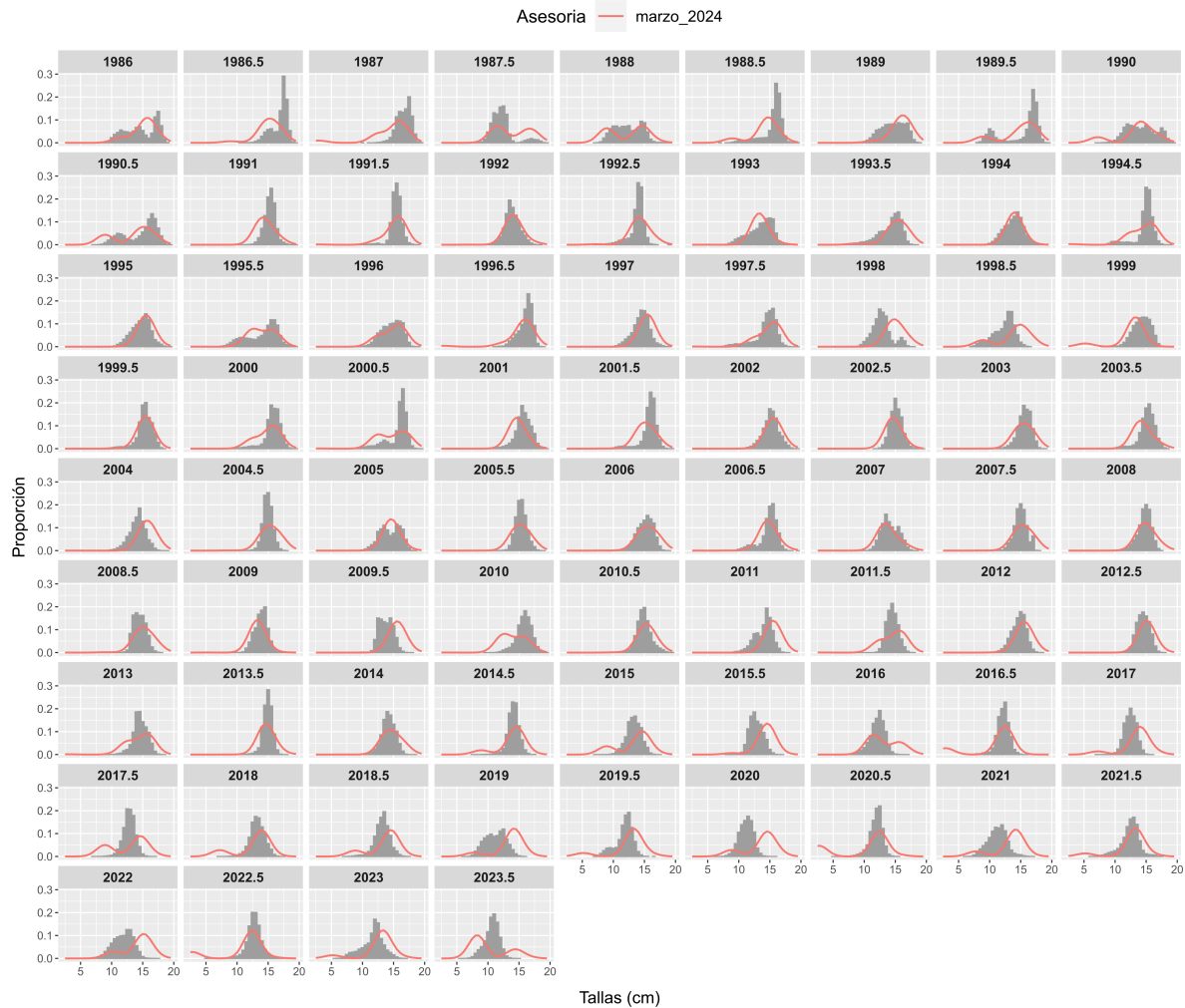


Figura 28. Ajuste del modelo a la información de las composiciones de tallas de las capturas de anchoveta para la flota chilena. Las barras gris corresponde a las observaciones y la línea continua roja a la estimada por el modelo.

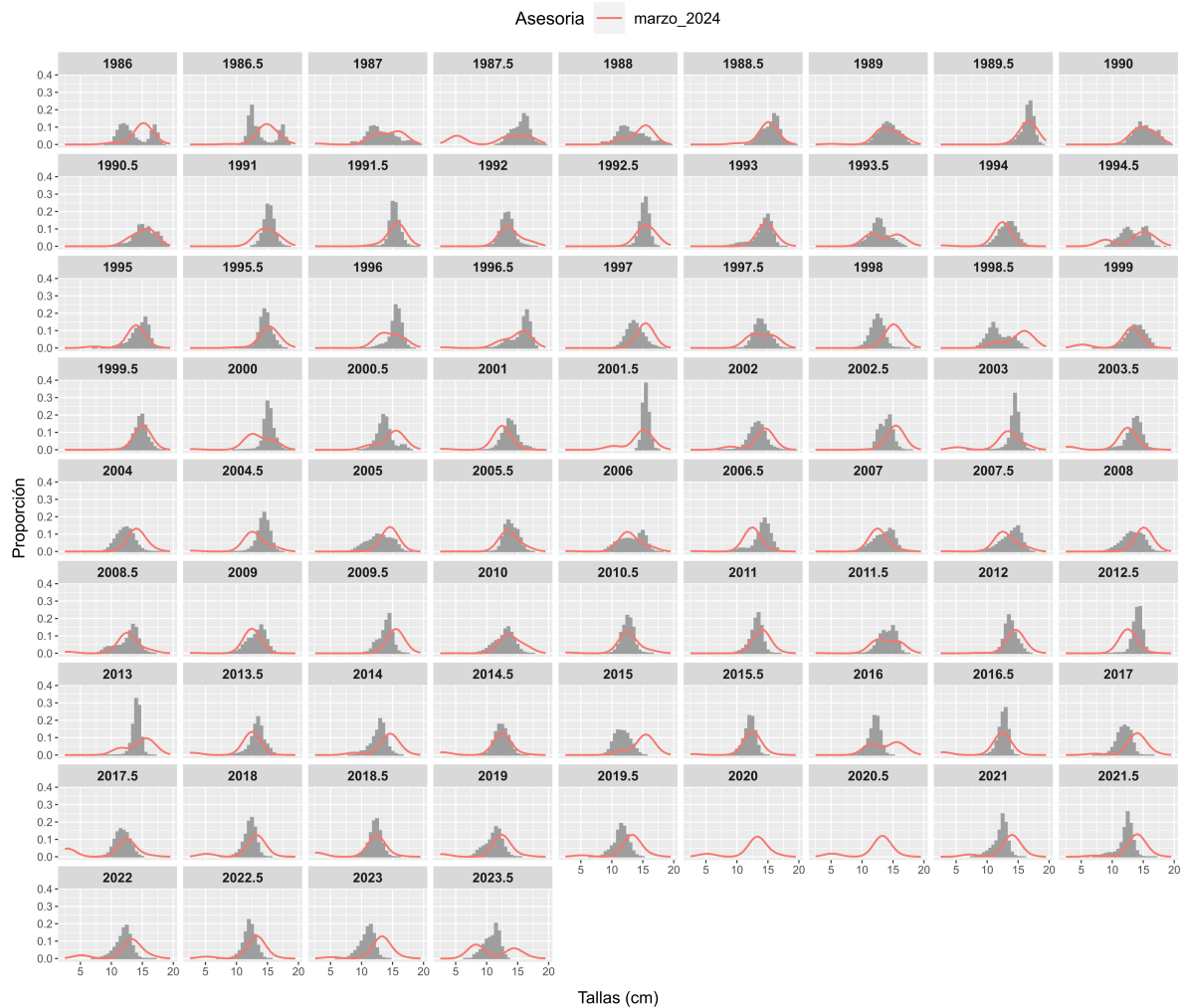


Figura 29. Ajuste del modelo a la información de las composiciones de tallas de las capturas de anchoveta para la flota peruana. Las barras gris corresponde a las observaciones y la línea continua roja a la estimada por el modelo.

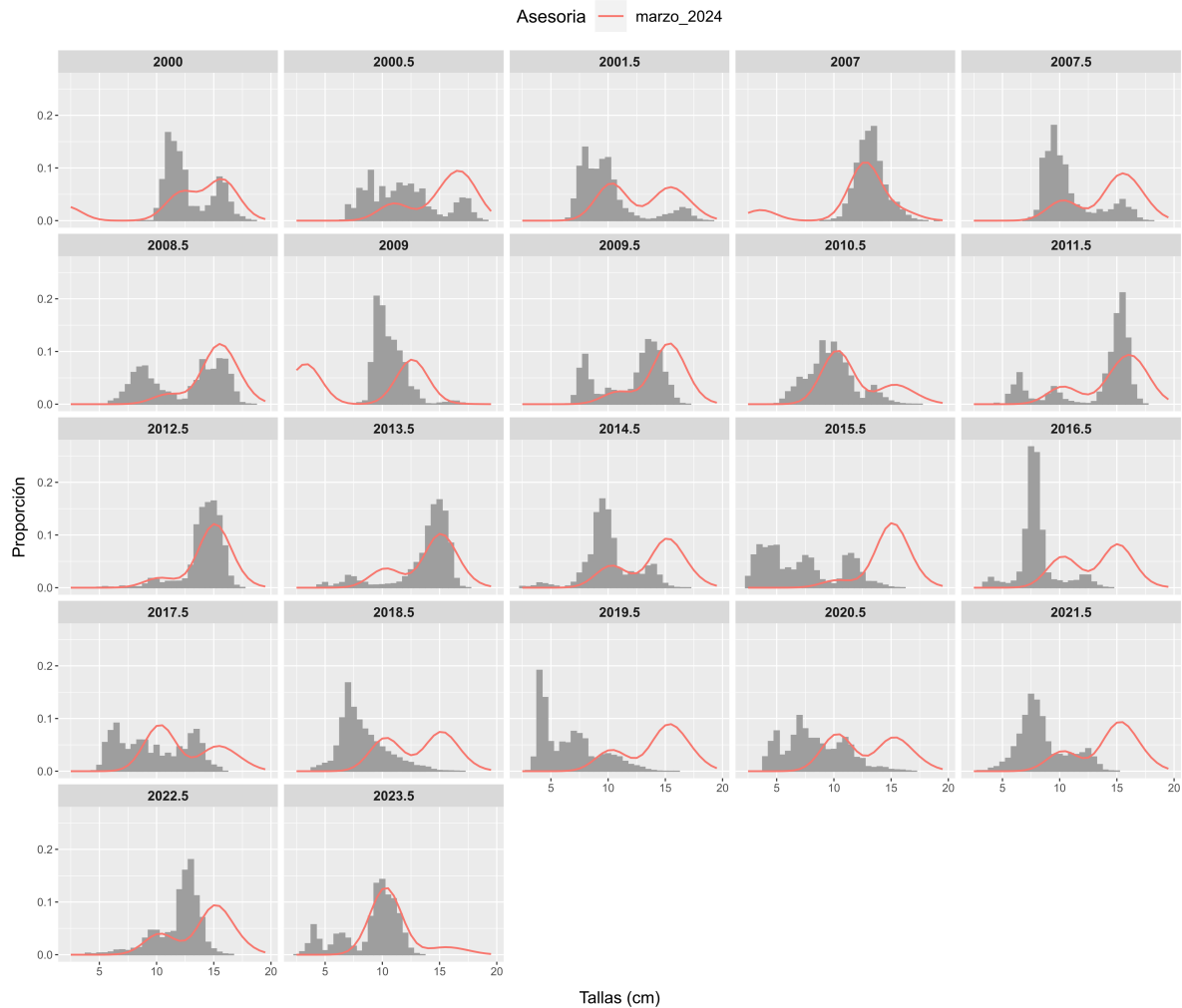


Figura 30. Ajuste del modelo a la información de las composiciones de tallas de los cruceros acústicos en el norte de Chile para la anchoveta. Las barras gris corresponde a las observaciones y la línea roja continua a la estimada por el modelo.

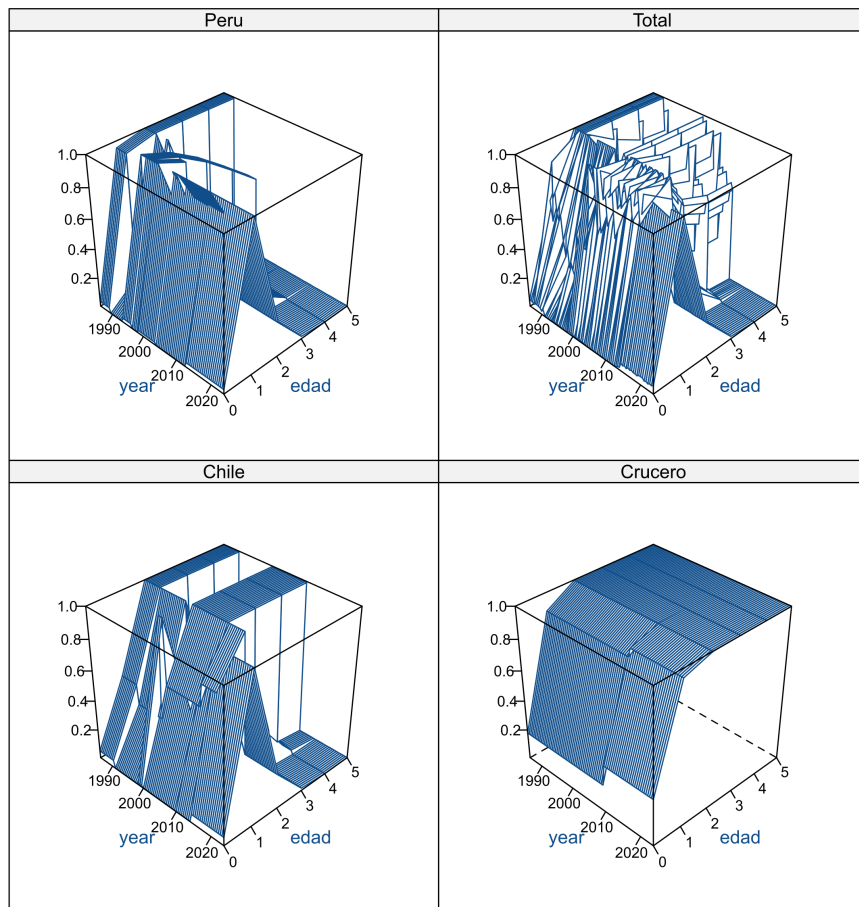


Figura 31. Bloques de selectividad por edades y años para la flota chilena, peruana y crucero acústico del norte de Chile en la evaluación del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.

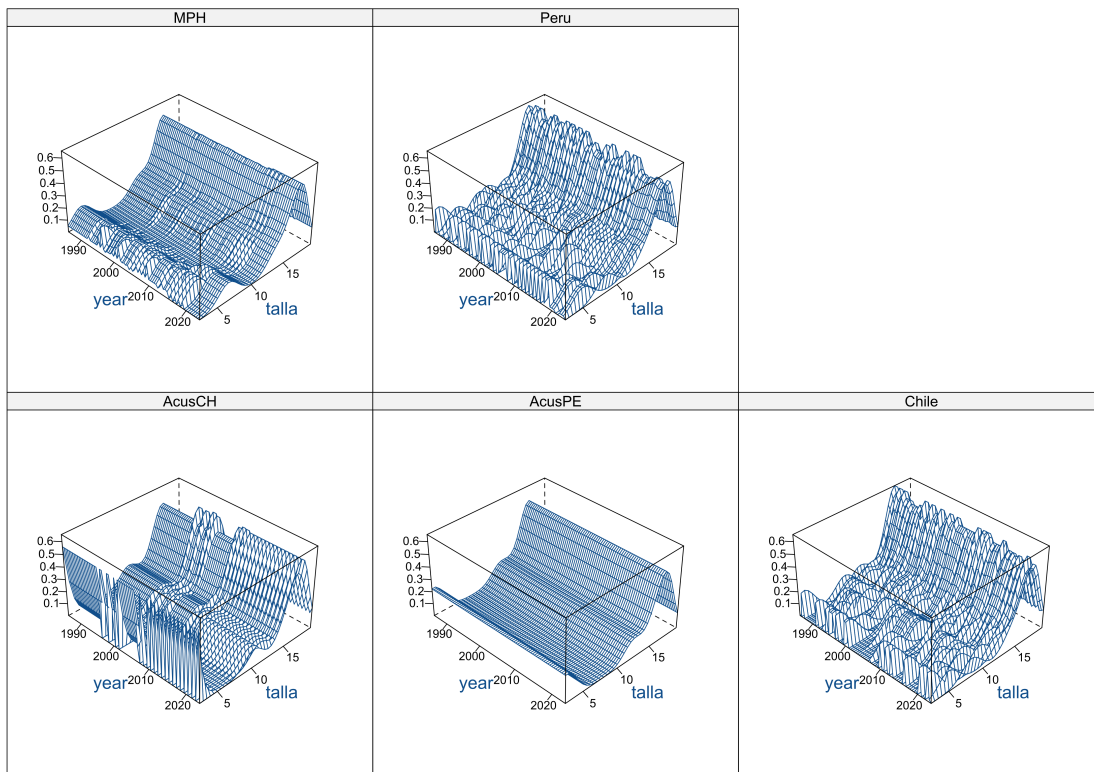


Figura 32. Representación del modelo de proporción de la talla a la edad de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile variable en el tiempo, salvo para el crucero acústico del sur de Perú.

Variables poblacionales

Las principales variables poblacionales biomasa total, biomasa desovante, razón del potencial reproductivo y reclutamientos se muestran en la **Figura 33**. Durante los semestre 1987.5, 1993.5, 2001.5, 2008.5, 2016.0 y 2023.5 se registraron los menores valores para la biomasa desovante de 337.9, 378.3, 389.5, 209.2, 393.9 y 513.1 mil toneladas, respectivamente. Para el segundo semestre del 2023 se estimó una biomasa desovante de 513.18 mil toneladas y la biomasa total en torno a las 874.2 mil toneladas (**Figura 33b**). De igual forma, la reducción de la razón del potencial reproductivo para este recurso señala que en los semestre 1987.5, 1993.5, 2001.5, 2008.5, 2016.0 y 2023.5 la biomasa reproductiva se redujo drásticamente hasta alcanzar un valor mínimo de 0.27, 0.30, 0.31, 0.17, 0.32 y 0.41, respectivamente. Y desde el año 2017 hasta la fecha ha variado en torno a un valor medio de 0.78 (± 0.21) (**Figura 33c**). La razón del potencial reproductivo al segundo semestre del 2023 señala un valor de 0.41, valor inferior al punto biológico de referencia objetivo de manejo.

Los bajos valores de biomasa desovante mencionados anteriormente fueron antecidos por caídas en los reclutamientos del semestre previo. Es decir, en los semestres 1987.0, 1993.0, 2001.0, 2008.0, 2015.5 y 2023.0 los reclutamientos estimados por el modelo registraron valores mínimos de 35.3, 100.7, 91.1, 75.1, 42.2 y 81.9 millones de individuos, respectivamente. Esta variabilidad del reclutamiento y los cambios en la amplitud sugieren un cambio en la señal desde el 2007, con un valor mínimo de 75.1 millones de individuos en el 2008.0 (**Figura 33d**). Desde el año 2008.5 hasta el 2022 los reclutamientos semestrales han alcanzado un valor medio de 237.9 (± 115) millones de individuos. Para el segundo semestre del 2023 se estimó un valor de 1.12 mil millones de individuos, este último registro está por sobre el valor medio R_0 y con un nivel de incertidumbre bastante alto, como se muestra en la **Figura 33d**. La incertidumbre para el reclutamiento se incrementa para los últimos años, alcanzando un valor del 30% y 28% para el primer y segundo semestre del 2023 reflejado en el coeficiente de variación (**Figura 34**). Sin perjuicio de lo anterior, los niveles de incertidumbre para las variables poblacionales parecen ser bastante razonables, reflejados en los coeficientes de variación cercanos al 19% para la biomasa desovante al último semestre de la evaluación. Se destaca que en general la medida de imprecisión es constante durante todo el período de estudio, alcanzando un valor promedio de 0.19 (± 0.1) para la biomasa desovante.

De igual modo, los desvíos de los reclutamientos semestrales respecto de su tendencia suavizada de largo plazo indican anomalías negativas desde el 2008.5 hasta el segundo semestre del 2019 (**Figura 35b**), y en el 2019.5 esta tendencia se revierte hacia anomalías positivas. Sin embargo, los valores semestrales en las desviaciones de los reclutamientos indican valores inferiores a cero en los semestres 2015.5, 2017.0, 2019.5, 2021.5, 2022.0, 2022.5 y 2023.0 (**Figura 35b**). Para el primer semestre del 2023 registró un valor de -0.99 y en el segundo semestre se elevó a 1.6, generando con ello una alta incertidumbre en la proyección del stock, para lo cual se debería aplicar una penalización para ajustar este valor. Cabe destacar, que, a nivel semestral, los reclutamientos registrados durante el segundo semestre han sido en promedio de mayor intensidad respecto de los registrados en el primer semestre (**Figura 35a**), esto se debe a que el reclutamiento del segundo semestre es el que sustenta las capturas del primer semestre, donde se alcanza la mayor proporción de la captura anual. Sin embargo, los reclutamientos registrados en el segundo semestre del 2021 y 2022 han sido menores a los registrados en el primer semestre.

La mortalidad por pesca ha sido variable en los últimos diez años, principalmente influenciada por la flota chilena (**Figura 35c**), que ha presentado valores más altos que la flota peruana, salvo por

algunos semestres. Durante el último período, las mortalidades estimadas presentan valores muy bajos para ambas flotas. Sin embargo, al final del período analizado ambas flotas han concentrado su explotación sobre individuos de 10 a 14 cm de longitud, lo que corresponde al grupo de individuos de medio y un año de edad y algunos pocos los individuos de un año-medio de edad (**Figura 35d**). La flota peruana captura ejemplares de menor tamaño que la flota chilena.

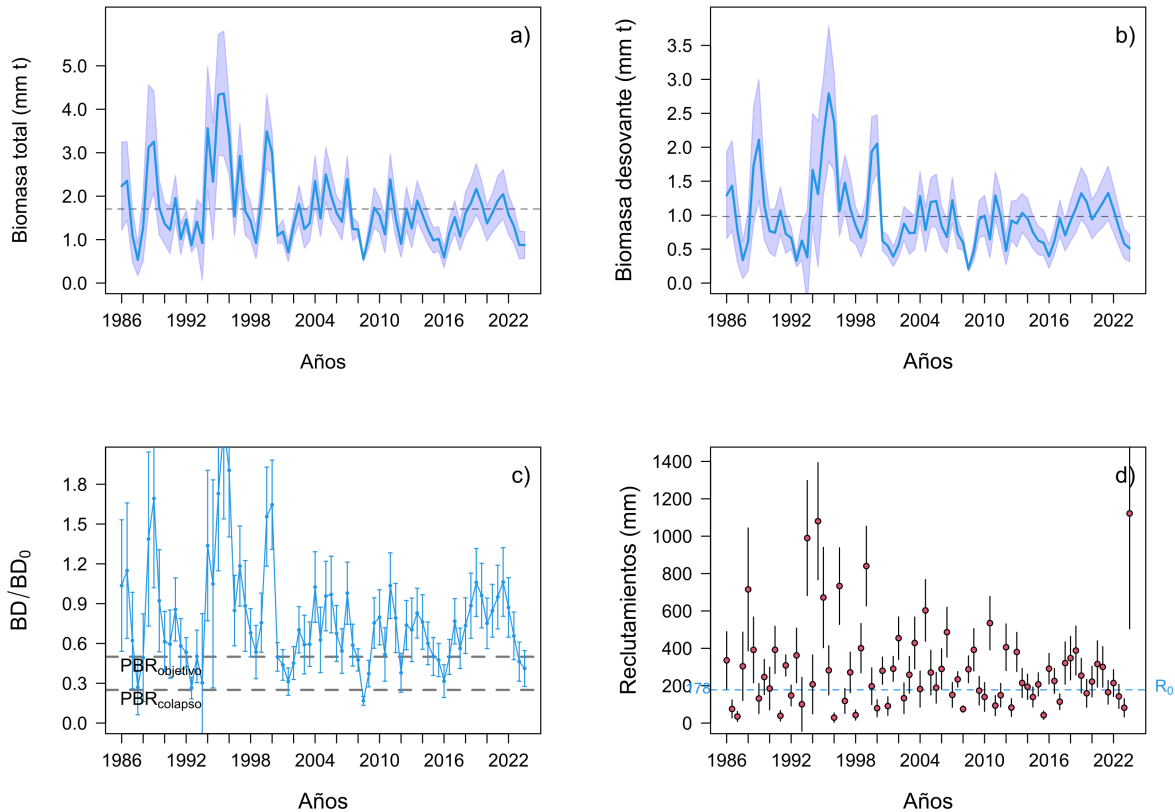


Figura 33. Biomasa total (a), biomasa desovante (b), razón del potencial reproductivo de largo plazo (c) y reclutamientos (d) para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. Las zonas en azul representan los intervalos de confianza al 95%. En (a) y (b) las líneas horizontales segmentadas representan el valor medio estimado. En (c) las líneas segmentadas representan los niveles objetivo y de agotamiento (colapso). En (c) y (d) las líneas verticales representan los intervalos de confianza al 95%. Y en (d) la línea segmentada representa el valor medio estimado para R_0 .

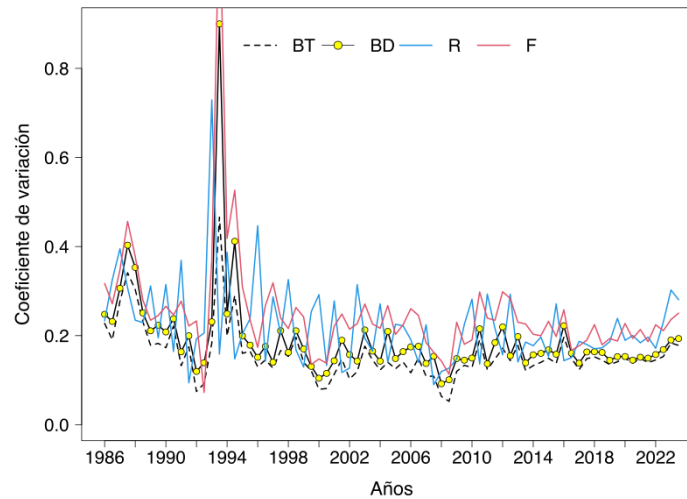


Figura 34. Coeficiente de variación de las estimaciones de biomasa total (BT), biomasa desovante (BD), reclutamientos (R) y la mortalidad por pesca (F) de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.

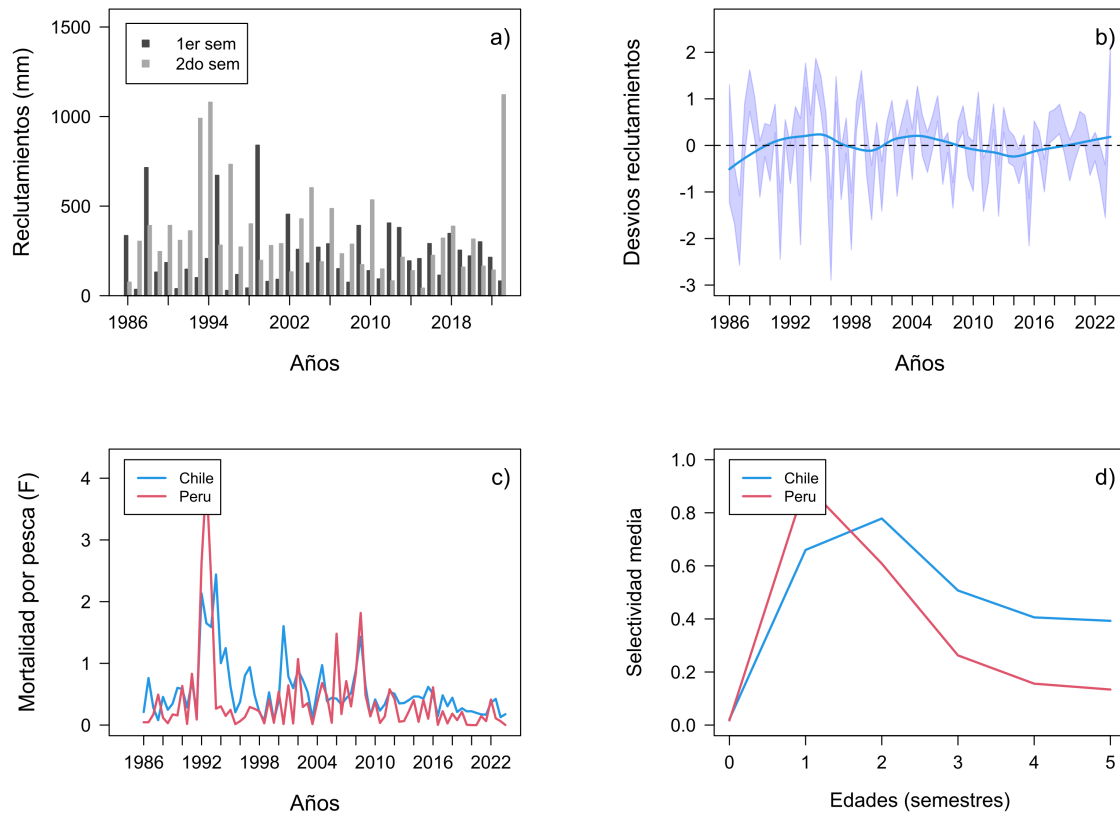


Figura 35. Reclutamientos semestrales (a), desvíos de los reclutamientos (b), mortalidades por pesca (c) y selectividad media (d) para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. En (b) la línea continua representa la tendencia de largo plazo.



Tabla 15. Variables poblacionales en base semestral para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. N es la abundancia total, R es el reclutamiento, C es la captura estimada, BT es la biomasa total, BD es la biomasa desovante, RPR es la reducción del potencial reproductivo, F_T es la mortalidad por pesca total, BD/BD_0 es la reducción de largo plazo, BD/BD_{RMS} es la razón entre la biomasa desovante y su punto biológico de referencia y F/F_{RMS} es la razón de la mortalidad por pesca y su punto biológico de referencia.

Año	N(#)	R(#)	C(#)	BT	BD	RPR	F_T	$\frac{BD}{BD_0}$	$\frac{BD}{BD_{RMS}}$	$\frac{F}{F_{RMS}}$
2002.0	560	455	63	1320	564	0.53	5.72	0.45	0.90	2.42
2002.5	289	133	52	1817	876	0.51	3.79	0.70	1.41	1.22
2003.0	328	259	23	1243	737	0.42	2.98	0.59	1.18	1.11
2003.5	526	429	5	1378	741	0.55	0.53	0.59	1.19	0.13
2004.0	355	182	57	2349	1279	0.74	3.27	1.03	2.05	1.11
2004.5	691	603	44	1488	781	0.45	5.67	0.63	1.25	1.97
2005.0	479	270	68	2500	1193	0.56	2.63	0.96	1.91	1.06
2005.5	314	189	23	2004	1208	0.51	2.09	0.97	1.94	0.44
2006.0	382	290	50	1616	842	0.48	4.62	0.68	1.35	2.31
2006.5	589	486	20	1409	677	0.45	1.84	0.54	1.09	0.58
2007.0	336	151	75	2396	1220	0.62	3.27	0.98	1.96	1.41
2007.5	308	234	22	1246	732	0.40	2.92	0.59	1.17	0.95
2008.0	166	75	46	1233	593	0.43	5.60	0.48	0.95	2.16
2008.5	321	288	23	556	209	0.20	9.82	0.17	0.34	4.01
2009.0	488	392	36	1075	465	0.44	3.78	0.37	0.75	1.35
2009.5	318	174	18	1736	940	0.62	0.96	0.75	1.51	0.37
2010.0	235	140	30	1556	994	0.65	1.53	0.80	1.59	0.98
2010.5	598	535	7	1123	644	0.54	0.54	0.52	1.03	0.29
2011.0	289	94	39	2386	1291	0.78	0.94	1.04	2.07	0.57
2011.5	225	149	29	1499	987	0.59	2.14	0.79	1.58	1.37
2012.0	466	406	20	901	472	0.44	1.80	0.38	0.76	1.15
2012.5	228	83	24	1716	920	0.66	0.81	0.74	1.48	0.44
2013.0	443	381	12	1258	877	0.63	0.81	0.70	1.41	0.50
2013.5	356	215	36	1897	1033	0.73	1.12	0.83	1.66	0.79
2014.0	294	194	33	1576	949	0.61	1.46	0.76	1.52	1.08
2014.5	220	139	20	1242	749	0.54	0.67	0.60	1.20	0.63
2015.0	270	207	23	982	626	0.58	1.08	0.50	1.00	1.01
2015.5	120	42	24	1017	592	0.58	0.94	0.47	0.95	0.88
2016.0	319	291	16	588	394	0.47	1.45	0.32	0.63	1.35
2016.5	323	225	9	1158	621	0.69	0.19	0.50	1.00	0.18
2017.0	217	114	29	1519	956	0.78	0.92	0.77	1.53	0.86
2017.5	378	321	11	1072	703	0.62	0.44	0.56	1.13	0.40
2018.0	468	348	39	1608	915	0.73	0.82	0.73	1.47	0.76
2018.5	523	388	22	1842	1103	0.68	0.38	0.88	1.77	0.35
2019.0	416	254	36	2167	1321	0.74	0.63	1.06	2.12	0.59
2019.5	279	160	13	1831	1198	0.69	0.30	0.96	1.92	0.28
2020.0	308	222	9	1374	937	0.73	0.29	0.75	1.50	0.27
2020.5	414	316	11	1617	1055	0.80	0.26	0.85	1.69	0.24
2021.0	433	301	21	1891	1184	0.84	0.41	0.95	1.90	0.39
2021.5	298	165	15	2047	1326	0.80	0.30	1.06	2.13	0.28
2022.0	305	214	26	1579	1086	0.77	1.01	0.87	1.74	0.94
2022.5	231	143	21	1312	819	0.67	0.70	0.66	1.31	0.65
2023.0	148	82	6	880	577	0.65	0.25	0.46	0.93	0.23
2023.5	1168	1122	10	874	513	0.74	0.23	0.41	0.82	0.22

5.1.2 Desempeño de modelo de evaluación

5.1.2.1 Análisis de residuales

En la **Figura 36** se entregan las gráficas de los residuales, qqplot y autocorrelación para las diferentes series de índices de abundancia, en general el modelo de evaluación es capaz de reproducir en forma muy adecuada la biomasa acústica de Perú, la biomasa acústica de Chile y la biomasa desovante de Chile, debido principalmente a que los residuales se alinean a la línea recta (supuesto de linealidad en los datos es correcto) (panel intermedio de la **Figura 36**). Además, la gráfica de autocorrelación para los residuales muestran que no hay autocorrelación para diferentes retrasos temporales (panel derecho de la **Figura 36**), y la prueba de autocorrelación de Durbin-Watson para los residuales en función del tiempo indican un valor de 2.25 ($P=0.793$), 2.01 ($P=0.418$) y 2.53 ($P=0.888$) para el crucero acústico del sur de Perú, crucero acústico del norte de Chile y el crucero de huevos de Chile, respectivamente. Estos resultados indican que los residuales no están autocorrelacionados y que el supuesto de normalidad es correcto.

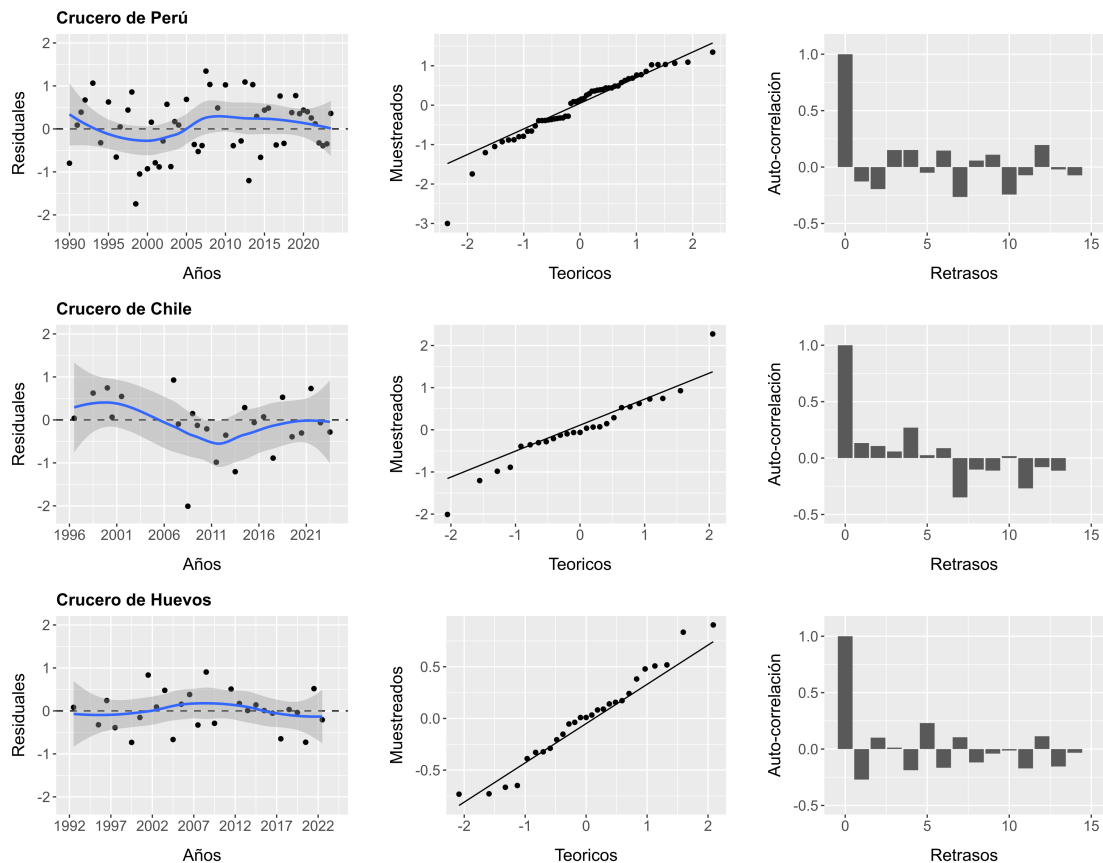


Figura 36. Gráficas de los residuales en escala logarítmica (residuales en función del tiempo, qqplot y función de autocorrelación) para la biomasa total acústica del sur de Perú (panel superior), para la biomasa total acústica de Chile (panel intermedio) y la biomasa desovante del crucero de huevos del norte de Chile (panel inferior). La línea azul corresponde al suavizador loess de los residuales en función del tiempo y la sombra gris su intervalo de confianza al 95%.

El análisis de los residuales para las estructuras de tamaños de la flota chilena son mostrados en la **Figura 37**. Se observa al comienzo del período de estudio que el modelo tiende a subestimar las tallas entre 15 a 12 cm de longitud y sobreestimar este rango. Una característica común que muestran los residuales es a sobreestimar las tallas mayores a 10 cm (color azul) durante los eventos el El Niño y a contar desde mediados del 2008 se observa una tendencia creciente a sobreestimar las tallas de un rango de 8 a 15 cm de longitud (color azul), alcanzando al final del período de estudio, una sobreestimación para las tallas mayores a 8 a 9 cm de longitud (panel superior izquierdo de la **Figura 37**). Esto se debe a la alta presencia de juveniles en las capturas producto de las condiciones ambientales que presenta el área de estudio. El diagrama qqplot corrobora el supuesto de linealidad, es decir, que el supuesto de normalidad y varianza es adecuado para los datos analizados. Salvo para las altas proporciones que se alejan de la linealidad, esto se debe a que el modelo captura las formas generales de las estructuras de tamaños, pero no logra ajustar las altas proporciones (formas puntiagudas) que se observan en las estructuras de tamaños (panel inferior izquierdo de la **Figura 37**). La función de autocorrelación cae rápidamente para los diferentes retrasos, más aún en la diagonal de la matriz tallas-años y decae menos rápido en las columnas (años), debido a que la correlación es mayor a medida que se avanza por el vector de tallas, pero no así en las filas (tallas) donde la estructura de tamaños cambia rápidamente de un año a otro (panel superior derecho de la **Figura 37**). Y finalmente, se muestran los 2660 residuales totales provenientes de la matriz tallas-años variando en torno a cero.

Para la flota peruana se observa un marcado período a sobreestimar las tallas (color azul) durante gran parte del período de análisis, principalmente a los eventos El Niño y a subestimar las tallas (color rojo) posterior al evento El Niño (La Niña). Sin embargo, posterior al 2010 se observa una tendencia creciente a sobreestimar las tallas entre el rango de 8 a 13 cm de longitud (panel superior izquierdo de la **Figura 38**). Al final del período de estudio el modelo tiende a sobreestimar las tallas mayores a 8 a 9 cm de longitud, producto de la presencia de juveniles en las capturas producto de las condiciones ambientales en la zona de estudio. El diagrama qqplot corrobora el supuesto de linealidad, es decir, que el supuesto de normalidad y varianza es adecuado para los datos analizados. Salvo para las altas proporciones que se alejan de la linealidad, esto se debe a que el modelo no logra ajustar las altas proporciones (formas puntiagudas) que se observan en las estructuras de tamaños (panel inferior izquierdo de la **Figura 38**). La función de autocorrelación cae rápidamente para la diagonal y filas de la matriz tallas-años para los diferentes retrasos, y decae menos rápido en las columnas (años), debido a que la correlación es mayor a medida que se avanza por el vector de tallas, pero no así en las filas (tallas) donde la estructura de tamaños cambia rápidamente de un año a otro (panel superior derecho de la **Figura 38**). Y finalmente, se muestran los 2660 residuales totales provenientes de la matriz tallas-años variando en torno a cero.

Y para el crucero acústico del norte de Chile se observa un período al principio de la serie a subestimar las tallas menores a 6 cm de longitud y sobreestimar las tallas mayores, y en algunos años el ajuste es bastante adecuado, con bajo nivel de residuales (2000, 2007, 2008, 2010, 2013). Sin embargo, desde el año 2015 se observa un patrón claro a subestimar las tallas menores debido a la alta presencia de juveniles que se han observado al final de cada año. Este comportamiento se debe a que el modelo, al final de cada semestre, esta prediciendo individuos de 12.5 a 17.5 cm de longitud total. En el año 2022, el crucero acústico de Chile no observó juveniles, pero sí de individuos de 10 a 15 cm de longitud. Los residuales para las tallas menores a 14.0 cm fueron positivos y de las tallas mayores a 14.5 cm fueron negativas, ya que el modelo sobreestima este rango de tallas. Y en el 2023, dada la alta presencia de juveniles, el modelo tiende a subestimar

este rango de tallas, y presenta muy bajos residuales en el rango de los 10 cm de longitud, donde se encuentra la moda principal (panel superior izquierdo de la **Figura 39**). El diagrama qqplot muestra un leve desplazamiento por sobre el supuesto de linealidad, con un alejamiento mayor para las altas proporciones (panel inferior izquierdo de la **Figura 39**). Sin embargo, la función de autocorrelación cae rápidamente para la diagonal y filas de la matriz tallas-años para los diferentes retrasos, y decae menos rápido en las columnas (años), debido a que la correlación es mayor a medida que se avanza por el vector de tallas, pero no así en las filas (tallas) donde la estructura de tamaños cambia rápidamente de un año a otro (panel superior derecho de la **Figura 39**). Y finalmente, se muestran los 2660 residuales totales provenientes de la matriz tallas-años variando en torno a cero, con un cantidad de residuales mayores a dos.

Para las series de datos de las capturas (desembarques), el modelo de evaluación reproduce en forma muy adecuada las capturas observadas para Chile y Perú, lo cual se ve reflejado en que los residuales no presenta una tendencia temporal, el suavizador loess sugiere una tendencia en torno a cero (panel izquierdo de la **Figura 40**). Esto se ve reflejado en los diagramas qqplot en que los residuales se alinean a la línea recta (supuesto de linealidad en los datos es correcto) (panel intermedio de la **Figura 40**). Y la gráfica de autocorrelación para los residuales muestran que no hay autocorrelación para diferentes retrasos temporales (panel derecho de la **Figura 40**).

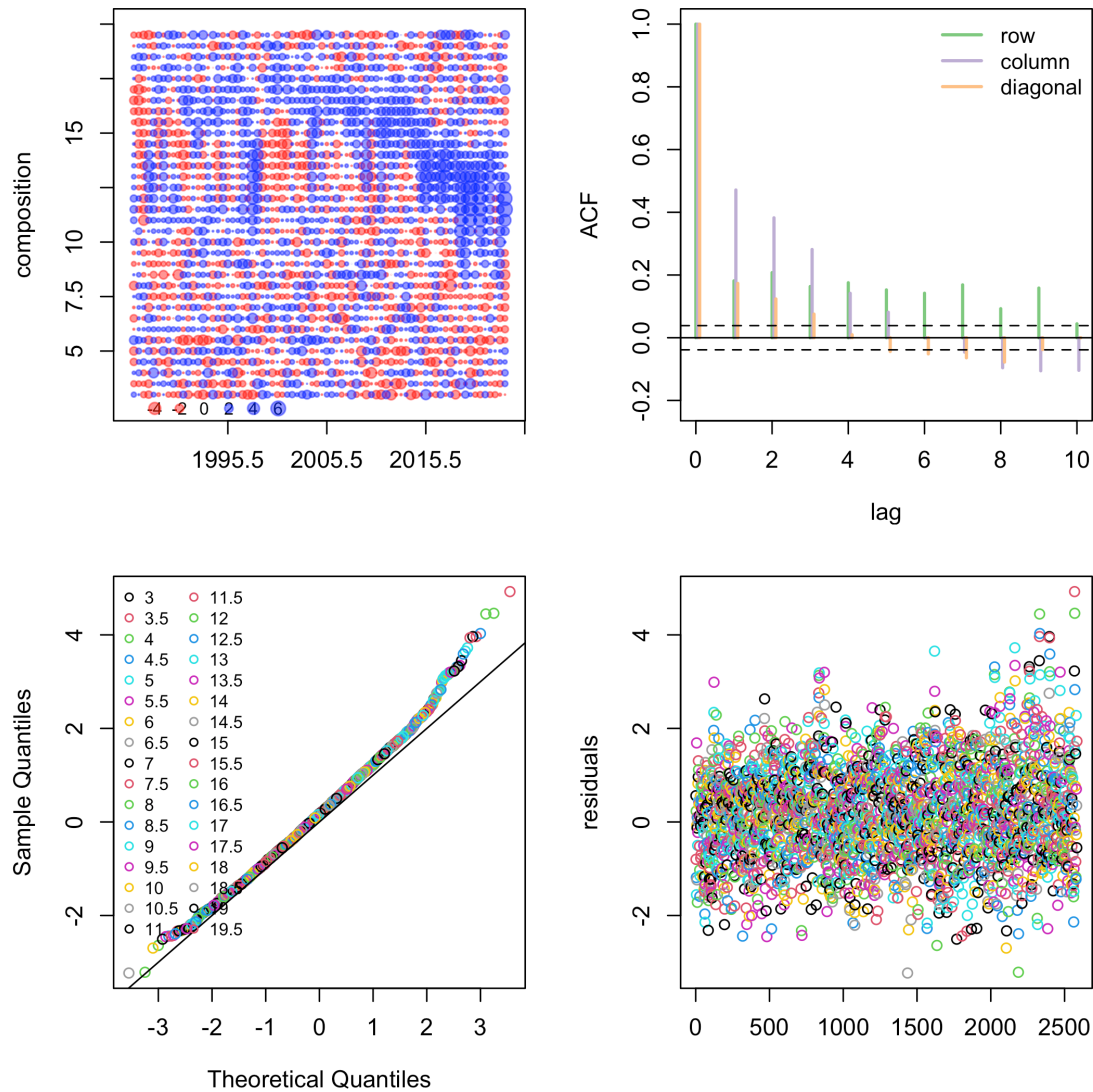


Figura 37. Residuales para el ajuste a las estructuras de tamaños para la flota chilena. Los círculos azules indican residuos positivos y los círculos rojos indican residuos negativos (panel superior izquierdo). En el panel superior derecho se muestra la función de autocorrelación, en el panel inferior izquierdo se muestra los qqplot y en el panel inferior derecho se muestra la nube de residuales.

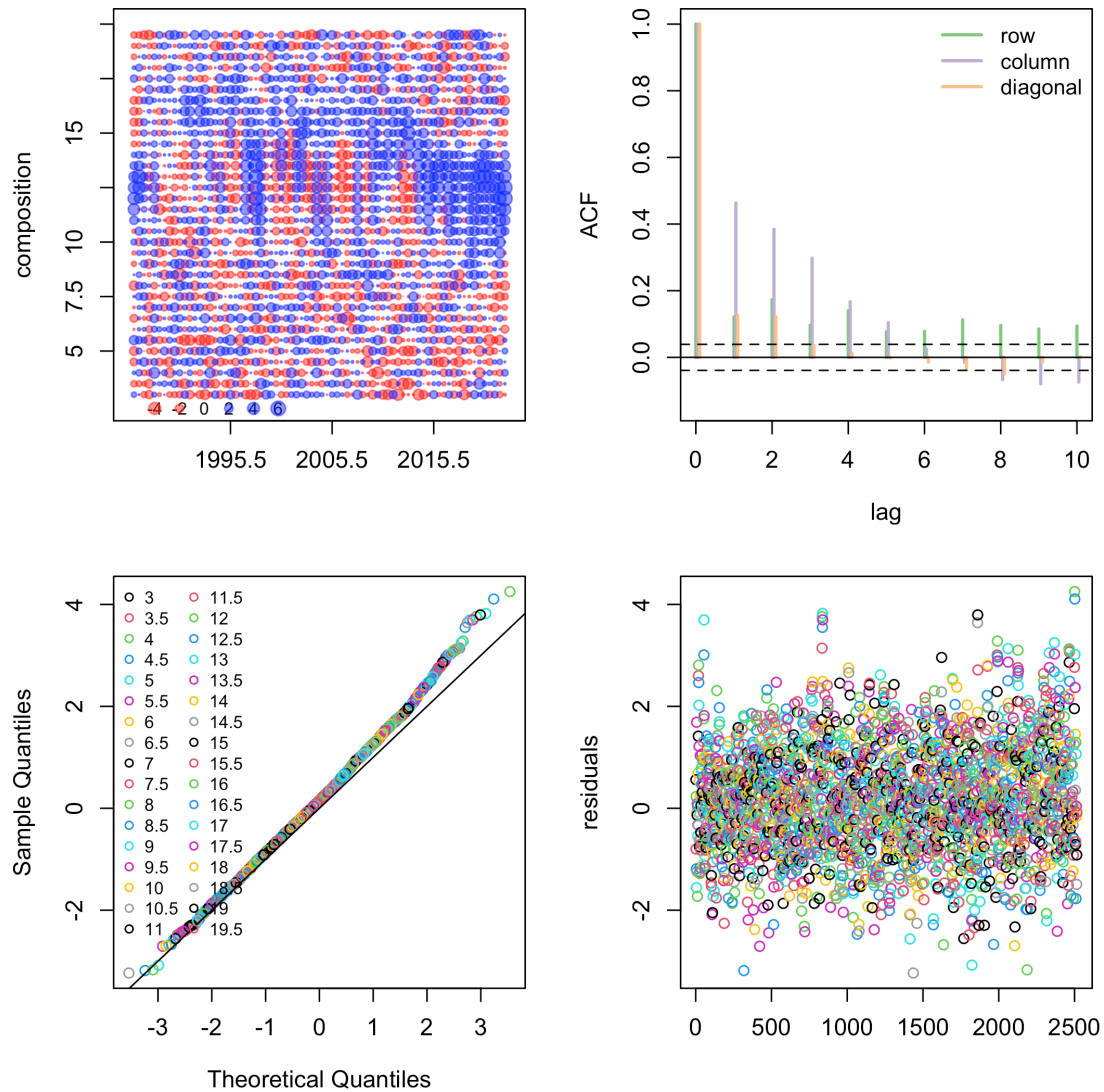


Figura 38. Residuales para el ajuste a las estructuras de tamaños para la flota peruana. Los círculos azules indican residuos positivos y los círculos rojos indican residuos negativos (panel superior izquierdo). En el panel superior derecho se muestra la función de autocorrelación, en el panel inferior izquierdo se muestra los qqplot y en el panel inferior derecho se muestra la nube de residuales.

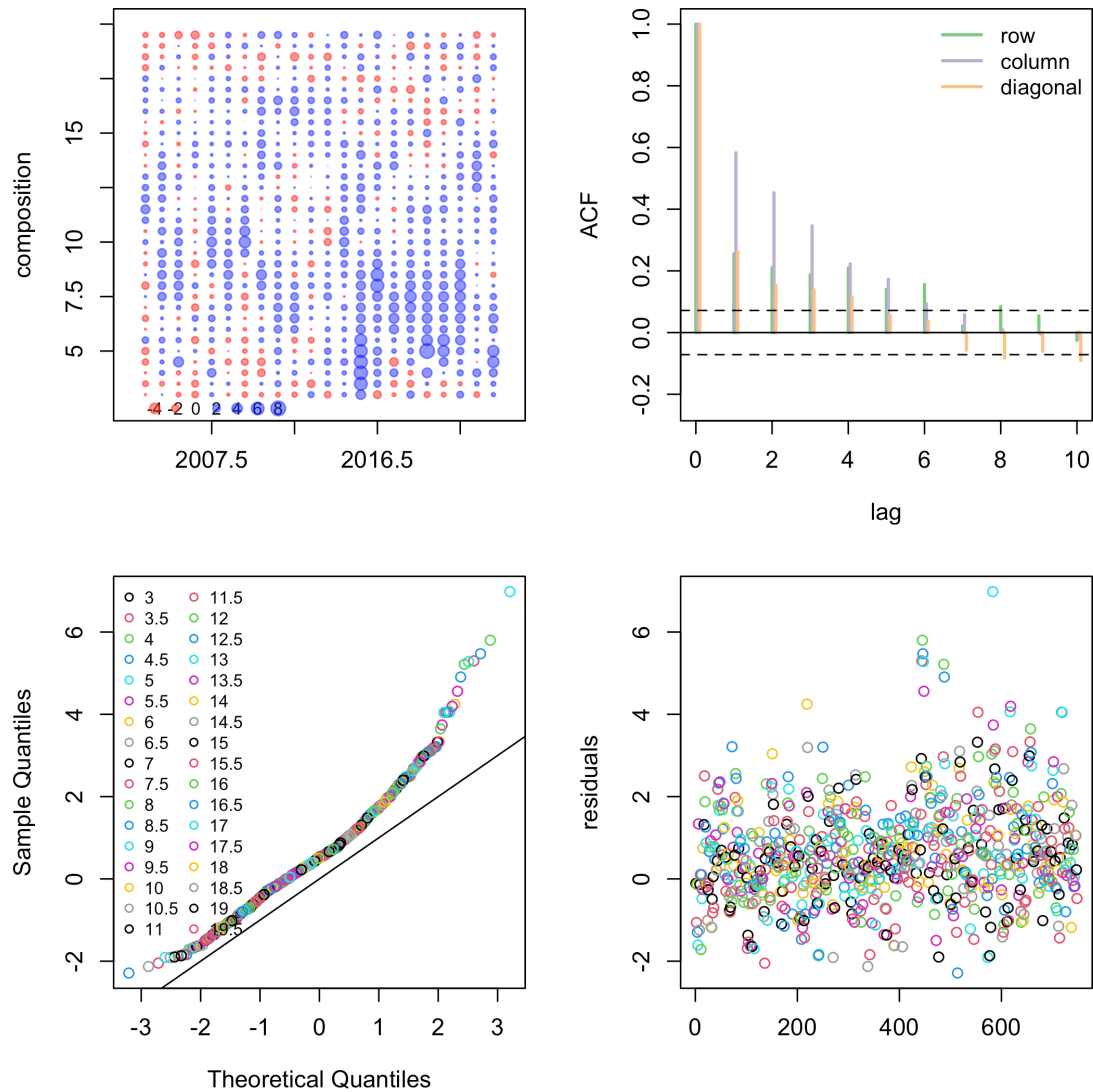


Figura 39. Residuales para el ajuste a las estructuras de tamaños para el crucero acústico de Chile. Los círculos azules indican residuos positivos y los círculos rojos indican residuos negativos (panel superior izquierdo). En el panel superior derecho se muestra la función de autocorrelación, en el panel inferior izquierdo se muestra los qqplot y en el panel inferior derecho se muestra la nube de residuales.

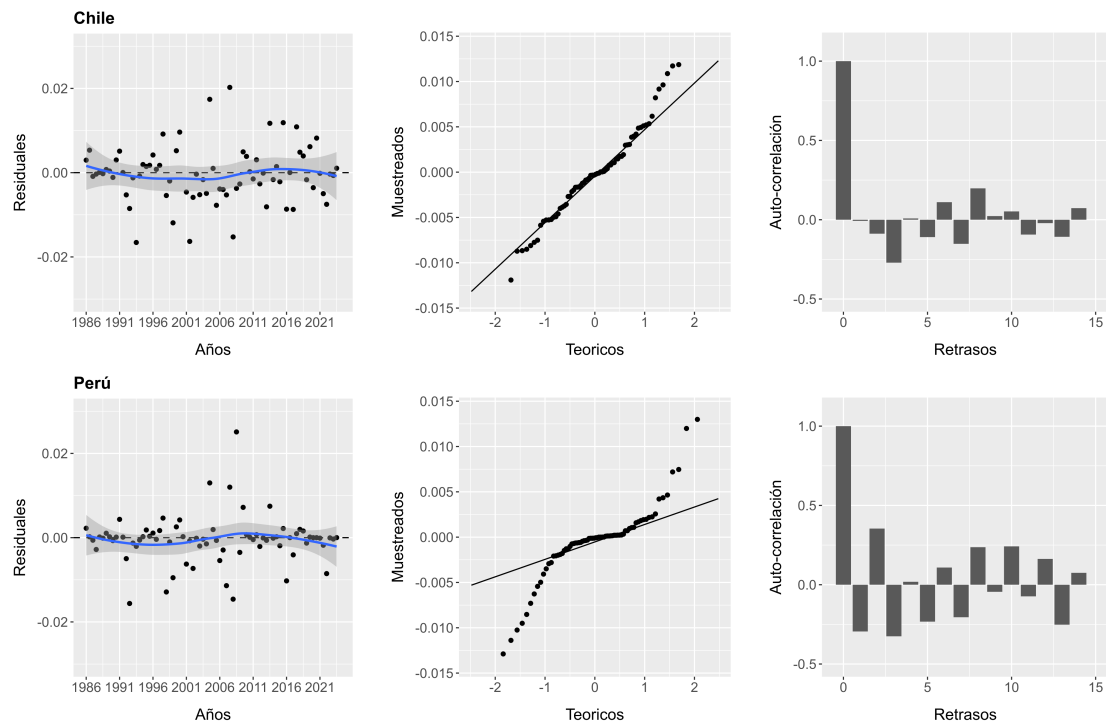


Figura 40. Gráficas de los residuales en escala logarítmica (residuales en función del tiempo, qqplot y función de autocorrelación) para los desembarques de Chile (panel superior) y Perú (panel inferior). La línea azul corresponde al suavizador loess de los residuales en función del tiempo y la sombra gris su intervalo de confianza al 95%.

5.1.2.2 Análisis de retrospectivo

En la **Figura 41** se presenta el análisis retrospectivo para la biomasa desovante de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile, la cual se llevó a cabo mediante la eliminación sistemática de los últimos 5 años de las series de datos, secuencialmente por semestre. Los resultados muestran variaciones a sobreestimar la biomasa desovante al descuento del tercer, cuarto, séptimo y noveno semestre, es decir, 2022.0, 2021.5, 2020.0 y 2019.0, respectivamente. Las diferencias en los niveles de biomasa desovante resultan ser marginales para el resto de los descuentos (< 0.35). Los cambios en las estimaciones de abundancia en que se producen las mayores diferencias es producto de las altas estimaciones de las abundancias totales hechas en los cruceros realizados en el sur de Perú y norte de Chile durante los años 2019-2021 y además que gran parte de estas estimaciones ($> 70\%$) de la abundancia de la población corresponde al grupo de edad 0 semestre. Otra de las posibles causas de este patrón retrospectivo es el cambio en la proporción de las capturas (Legault, 2009), ya que desde el 2019 se vienen registrando capturas semestrales muy bajas para el sur del Perú, y en el año 2020 no se registro captura para esta flota. Estos dos elementos (capturas y biomasa acústica) podrían estar generando este patrón retrospectivo. Es difícil dilucidar las causas de este patrón, pero varias causas podrían existir, por ejemplo, cambios en las condiciones ambientales (El ENSO) que afectan la capturabilidad, cambios en el crecimiento de los individuos, la alta presencia de juveniles en las capturas, una mortalidad natural variable en el tiempo o cambios en la selectividad de la flota o del crucero (Legault, 2009).

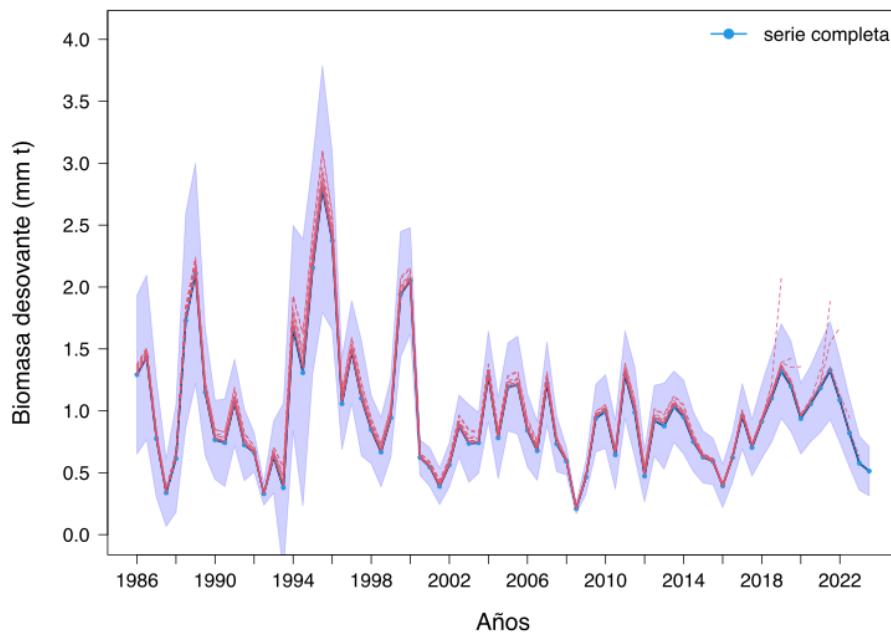


Figura 41. Análisis retrospectivo para los últimos nueve semestres de la biomasa desovante para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. La sombra en azul representa el intervalo de confianza al 95% para la serie completa y la línea azul representa la estimación media para la serie completa. Las líneas segmentadas en rojo representan las biomasa desovantes estimadas al descuento de información.

En la **Figura 42** se muestra el estadístico de rho de Mohn para la biomasa desovante, el cual presenta diferencias significativas (> 0.35) en su valor para los semestres 2022.0, 2021.5, 2020.0 y 2019.0. Estas diferencias observadas en los años 2020 y 2019 es producto de la altas estimaciones de abundancia por los cruceros acústicos realizado en el sur de Perú y en el norte de Chile. Por otro parte, entre los años 2019 y 2020 se registran las capturas más bajas durante los últimos años, comparable a las capturas semestrales ocurridas en el 2016.5 (104.5 ton) y 2017.5 (181.6 ton). Durante los últimos nueve semestres de descuento se registró un valor medio de $0.29 (\pm 0.21)$, es decir, la biomasa desovante estimada por el modelo de evaluación en el segundo semestre del 2023 podría estar sobre-estimada en un 29%. En la **Figura 43** se muestra el estadístico de rho de Mohn para los reclutamientos, el cual presenta diferencias significativas en su valor para los últimos nueve semestres, como 3.25, 4.13, 0.93, 8.11, 2.46 y 2.95 para los semestres 2022.0, 2021.5, 2021.0, 2020.0, 2019.5 y 2019.0, respectivamente. Durante los últimos nueve semestres de descuento se registró un valor medio de $2.55 (\pm 2.53)$, es decir, el reclutamiento estimado por el modelo de evaluación en el segundo semestre del 2023 podría estar sobre-estimados en un 255% (**Tabla 15**).

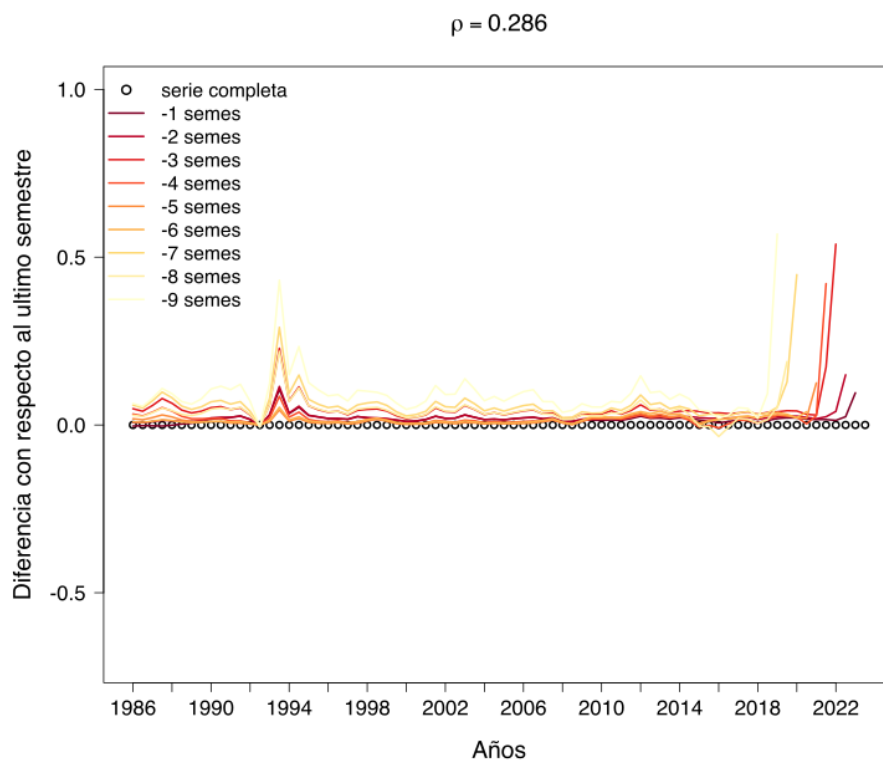


Figura 42. Patrón retrospectivo para los últimos nueve semestres de rho de Mohn para la biomasa desovante como una diferencia del último año de la evaluación de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.

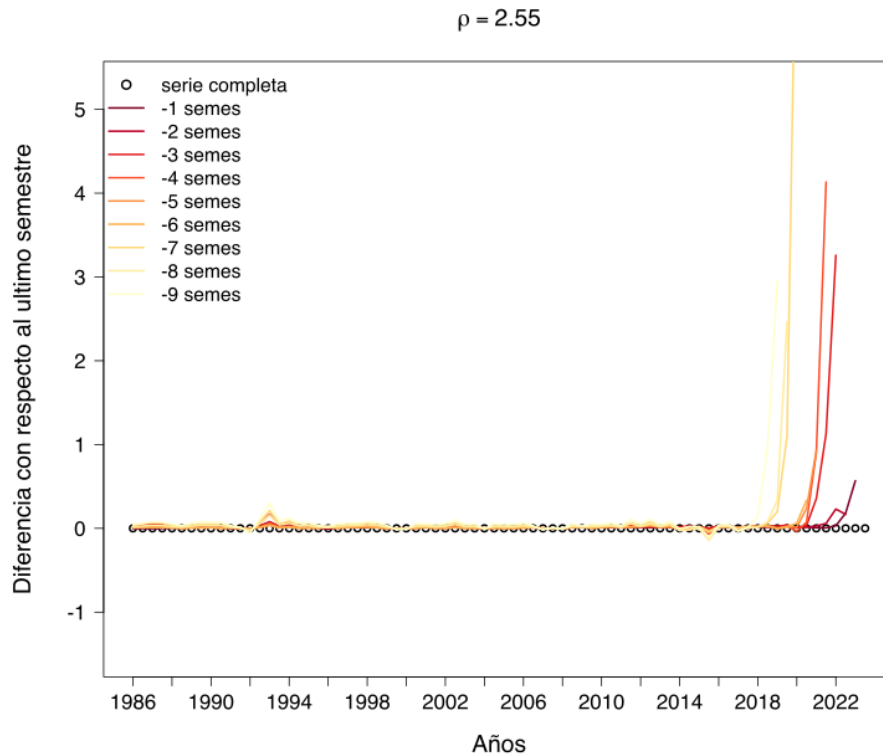


Figura 43. Patrón retrospectivo para los últimos nueve semestres de rho de Mohn para los reclutamientos como una diferencia del último año de la evaluación de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.

5.1.2.3 Perfil de verosimilitud

En la **Figura 44** se muestra el perfil de verosimilitud para el modelo de evaluación de stock de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile, la estimación de máxima verosimilitud del parámetro de escala es función de dos grupos de componentes de la verosimilitud que están en contradicción entre ellos. Los datos de frecuencia de tallas para ambas flotas comerciales (chilena y peruana) y la biomasa total acústica del sur de Perú tienen valores mínimos al valor de R_0 (177.77), mientras que la biomasa total acústica y su estructura de tallas para el norte de Chile alcanzan sus valores mínimos a valores superiores del valor de R_0 .

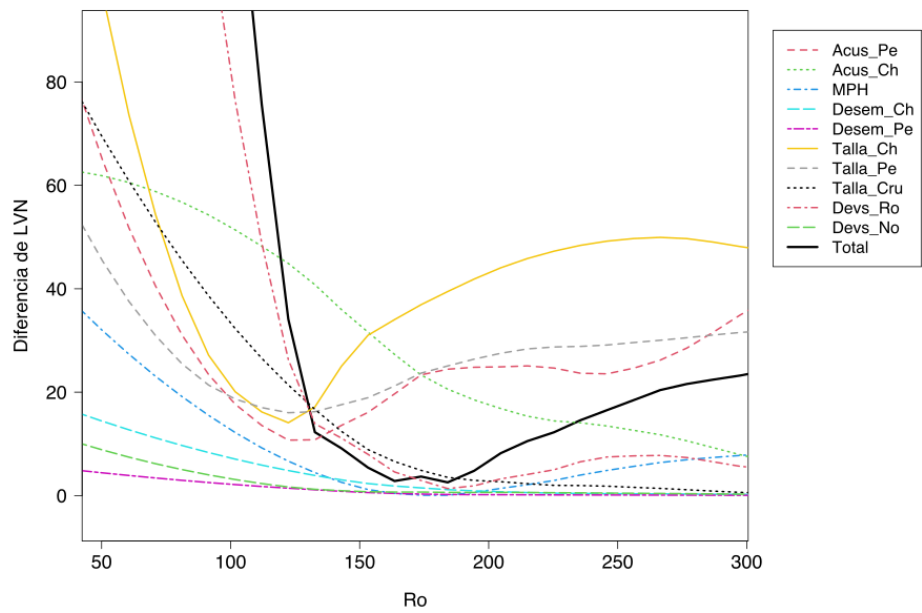


Figura 44. Perfil de verosimilitud del parámetro de escala global $\log R_0$ para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.

5.2 Objetivo específico 2

“Establecer el estatus actualizado de estos recursos, sobre la base de sus principales indicadores estandarizados de estado y flujo, incorporando, cuantificando y propagando la incertidumbre subyacente a la pesquería.”

5.2.1 Estatus

La **Figura 45** muestra la proporción de reducción de la biomasa desovante por recluta (BDPR) a distintos niveles de mortalidad por pesca (F) respecto de la biomasa desovante por recluta virginal. Se entrega el valor de la mortalidad por pesca objetivo al segundo semestre del 2022, definido por el Comité Científico Técnico en el año 2014 ($F_{55\%BDPR0} = 0.82$) del que se destaca su alta variabilidad en el tiempo, principalmente durante la década de los 90, (**Figura 45b**), con un valor promedio de 1.14 y un coeficiente de variación del 47%, influenciada particularmente por las variaciones en el patrón de explotación (**Figura 45c**). A manera de referencia la biomasa desovante virginal se ha estimado en 1.246 millones de toneladas (± 78 mil toneladas), de manera que en base a lo establecido por el Comité Científico Técnico de considerar para este recurso como proxy de la biomasa al rendimiento máximo sostenible ($50\%BD_0$), el valor de referencia asociado a este criterio es de 623 mil toneladas.

La condición de explotación de la población de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile se evalúa respecto de la condición virginal, la cual se estima a partir del reclutamiento virginal o promedio de largo plazo bajo condiciones de no explotación. El análisis de esta razón ($RPR_{lp} = BD/BD_0$) y su intervalo de confianza al 95% se muestra en la **Figura 46**, esta figura muestra que durante los semestres 1987.5, 1993.5, 2001.5, 2008.5, 2016.0 y 2023.5 esta razón alcanzó valores por debajo del punto biológico objetivo de manejo pesquero, con valores de 0.27, 0.30, 0.31, 0.17, 0.31 y 0.41 respectivamente. Y desde mediados del año 2016 hasta la fecha ha variado en torno a un valor de 0.76 (± 0.21), valor por sobre al punto biológico objetivo de manejo pesquero. Considerando los PBR mencionados anteriormente, la mortalidad por pesca muestra un patrón fluctuante desde mediados del 1992, en varios períodos se registran valores por sobre el F_{RMS} y otros períodos por debajo del F_{RMS} . Sin embargo, desde el 2010 a la fecha los valores se ubican por debajo del F_{RMS} , definiendo una condición sin sobre-pesca (**Figura 47a**), y al último semestre de la evaluación la mortalidad por pesca se encuentra un 78% inferior al objetivo de manejo pesquero. De igual manera, los resultados indican que la reducción de la biomasa ocurrida en los semestres 1987.5, 1993.5, 2001.5, 2008.5, 2016.0 y 2023.5 llevaron a la población a valores por debajo de la biomasa al RMS, generando con ello una condición de sobre-explotación. Estos niveles poblacionales observados durante el período analizado se deben principalmente a la caída de los reclutamientos del semestre anterior, registrando valores inferiores a R_0 . Sin embargo, desde mediados del 2016 a la fecha, la razón entre la biomasa desovante y la B_{RMS} ha variado en torno a un 1.53 (± 0.42). Al último semestre de la evaluación la biomasa desovante se encuentra un 18% inferior al objetivo de manejo pesquero, y dado los niveles de incertidumbre, existe una probabilidad de 0.87 de que la $BD_{2023.5} < BD_{RMS}$ (**Figura 47b**), definiendo una condición de sobre-explotación.

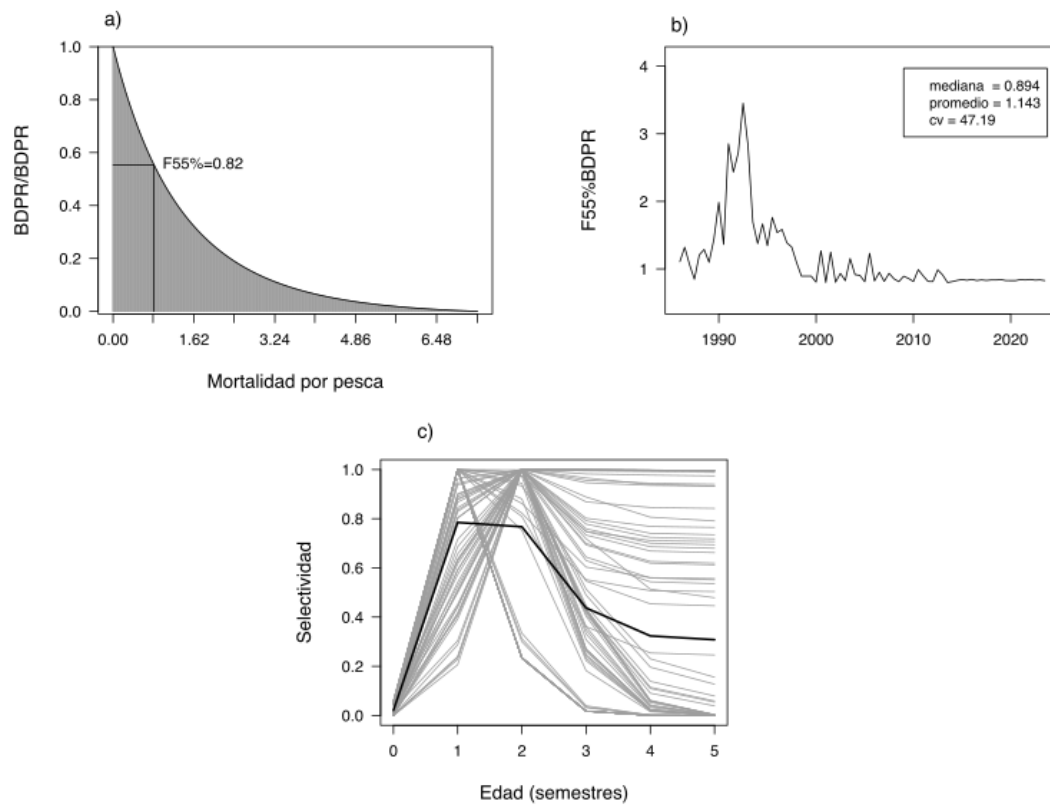


Figura 45. Biomasa desovante por recluta respecto de la mortalidad por pesca (F) para el último semestre de la evaluación de stock en (a), variabilidad semestral histórica del $F55\%BDPR$ (b) y patrón de selectividad semestral histórica (c) para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.

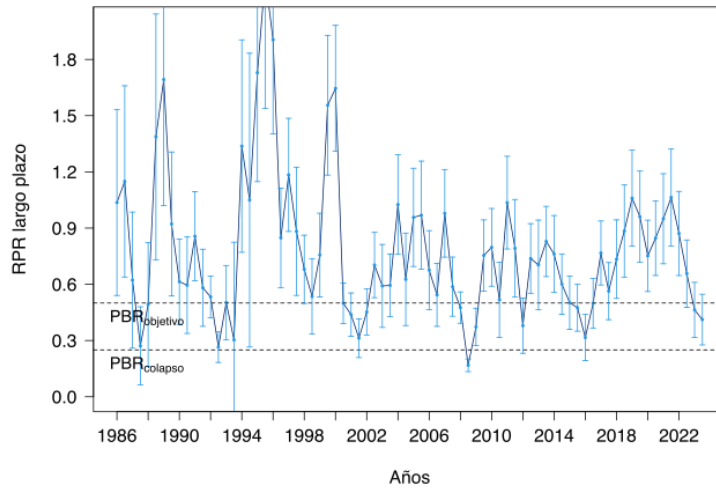


Figura 46. Razón del potencial reproductivo (RPR_{lp}) de largo plazo y su intervalo de confianza al 95% para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. Las líneas segmentadas indican los niveles de manejo pesquero objetivo y de agotamiento (colapso).

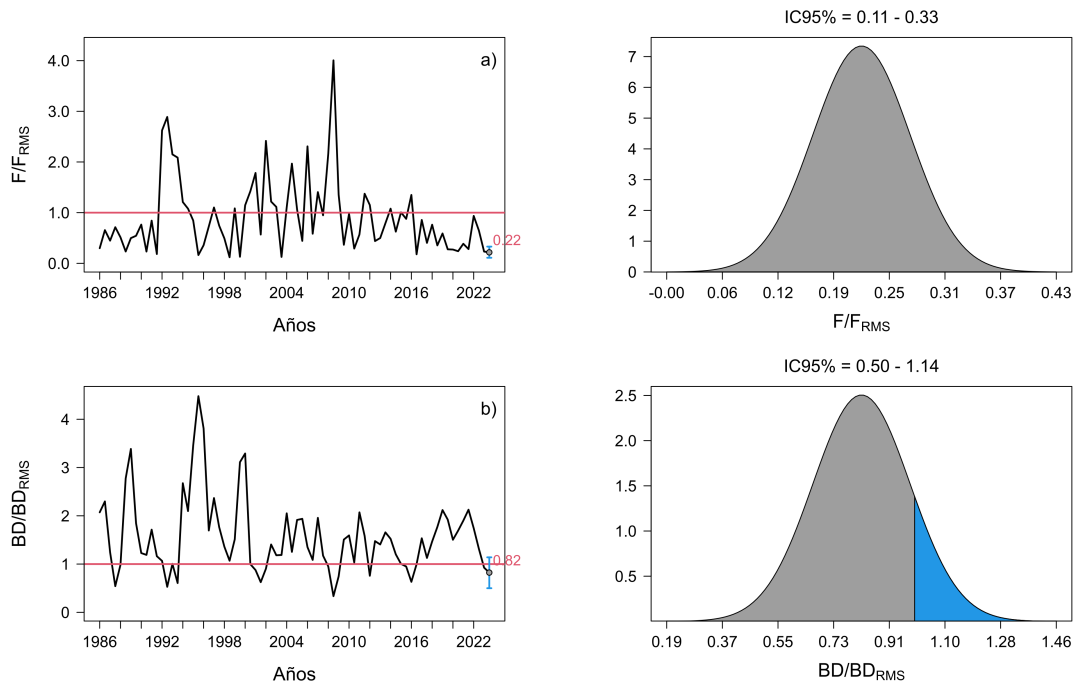


Figura 47. Serie temporal de la razón de la mortalidad por pesca respecto a su referente asociado al RMS y la incertidumbre al último semestre de la evaluación en el panel superior (a) y la serie temporal de la razón de la biomasa desovante respecto a su referente asociado al RMS y la incertidumbre al último semestre de la evaluación en el panel inferior (b) para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. La línea roja representa el objetivo de manejo referido al RMS.

El diagrama de fase entre la fracción de la biomasa desovante al RMS versus la mortalidad por pesca relativa al F_{RMS} (**Figura 48**) muestra que ha ocurrido tanto niveles de explotación mayores al F_{RMS} como menores al F_{RMS} durante el período de evaluación. Sin embargo, son mayores los períodos que están por debajo del objetivo de manejo. Durante los últimos años los niveles de mortalidad por pesca han estado por debajo del F_{RMS} . Mientras que la biomasa desovante pasó de estar en una condición de sobre-explotación en el 2016, y al año siguiente se ubicó por sobre el punto biológico objetivo (BD_{RMS}). Las distribuciones de probabilidades indican que el valor más probable de la mortalidad por pesca al segundo semestre del 2023 podría ubicarse al 95% de confianza entre 0.11 y 0.33 veces de la F_{RMS} . En cambio, a igual nivel de confianza la biomasa desovante se ubica entre un 0.50 y 1.14 veces de la BD_{RMS} . En la **Figura 49** se muestra el diagrama de fase en escala anual, como un promedio del primer y segundo semestre. La condición o estatus del stock de anchoveta en escala anual no difiere al de la escala semestral.

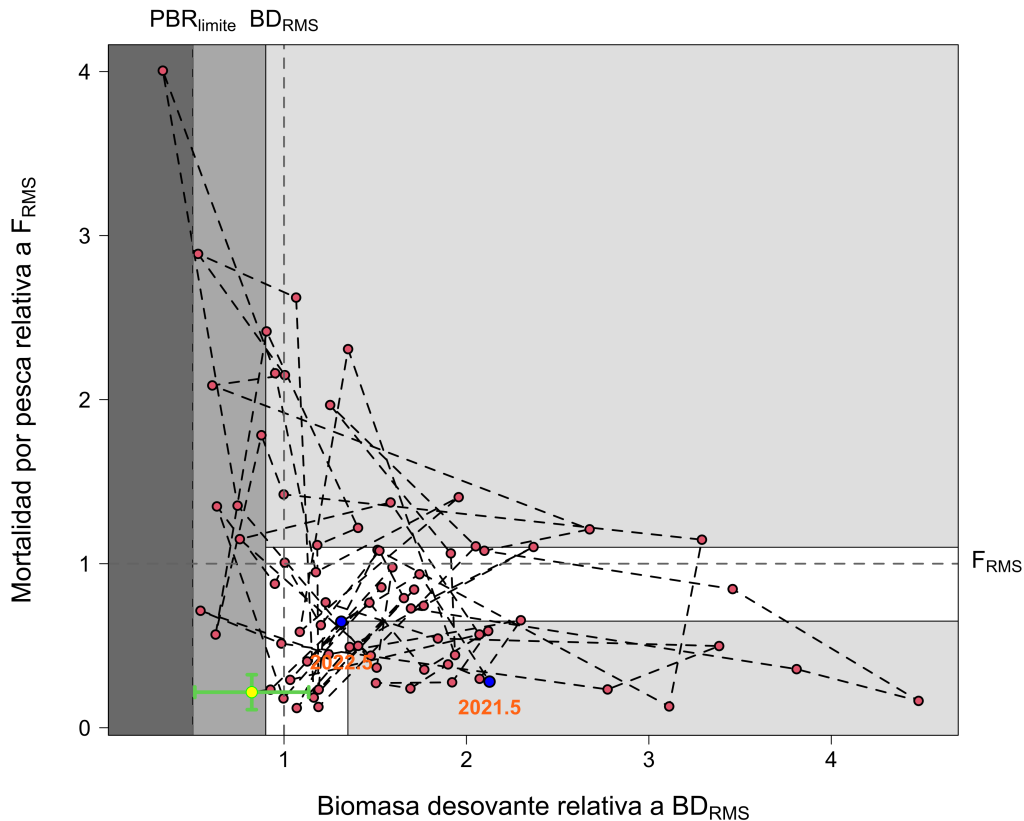


Figura 48. Diagrama de fase semestral del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. El punto amarillo representa la condición para el segundo semestre del 2023. Las líneas verdes representan los intervalos de confianza al 95% para la última estimación. Los puntos en azul representan la condición para el segundo semestre de los años 2021 y 2022.

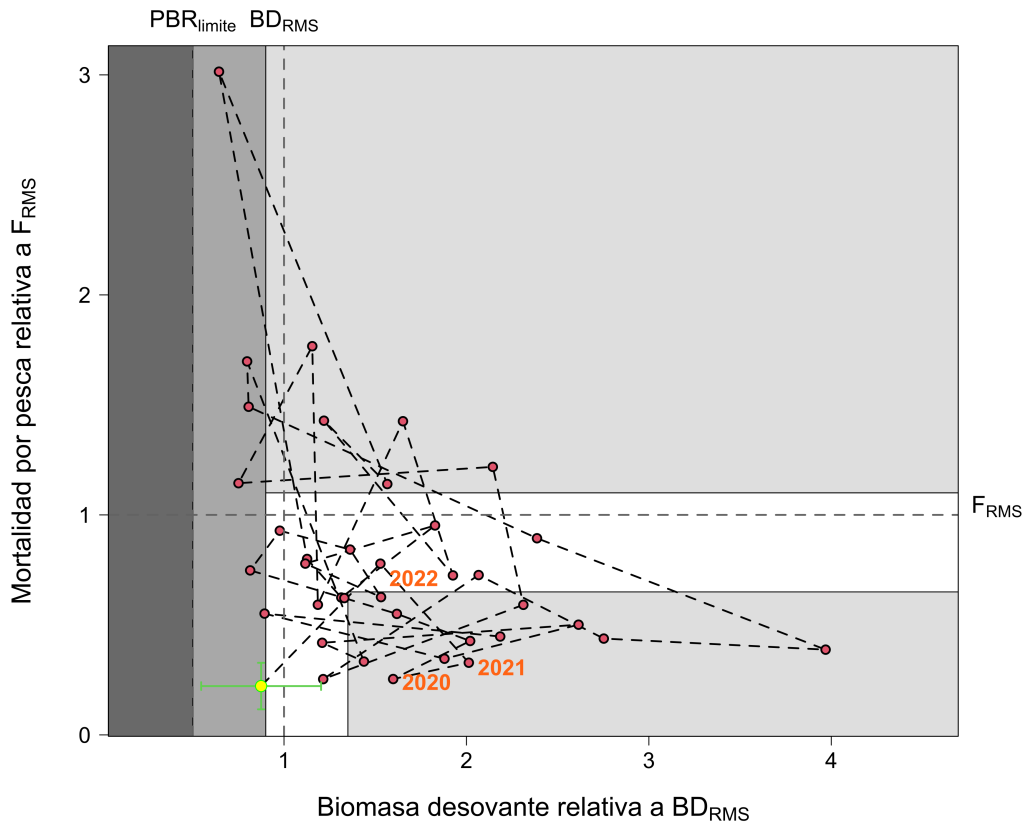


Figura 49. Diagrama de fase anual del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. El punto amarillo representa la condición para el año 2023 y las líneas verdes representan los intervalos de confianza al 95% para dicha estimación. Los puntos en azul representan la condición para los años 2020, 2021 y 2022.

5.2.2 Calidad de la información

El estándar de la pesquería de anchoveta fue nuevamente analizado a partir de “Checklist for the Stock Assessment” (NRC, 1998) modificado para las pesquerías chilenas, incluyendo un total de 7 tópicos y 87 preguntas que generan la “matriz de conocimiento” del recurso. Cabe señalar que esta evaluación de la matriz de conocimiento, se llevó a cabo en el año 2011 (Canales *et al.*, 2011) calificando a la pesquería de anchoveta como de estándar medio.

La **Tabla 16** muestra un resumen de la actual evaluación la cual continúa indicando que la pesquería de anchoveta de la zona norte de Chile es de estándar medio. Los tópicos que cuentan con mayor conocimiento son datos y parámetros, seguidos por la definición del stock y modelo de evaluación. Los tópicos con más bajo conocimiento se refieren a la información biológica, bondad de ajuste e información auxiliar (efecto del ambiente en la capturabilidad).

Más recientemente, el panel de expertos contratados en el desarrollo del proyecto “Revisión de los puntos biológicos de referencia (rendimiento máximo sostenible) en las pesquerías nacionales” (Payá *et al.*, 2014), la anchoveta sur del Perú y norte de Chile fue calificada en el Tier 1b, lo cual



significa que, habiendo información suficiente para la evaluación analítica, el conocimiento sobre el nivel de resiliencia es aún insuficiente y por ende el criterio RMS está basado en proxies.

Tabla 16. Evaluación de la matriz de conocimiento de la pesquería de anchoveta del norte de Chile. (Numerador corresponde a la suma de la evaluación de cada ítem dentro del tópico. Denominador corresponde a la suma de todos los ítems dentro de un tópico si existiera un conocimiento satisfactorio de cada uno de ellos).

Tópico	Puntaje	%
Definición del stock	8-15	0.18
Datos y parámetros	26-48	0.19
Información biológica	26-75	0.12
Modelo de evaluación	9-18	0.17
Formulación estadística	20-39	0.18
Bondad de ajuste	6-15	0.14
Información auxiliar	0-3	0.00
Total	96-213	—

5.3 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.”

En la proyección del stock de anchoveta es necesario incorporar los reclutamientos futuros, para tal fin se evaluarán tres escenarios: i) los reclutamientos promedios diferenciados para el primer y segundo semestre, ii) los reclutamientos proyectados desde un modelo de serie temporal arima y iii) los reclutamientos proyectados desde un modelo poblacional logístico autorregresivo. Además, dado el fuerte patrón retrospectivo que presentan los reclutamientos estimados por el modelo (**Figura 43**), es necesario penalizar el último reclutamiento (**Tabla 15**) antes de proyectar el stock de anchoveta mediante la relación entre la biomasa acústica de juveniles y los reclutamientos estimados por el modelo (**Figura 23**). Estas relaciones se diferencian según las condiciones ambientales que predominaron la zona de estudio cuando se realizó en crucero acústico de la zona norte de Chile. Dada las condiciones ambientales (anomalías negativas de la temperatura superficial del mar) durante la realización del último crucero acústico del norte de Chile, que estimó una biomasa acústica de juveniles de 223.6 mil toneladas, se aplicó una penalización del reclutamiento desde 1122 a 149 mm de reclutas.

5.3.1 Reclutamientos promedios diferenciado por semestre

5.3.1.1 Proyección del stock

Los resultados de las proyecciones del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile bajo el nivel de mortalidad por pesca que produce el rendimiento máximo sostenido (F_{RMS}), y de acuerdo al escenario de reclutamientos promedios para cada semestre por separado, indican que la biomasa desovante semestral debería fluctuar entre las 491 y 543 mil toneladas durante la proyección del stock (**Figura 50a**). En cambio, la captura semestral debería fluctuar entre las 185 y 269 mil toneladas durante la proyección del stock (**Figura 50b**). Finalmente, la biomasa desovante con respecto a la biomasa desovante al RMS (BD_{RMS}) deberían fluctuar entre 0.79 y 0.87, valores inferiores al punto biológico de manejo pesquero (**Figura 50c**). En la **Figura 51** se muestran la participación en la captura proyectada por rango de talla para el primer y segundo semestre del 2024, dado el escenario de reclutamientos promedios para cada semestre por separado y el nivel de mortalidad por pesca que genera el RMS (F_{RMS}) durante la proyección del stock de anchoveta. La estructura de tamaños en la captura proyectada varía entre los 8.5 a 18.5 cm de longitud total y una gran proporción corresponde a tallas entre los 10 y 15 cm de longitud total para el primer y segundo semestre del 2024.

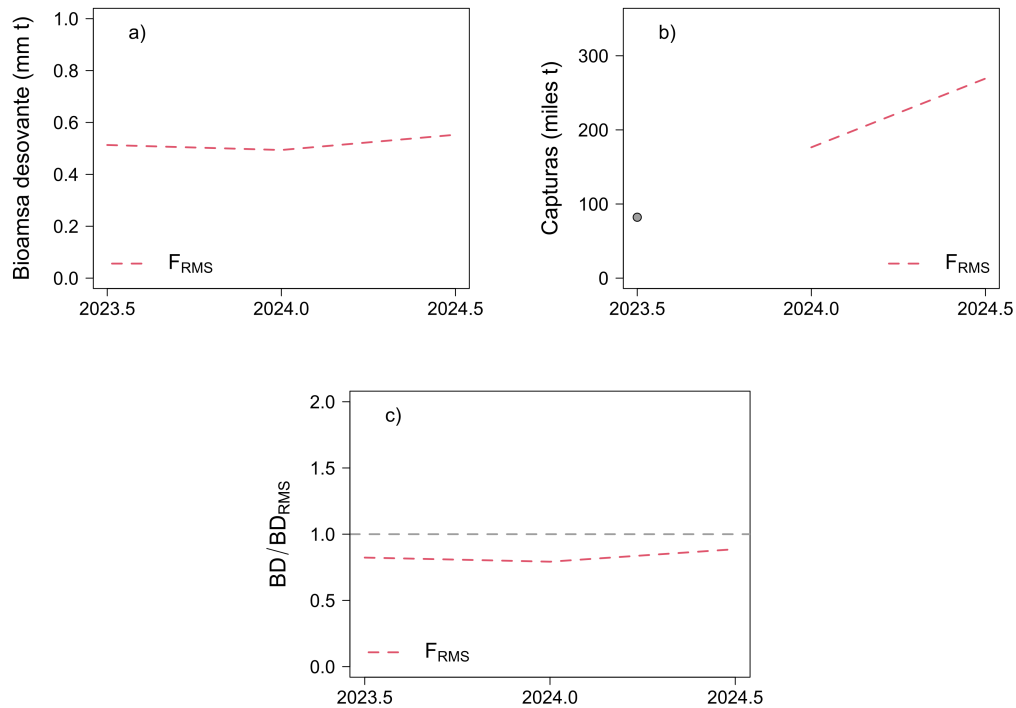


Figura 50. Proyecciones para la biomasa desovante (a), la captura biológicamente aceptable (b) y la BD/BD_{RMS} (c) para el escenario de reclutamientos promedios diferenciado para cada semestre, con el nivel de mortalidad por pesca que produce el rendimiento máximo sostenido (F_{RMS}) para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.

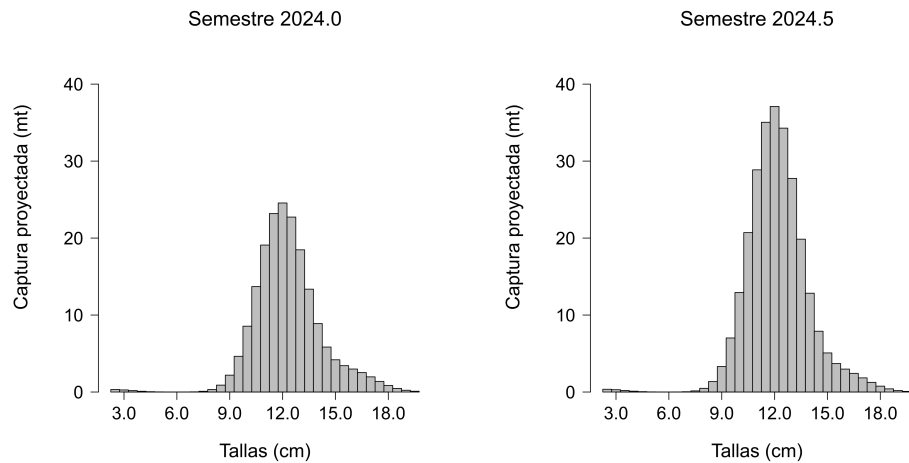


Figura 51. Estructura de tamaños de la captura durante la proyección del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile, para el escenario de reclutamientos promedios para cada semestre por separado y el nivel de mortalidad por pesca al F_{RMS}

5.3.1.2 Captura biológicamente aceptable (CBA)

En base al modelo de evaluación de stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile que entrega estimaciones de abundancia para todos los grupos etarios al último semestre. En base a estas estimaciones, se realizó la proyección del stock de anchoveta para los siguientes cuatro semestres según el escenario de reclutamientos promedios para cada semestre por separado. Las condiciones de incertidumbre de los parámetros estimados por el modelo provienen de la matriz de varianza-covarianza, la cual es estimada en la plataforma de programación ADMB (Fournier *et al.*, 2012). La captura biológicamente aceptable para el año 2024, sin el descuento del descarte proyectado para el año 2024 por semestres y aplicando el criterio del $F=F_{RMS}$ se presenta en la **Tabla 17** y los distintos niveles de riesgo de exceder el criterio del $F=F_{RMS}$. El valor esperado promedio debería fluctuar entre las 455 y 430 mil toneladas para el stock compartido de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. Con el descuento del descarte proyectado para el año 2024 y el criterio de $F=F_{RMS}$ los valores deberían fluctuar entre las 445 y 421 mil toneladas anuales (**Tabla 18**). Si se considera un nivel de riesgo del 30%, la CBA para el año 2024 debería tener un valor de 435 mil toneladas anuales.

Tabla 17. Captura biológicamente aceptable anual 2024 (miles de toneladas) sin el descuento del descarte semestral proyectado para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile para cinco niveles de riesgo de exceder el criterio de $F=F_{RMS}$, para el escenario de reclutamientos promedio diferenciado por semestres.

media	d.e.	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
455.1	18.9	430.8	439.1	445.1	450.3	455.1

Tabla 18. Captura biológicamente aceptable anual 2024 (miles de toneladas) con el descuento del descarte semestral proyectado para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile para cinco niveles de riesgo de exceder el criterio de $F=F_{RMS}$, para el escenario de reclutamientos promedio diferenciado por semestres.

media	d.e.	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
445.7	18.9	421.4	429.8	435.8	440.9	445.7

5.3.2 Reclutamientos proyectados desde un modelo temporal arima

5.3.2.1 Proyección del stock

Los resultados de las proyecciones del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile bajo el nivel de mortalidad por pesca que produce el rendimiento máximo sostenido (F_{RMS}), y de acuerdo al escenario de reclutamientos proyectados desde un modelo temporal arima, indican que la biomasa desovante semestral debería fluctuar entre las 491 y 582 mil toneladas durante la proyección del stock (**Figura 52a**). En cambio, la captura semestral debería fluctuar entre las 185 y 308 mil toneladas durante la proyección del stock (**Figura 52b**). Finalmente, la biomasa desovante con respecto a la biomasa desovante al RMS (BD_{RMS}) debería fluctuar entre 0.79 y 0.93 por debajo del punto biológico de manejo pesquero (**Figura 52c**). En la **Figura 53** se muestran la

participación en la captura proyectada por rango de talla para el primer y segundo semestre del 2024, dado el escenario de reclutamientos proyectados desde un modelo temporal arima y el nivel de mortalidad por pesca que genera el Rendimiento Máximo Sostenido durante la proyección del stock de anchoveta. La estructura de tamaños proyectada varía entre los 8.5 a 18.5 cm de longitud total y una gran proporción corresponde a tallas entre los 10 y 15 cm de longitud total para el primer y segundo semestre del 2024.

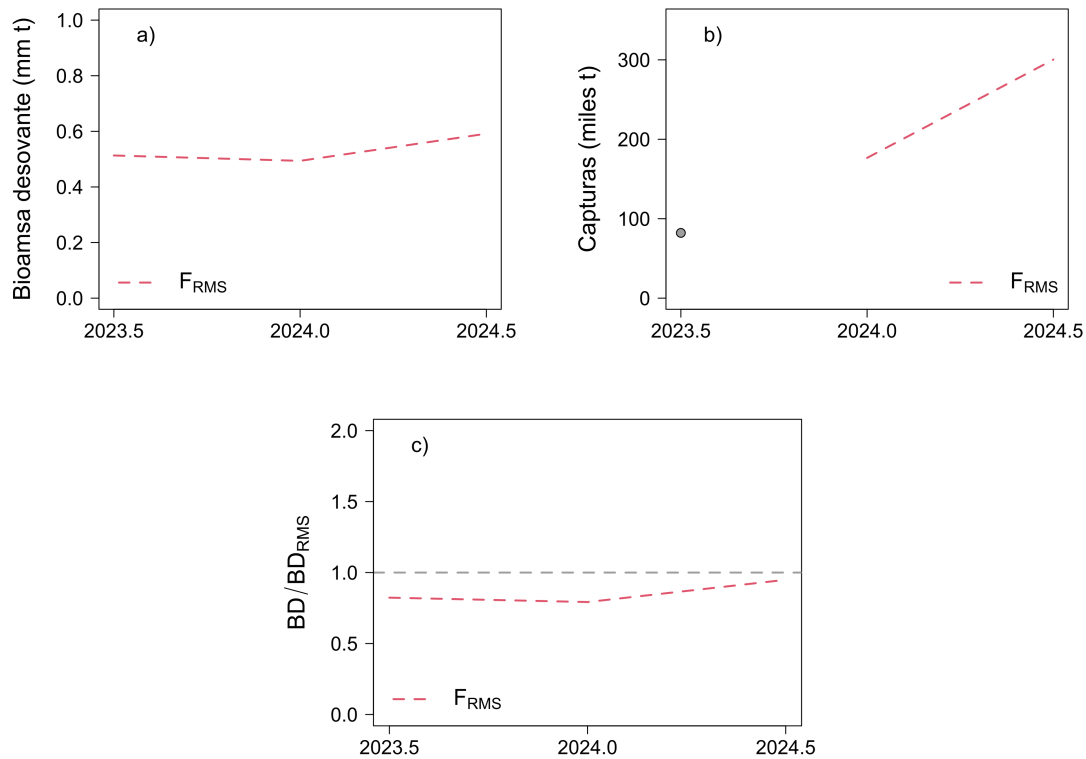


Figura 52. Proyecciones para la biomasa desovante (a), la captura biológicamente aceptable (b) y la BD/BD_{RMS} (c) para el escenario de reclutamientos proyectados desde un modelo temporal arima, con el nivel de mortalidad por pesca que produce el rendimiento máximo sostenido (F_{RMS}) para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.

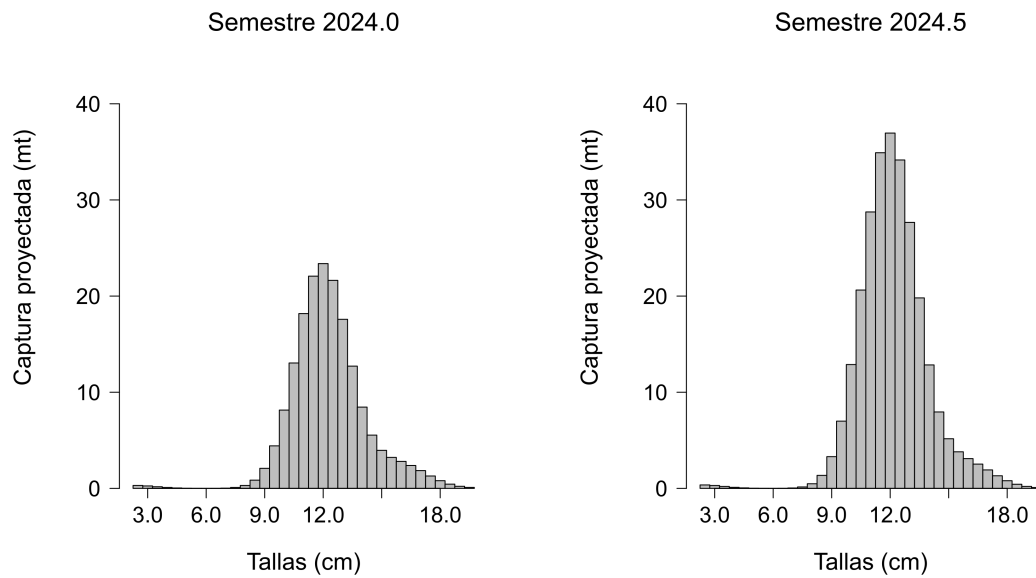


Figura 53. Estructura de tamaños de la captura durante la proyección del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile, para el escenario de reclutamientos proyectados desde un modelo temporal arima y el nivel de mortalidad por pesca al F_{RMS}

5.3.2.2 Captura biológicamente aceptable (CBA)

En base al modelo de evaluación de stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile que entrega estimaciones de abundancia para todos los grupos etarios al último semestre. En base a estas estimaciones, se realizó la proyección del stock de anchoveta para los siguientes cuatro semestres según el escenario de reclutamientos proyectados desde un modelo temporal arima. Las condiciones de incertidumbre de los parámetros estimados por el modelo provienen de la matriz de varianza-covarianza, la cual es estimada en la plataforma de programación ADMB (Fournier *et al.*, 2012). La captura biológicamente aceptable para el año 2024, sin el descuento del descarte proyectado para el año 2024 por semestres y aplicando el criterio del $F=F_{RMS}$ se presenta en la **Tabla 19** y los distintos niveles de riesgo de exceder el criterio del $F=F_{RMS}$. El valor esperado promedio debería fluctuar entre las 455 y 430 mil toneladas para el stock compartido de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. Con el descuento del descarte proyectado para el año 2024 y el criterio de $F=F_{RMS}$ los valores deberían fluctuar entre las 445 y 421 mil toneladas anuales (**Tabla 20**). Si se considera un nivel de riesgo del 30%, la CBA para el año 2024 debería tener un valor de 435 mil toneladas anuales.

Tabla 19. Captura biológicamente aceptable anual 2024 (miles de toneladas) sin el descuento del descarte semestral proyectado para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile para cinco niveles de riesgo de exceder el criterio de $F=F_{RMS}$, para el escenario de reclutamientos proyectados desde un modelo temporal arima.

media	d.e.	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
486.2	7.07	477.1	480.2	482.5	484.4	486.2

Tabla 20. Captura biológicamente aceptable anual 2024 (miles de toneladas) con el descuento del descarte semestral proyectado para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile para cinco niveles de riesgo de exceder el criterio de $F=F_{RMS}$, para el escenario de reclutamientos proyectados desde un modelo temporal arima.

media	d.e.	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
476.9	6.87	468.1	471.1	473.3	475.2	476.9

5.3.3 Reclutamientos proyectados desde un modelo temporal poblacional logístico

5.3.3.1 Proyección del stock

Los resultados de las proyecciones del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile bajo el nivel de mortalidad por pesca que produce el rendimiento máximo sostenido (F_{RMS}), y de acuerdo al escenario de reclutamientos proyectados desde un modelo poblacional logístico, indican que la biomasa desovante semestral debería fluctuar entre las 491 y 529 mil toneladas durante la proyección del stock (**Figura 54a**). En cambio, la captura semestral debería fluctuar entre las 185 y 258 mil toneladas durante la proyección del stock (**Figura 54b**). Finalmente, la biomasa desovante con respecto a la biomasa desovante al RMS (BD_{RMS}) debería fluctuar entre 0.79 y 0.85 sobre el punto biológico de manejo pesquero (**Figura 54c**). En la **Figura 55** se muestran la participación

en la captura proyectada por rango de talla para el primer y segundo semestre del 2024, dado el escenario de reclutamientos proyectados desde un modelo poblacional logístico y el nivel de mortalidad por pesca que genera el Rendimiento Máximo Sostenido durante la proyección del stock de anchoveta. La estructura de tamaños proyectada varía entre los 8.5 a 18.5 cm de longitud total y una gran proporción corresponde a tallas entre los 10 y 15 cm de longitud total para el primer y segundo semestre del 2024.

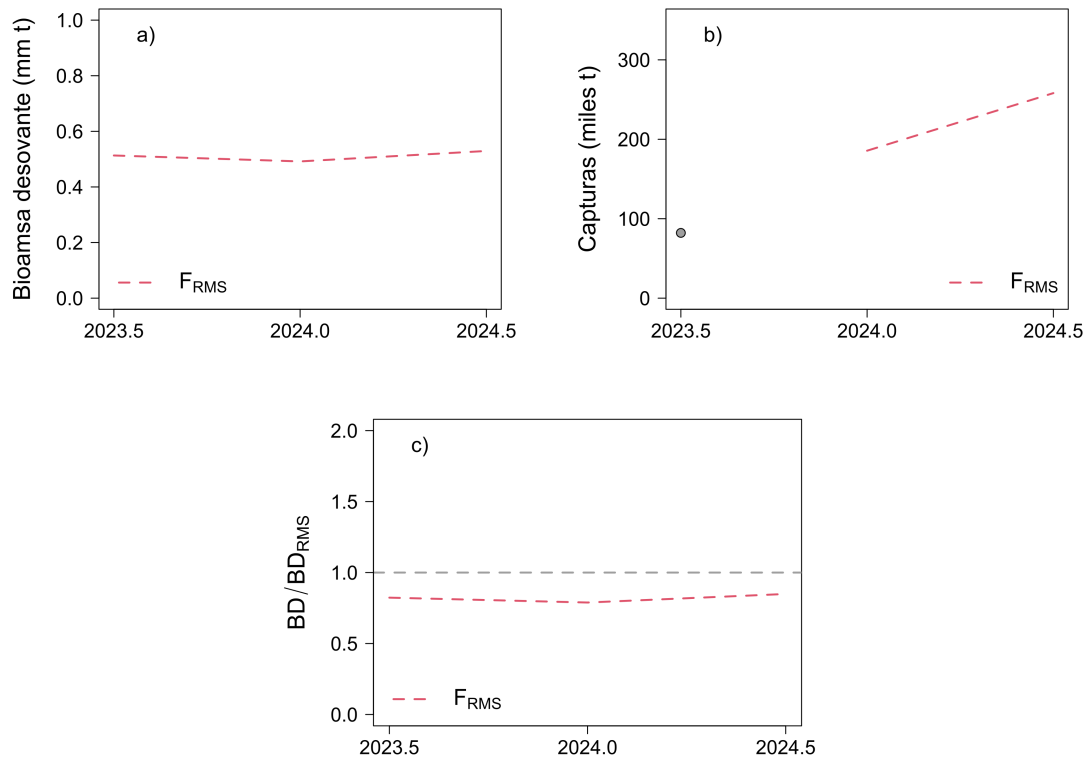


Figura 54. Proyecciones para la biomasa desovante (a), la captura biológicamente aceptable (b) y la BD/BD_{RMS} (c) para el escenario de reclutamientos proyectados desde un modelo poblacional logístico, con el nivel de mortalidad por pesca que produce el rendimiento máximo sostenido (F_{RMS}) para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile.

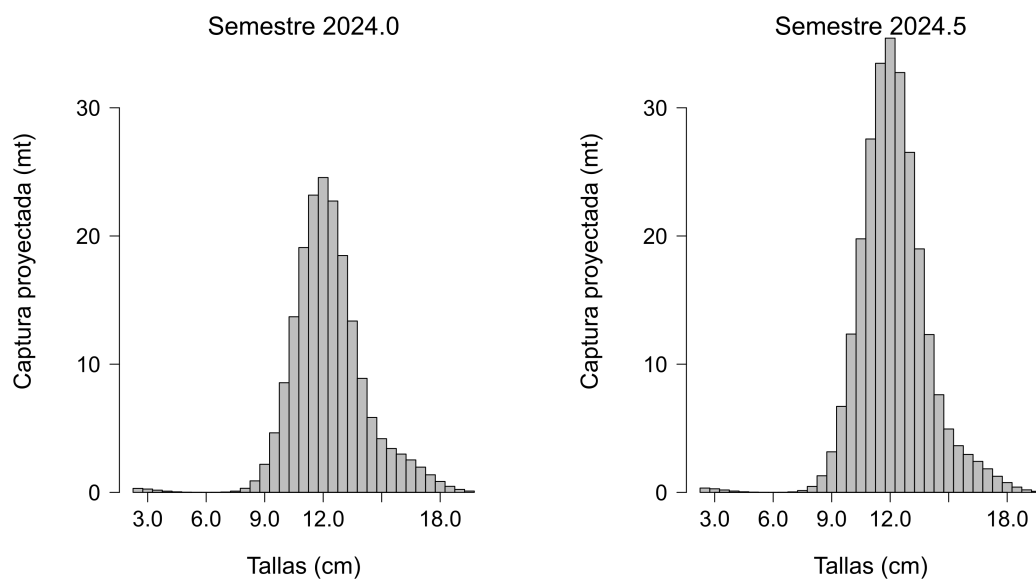


Figura 55. Estructura de tamaños de la captura durante la proyección del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile, para el escenario de reclutamientos proyectados desde un modelo poblacional logístico y el nivel de mortalidad por pesca al F_{RMS}

5.3.3.2 Captura biológicamente aceptable (CBA)

En base al modelo de evaluación de stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile que entrega estimaciones de abundancia para todos los grupos etarios al último semestre. En base a estas estimaciones, se realizó la proyección del stock de anchoveta para los siguientes cuatro semestres según el escenario de reclutamientos proyectados desde un modelo temporal logístico. Las condiciones de incertidumbre de los parámetros estimados por el modelo provienen de la matriz de varianza-covarianza, la cual es estimada en la plataforma de programación ADMB (Fournier *et al.*, 2012). La captura biológicamente aceptable para el año 2024, sin el descuento del descarte proyectado para el año 2024 por semestres y aplicando el criterio del $F=F_{RMS}$ se presenta en la **Tabla 21** y los distintos niveles de riesgo de exceder el criterio del $F=F_{RMS}$. El valor esperado promedio debería fluctuar entre las 443 y 434 mil toneladas para el stock compartido de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. Con el descuento del descarte proyectado para el año 2024 y el criterio de $F=F_{RMS}$ los valores deberían fluctuar entre las 434 y 425 mil toneladas anuales (**Tabla 22**). Si se considera un nivel de riesgo del 30%, la CBA para el año 2024 debería tener un valor de 430 mil toneladas anuales.

Tabla 21. Captura biológicamente aceptable anual 2024 (miles de toneladas) sin el descuento del descarte semestral proyectado para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile para cinco niveles de riesgo de exceder el criterio de $F=F_{RMS}$, para el escenario de reclutamientos proyectados desde un modelo poblacional logístico.

media	d.e.	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
443.7	7.01	434.8	437.8	440.1	441.9	443.7

Tabla 22. Captura biológicamente aceptable anual 2024 (miles de toneladas) con el descuento del descarte semestral proyectado para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile para cinco niveles de riesgo de exceder el criterio de $F=F_{RMS}$, para el escenario de reclutamientos proyectados desde un modelo poblacional logístico.

media	d.e.	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
434.3	6.82	425.6	428.6	430.7	432.6	434.3

5.3.3.3 Promedio ponderado por el inverso de la varianza

Con el objeto de estimar un sólo valor para la CBA anual, se adoptó un proceso de estimación que compromete el grado de precisión para los diferentes escenarios de reclutamientos evaluados en la estimación de la CBA anual. Este estimador para la CBA es un promedio ponderado, donde el ponderador corresponde al inverso de la varianza,

$$\hat{CBA} = \frac{w_1 CBA_1 + w_2 CBA_2 + \dots + w_n CBA_n}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (33)$$

donde $w_i = \frac{1}{s_i^2}$, es el inverso de la varianza correspondiente a cada uno de los i , las estimaciones de la CBA_i para cada escenario de proyección de los reclutamientos. En la **Tabla 23** se presentan



la $C\hat{B}A$ ponderada por los diferentes escenarios y los distintos niveles de riesgo de exceder el criterio del $F=F_{RMS}$. El valor esperado ponderado debería fluctuar entre las 463 y 449 mil toneladas para el stock compartido de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. Con el descuento del descarte proyectado para el año 2024 y el criterio de $F=F_{RMS}$ los valores deberían fluctuar entre las 454 y 440 mil toneladas anuales (**Tabla 24**). Si se considera un nivel de riesgo del 30%, la CBA para el año 2024 debería tener un valor de 448 mil toneladas anuales.

Tabla 23. Captura biológicamente aceptable anual 2024 (miles de toneladas) sin el descuento del descarte semestral proyectado para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile para cinco niveles de riesgo de exceder el criterio de $F=F_{RMS}$, para el escenario basado en el promedio ponderado por el inverso de la varianza.

media	d.e.	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
463.3	11.0	449.2	454.0	457.5	460.5	463.3

Tabla 24. Captura biológicamente aceptable anual 2024 (miles de toneladas) con el descuento del descarte semestral proyectado para el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile para cinco niveles de riesgo de exceder el criterio de $F=F_{RMS}$, para el escenario basado en el promedio ponderado por el inverso de la varianza.

media	d.e.	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
454.0	10.9	440.0	444.8	448.3	451.2	454.0

5.4 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.”

5.4.1 Mejoras realizadas al modelo de evaluación de stock

La principal mejora realizada al modelo de evaluación de stock para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile fue realizada en el taller de revisión por pares entre los días 11 al 13 de marzo del 2019 por el Dr. James Ianelli, experto del centro de ciencia pesquera de Alaska de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). El taller dio cuenta de la revisión de los datos usados en la evaluación de stock, el crecimiento de la anchoveta basado en micro incrementos diarios y el supuesto de mortalidad natural usado, las hipótesis estructurales que definen el modelo conceptual de la pesquería de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile. Además, se revisó la dinámica poblacional, los modelos de los procesos y error, la configuración del modelo de evaluación. Y finalmente, se revisaron los ajustes del modelo de evaluación a los datos usados, las variables poblacionales estimadas por el modelo, el desempeño del modelo, análisis retrospectivo, puntos biológicos de referencia y estatus del recurso estudiado. Finalmente, durante los días 8 al 12 de julio del 2019 se realizó el Taller “Benchmark Stock Assessment” para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile por la Dra. Carolina Mente-Vera, experta de la Comisión Inter-Americana del Atún Tropical (IATTC) con sede en la Jolla, California, USA. Este taller tuvo la finalidad de incorporar las sugerencias del Dr. Ianelli para mejorar el modelo de evaluación de stock antes de que el modelo pueda ser usado con fines para el manejo pesquero.

Posterior a este taller, se ha continuado haciendo mejoras al modelo de evaluación, primero, la incorporación de una selectividad tipo doble-normal, con la capacidad de convertirse en logística en caso que los datos en las estructuras de tallas lo indiquen, dado el valor de la varianza asignado al lado izquierdo de esta ecuación asignado por el modelo. Esta mejora permite lidiar con las altas mortalidades por pesca que se observan en el modelo logístico (las que alcanzan el límite superior establecido por el modelo) y que repercuten en el análisis retrospectivo cuando se registran las altas abundancias totales estimadas a través del método acústico y las bajas capturas que se registran durante el año 2016. Otra mejora realizada que no tiene relación con el código del modelo de evaluación pero sí con el tratamiento de la información utilizada en el modelo de evaluación, es la incorporación de la relación longitud-peso variable por semestre desde el año 2001 hasta el 2023 (**Figura 13**), debido principalmente a la variabilidad que se han observado en las estructuras de tallas de las capturas (**Figura 11 y 12**) durante los últimos veinte años, y más aún durante los últimos cinco años, en que la talla media ha alcanzado valores por debajo de los 12 cm de longitud total, lo cual implica un menor peso en los individuos capturados.

5.4.2 Avances en la reducción de brechas

El gran desafío que presentan los pequeños peces pelágicos a nivel mundial, y más aún la anchoveta de la zona sur de Perú y norte de Chile dado su rápido crecimiento y alta mortalidad natural, es intentar predecir los reclutamientos futuros durante la proyección del stock. Actualmente, la elección de los reclutamientos futuros para cada semestre, se seleccionan según la historia

(longitud de tiempo) de los reclutamientos promedios ocurridos durante el primer y segundo semestre por separado (**Figura 20**). La principal desventaja de este procedimiento es que los reclutamientos futuros no muestran variabilidad temporal, son cantidades fijas que no cambian en el tiempo y no dan cuenta de la estacionalidad de las capturas que ocurren en el primer y segundo semestre de cada año o de la autocorrelación que pudiera existir en el paso de tiempo semestral. Cuando se analiza la serie temporal de los reclutamientos a través de puntos de quiebres, cambios en función del promedio sobre períodos de tiempo acotados, esto con el propósito de identificar niveles medios de reclutamientos que ocurren durante ciertos períodos de años con una cierta variabilidad. En la **Figura 56** se muestran los distintos niveles medios en que ha cambiado la serie temporal de los reclutamientos durante los últimos veinte años. Entre los años 2001 y 2006 se observa un aumento de la tendencia media en los reclutamientos, alcanzando al año 2006 un valor medio de 368 mm de reclutas. Luego, entre el 2007 y 2010 este valor cae a 208 mm de reclutas y desde mediados del 2010 los reclutamientos medios han oscilado en un valor medio de 243 (± 52) mm de reclutas. Al último período estimado, se registra un valor medio de 227 mm de reclutas.

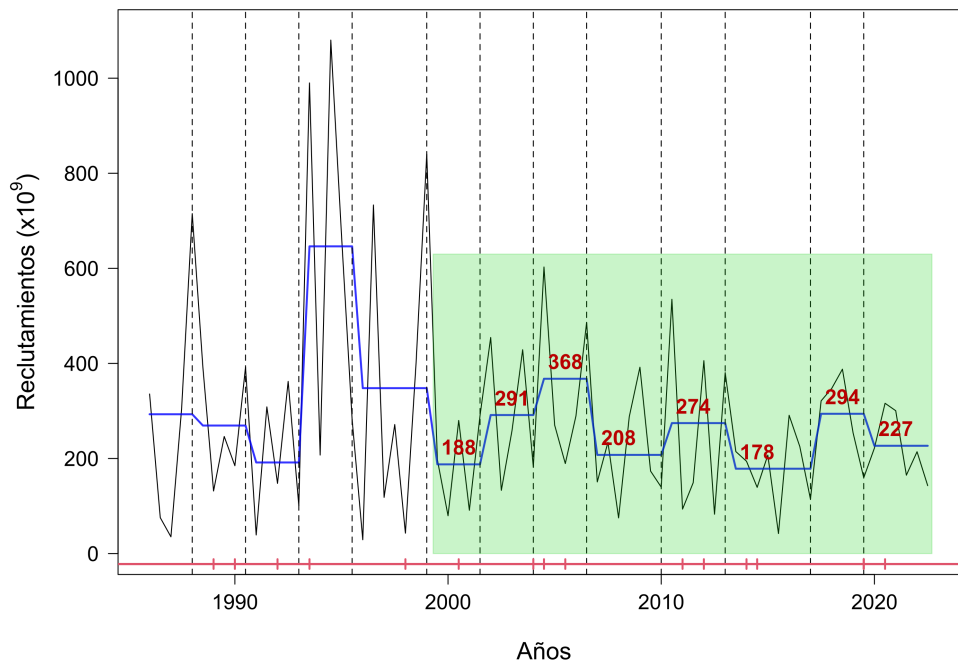


Figura 56. Estimación de puntos de quiebres medios en la serie temporal de reclutamientos para todo el período de la evaluación de stock. La línea azul representa la estimación media de la serie de reclutamientos y la zona sombreada representa la longitud de la serie de reclutamientos ocupada para mostrar el período más reciente sobre los reclutamientos.

Para tomar en cuenta la variabilidad en la serie de reclutamientos se exploraron dos aproximaciones metodológicas, i) modelo de serie temporal autorregresiva arima y ii) modelo poblacional logístico autorregresivo. Estas dos metodologías fueron presentadas en la cuarta y quinta sesión del CCT-

PP ⁷ del año 2022. Durante la cuarta sesión se discutió ampliamente sobre el sentido de estos análisis, que se orientan a acordar un procedimiento de estimación para la decisión en ambos hitos de evaluación, para lo cual se propuso retomar este tema en la siguiente sesión. Y en la quinta sesión, se discutió que el problema de la proyección de los reclutamientos no está resuelto y que considerando la rápida dinámica del stock, la incertidumbre sobre el nivel de la abundancia es altamente incierto, lo que conlleva a un riesgo también alto en la actualización de la CBA. El CCT-PP recomienda que en el primer hito para el estatus y CBA 2023 la alternativa debiese ser una condición para no caer en una sobre-estimación. Por lo cual se mantiene el modelo base más la proyección de los reclutamientos con los dos modelos propuestos y uno con la media ponderada a través de la varianza de todos los escenarios para la decisión del estatus y CBA 2023.

5.4.3 Programa de trabajo año 2023-24

El esquema de trabajo y plan de actividades programadas para el año 2023 se presenta en las siguientes tablas, que representa las principales actividades e hitos que sustentan el programa anual de trabajo, y se pueden definir en tres categorías principales: i) Hitos de proyecto de estatus, entrega de informes correspondientes al convenio de desempeño 2023 (**Tabla 25**), ii) Proceso de asesoría propiamente tal, el cual incluye la presentación del taller de datos y modelos, y los resultados y análisis de la evaluación de stock al CCT-PP (**Tabla 26**) y iii) Participación en talleres de revisión por pares, capacitación y conferencias orientados al proceso de mejora continua y disminución de brechas del conocimiento de pequeños peces pelágicos. Para el año 2024 se contempla avanzar en los temas propuestos por las revisiones nacionales (**Tabla 14**), que para el caso de la anchoveta de la zona norte incluyen avanzar sobre el supuesto del coeficiente de variación logitud a la edad, análisis de sensibilidad sobre las principales fuentes de incertidumbre estructural del modelo de evaluación de stock y implementar una selectividad a la talla para las diferentes flotas pesqueras. Estos temas deberían ser priorizados en los próximos talleres de datos y modelos.

Tabla 25. Calendario de entrega de informes de estatus y cba de los recursos pelágicos pequeños según convenio de desempeño 2022.

Recurso	Documento Técnico	Primer Informe	Segundo Informe	Informe Complementario
Anchoveta Norte	—	15-09-2023	04-03-2024	—
Anchoveta ATCMA-COQ			15-04-2024	—
Anchoveta VALPO-LAGOS			04-03-2024	30-07-2024
Sardina VALPO-LAGOS			04-03-2024	30-07-2024
Sardina LAGOS-AYSEN			15-06-2024	—

⁷<https://www.subpesca.cl/portal/616/w3-propertyvalue-51142.html>

**Tabla 26.** Presentaciones del grupo de pesquerías pelágicas de IFOP en las sesiones del Comité Científico Técnico de Pesquerías Pelágicas realizadas durante el año 2023.

Sesiones 2023	Presentaciones del grupo pelágico de IFOP
Sesión N° 1 29-03-2023	Actualización / revisión del estatus de conservación biológica y rango de CBA de la anchoveta norte Actualización / revisión del estatus de conservación biológica y rango de CBA de anchoveta y sardina común zona centro sur Revisión del Proyecto FIPA N° 2019-17: Asesoría para la revisión de PBRs y consideraciones ecosistémicas asociado a pesquerías pelágicas
Sesión N° 2 27-04-2023	Actualización / revisión del estatus de conservación biológica y rango de CBA de anchoveta Regiones Atacama y Coquimbo Avances en la revisión de indicadores asociados a la veda del reclutamiento de anchoveta y sardina común de la zona centro sur Revisión de la propuesta de mejora continua a realizar durante el año 2023, para las evaluaciones de stock y CBA de los recursos de pequeños pelágicos
Sesión N° 3 18-05-2023	Presentación del Taller de Datos y Modelos para sardina austral de la Región de Los Lagos y de Aysén, anchoveta de la zona norte (primer parte) y anchoveta y sardina común de la zona centro sur (primer parte) Revisión de los indicadores asociados a la veda de reclutamiento de anchoveta y sardina común zona centro sur, sobre la base de la medida 10 Establecimiento de los indicadores reproductiva para la veda de pequeños pelágicos en las aguas interiores de la Región de Los Lagos Asesoría relativa al cumplimiento del enfoque precautorio y aproximación ecosistémica de los actuales PBR (FIPA N° 2019-17)
Sesión N° 4 29-06-2023	Revisión y Actualización de Estatus y CBA de sardina austral aguas interiores Región de Los Lagos y de Aysén Taller de Datos y Modelo para la anchoveta y sardina zona centro sur, anchoveta de la zona centro norte y la anchoveta de la zona norte Implementación de Ley de Remanentes 2023 Indicadores veda de reclutamiento anchoveta y sardina común zona centro sur Establecimiento de indicadores reproductivos para la veda de pequeños pelágicos de las aguas interiores de la Región de los Lagos
Sesión N° 5 10-08-2023	Revisión y Actualización de Estatus y CBA de anchoveta y sardina común de la Región de Valparaíso a los Lagos Revisión y Actualización de Estatus y CBA de sardina austral de la Región de Los Lagos año 2023 (Pendiente de la sesión N° 4 de CCT-PP) Revisión y actualización de los niveles de descarte asociados a las pesquerías de pequeños pelágicos Revisión de la incorporación de los saldos no capturados (remanentes) en el ciclo de manejo de pesquerías pelágicas (oficio Ord N° 902/2023) Continuación de la revisión de los indicadores asociados a la veda de reclutamiento de anchoveta y sardina común zona centro sur, sobre la base del nuevo mecanismo propuesto por el Comité de Manejo (medida 10)
Sesión N° 6 11-10-2023	Establecimiento del Estatus y CBA para el año 2024 para los recursos anchoveta y sardina española zona norte, anchoveta y sardina española Regiones de Atacama y Coquimbo, anchoveta y sardina común Regiones Valparaíso a los Lagos y sardina austral de la Región de los Lagos y Región del General Carlos Ibáñez del Campo Pronunciamiento respecto de la Propuesta de Plan de Manejo y Programa de recuperación de sardina austral de la Región de los Lagos Propuestas de proyectos para el Programa de Investigación año 2025

5.5 Objetivo específico 5

“Implementar análisis de Evaluación de Estrategías de Manejo (EEM) basado en la plataforma openMSE.”

5.5.1 Implementación de EEM en la plataforma openMSE

En la **Figura 57** se muestran los resultados de las simulaciones para la razón entre la biomasa desovante y la biomasa desovante al RMS. El procedimiento de manejo actual conduce a la biomasa desovante del stock de anchoveta por sobre el RMS, con una probabilidad en torno a 0.25 y 0.50 de estar en una condición de sobreexplotación y sobrepesca, respectivamente en el mediano y largo plazo para el modelo operativo condicionado con el actual modelo de evaluación de stock, MO1 (**Figura 60-1**), y para el modelo operativo MO3 (ver **Figura 60-3**). En cambio, el procedimiento de manejo actual colapsa la biomasa desovante de stock de anchoveta en el corto y mediano plazo, con una probabilidad cercana a uno de estar en una condición de agotamiento para los modelos operativos MO2 y MO3 (**Figura 60-2-4**). El procedimiento de manejo actual ajustado al patrón retrospectivo para la CBA conduce a la biomasa desovante del stock de anchoveta por sobre (levemente) a la BD_{RMS} en el corto y mediano plazo para los modelos operativos OM1 y OM3. Para los modelos operativos MO2 y MO4, el procedimiento de manejo actual ajustado al patrón retrospectivo para la CBA colapsa la biomasa desovante en el mediano y largo plazo, con una probabilidad cercana a uno de estar en una condición de agotamiento (**Figura 60-2-4**). El procedimiento de manejo empírico basado en el nivel de captura de referencia de 570 mil toneladas conduce a la biomasa desovante del stock de anchoveta por sobre la BD_{RMS} para los modelos operativos MO1 y MO3, y en torno a la BD_{RMS} para el modelo operativo MO2 y levemente inferior a la BD_{RMS} para el modelo operativo MO4. En cambio, el procedimiento de manejo empírico basado en el nivel de captura de referencia de 710 mil toneladas no conduce a la biomasa desovante del stock de anchoveta a la BD_{RMS} para los modelos operativos MO2 y MO4. Y para el procedimiento de manejo empírico basado en el nivel de captura de referencia 430 mil toneladas conduce a la biomasa desovante del stock de anchoveta por sobre la BD_{RMS} para el modelo operativo MO2 y en torno a la BD_{RMS} para el modelo operativo MO4. En general, todos los procedimientos de manejo empíricos basados en una captura de referencia conducen a la biomasa desovante del stock de anchoveta por sobre la BD_{RMS} en el corto, mediano y largo plazo para los modelos operativos MO1 y MO3.

En la **Figura 58** se muestran los resultados de las simulaciones para la razón entre la mortalidad por pesca y la F_{RMS} . El procedimiento de manejo actual conduce a la mortalidad por pesca en torno al objetivo de manejo pesquero (F_{RMS}) para los modelos operativos MO1 y MO3. Para los modelos operativos MO2 y MO4 el procedimiento de manejo actual eleva la mortalidad por pesca muy por sobre la F_{RMS} , generando una condición de sobrepesca durante la proyección. El procedimiento de manejo actual ajustado al patrón retrospectivo para la CBA conduce a la mortalidad por pesca en torno (y levemente inferior) al objetivo de manejo pesquero (F_{RMS}) para los modelos operativos MO1 y MO3, para los modelos operativos MO2 y MO4 la mortalidad por pesca se eleva muy por sobre la F_{RMS} , generando una condición de sobrepesca durante la proyección. En general, los procedimientos de manejo empíricos basados en los diferentes niveles de captura de referencia mantienen la mortalidad por pesca por debajo del objetivo de manejo pesquero (F_{RMS}) para los modelos operativos MO1 y MO3. En cambio, para los modelos operativos MO2

y MO4, los procedimientos de manejo empíricos conducen la mortalidad por pesca por sobre la F_{RMS} , generando con ello una condición de sobrepesca. Cabe mencionar que el procedimiento de manejo basado en el conocimiento perfecto de la abundancia y puntos biológicos de referencia al RMS conducen a la mortalidad por pesca en el valor de la F_{RMS} .

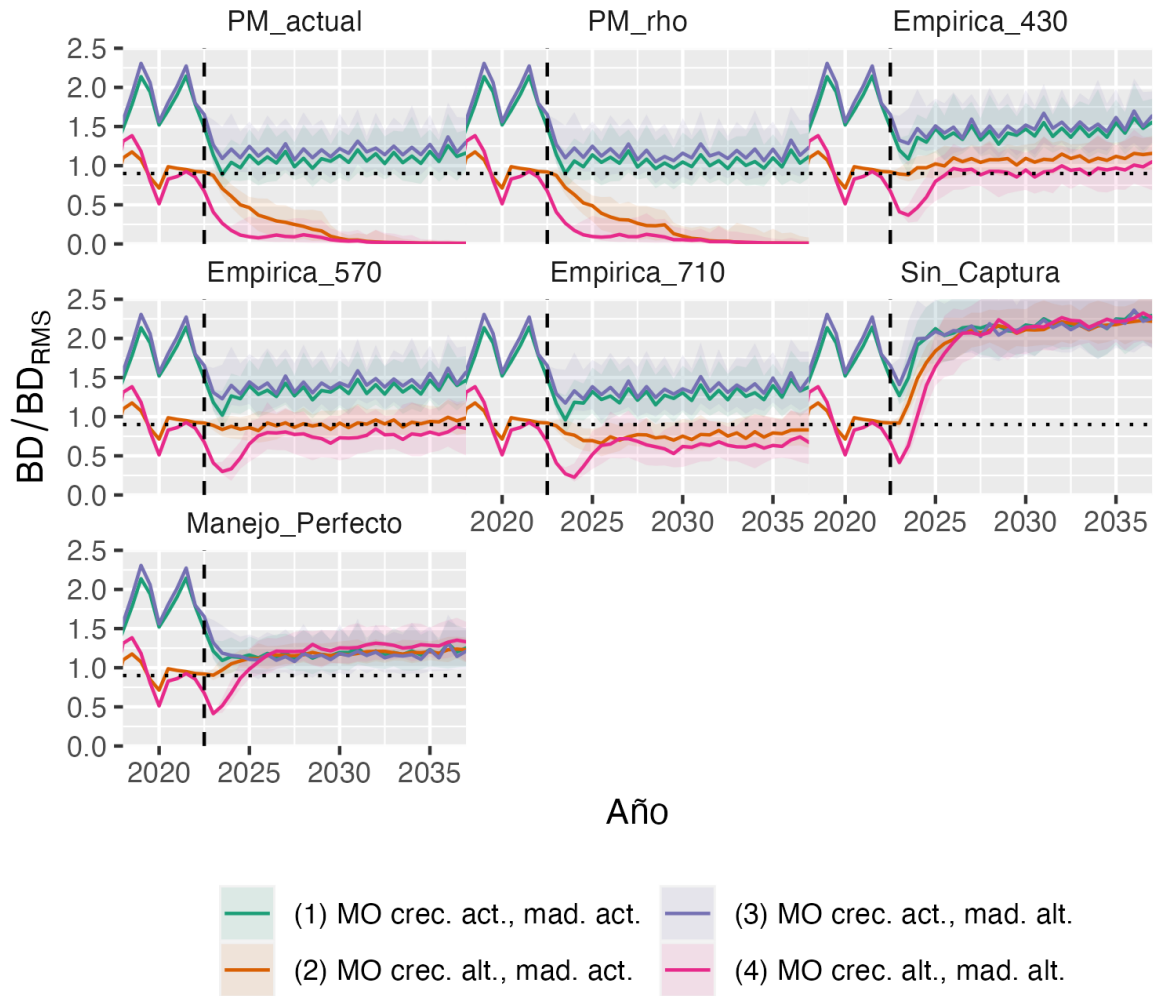


Figura 57. Proyecciones de la biomasa desovante respecto a su punto biológico de referencia (BD_{RMS}) para los diferentes modelos operativos (MO) durante la simulación con respecto a los diferentes procedimientos de manejo (PM) pesqueros evaluados.

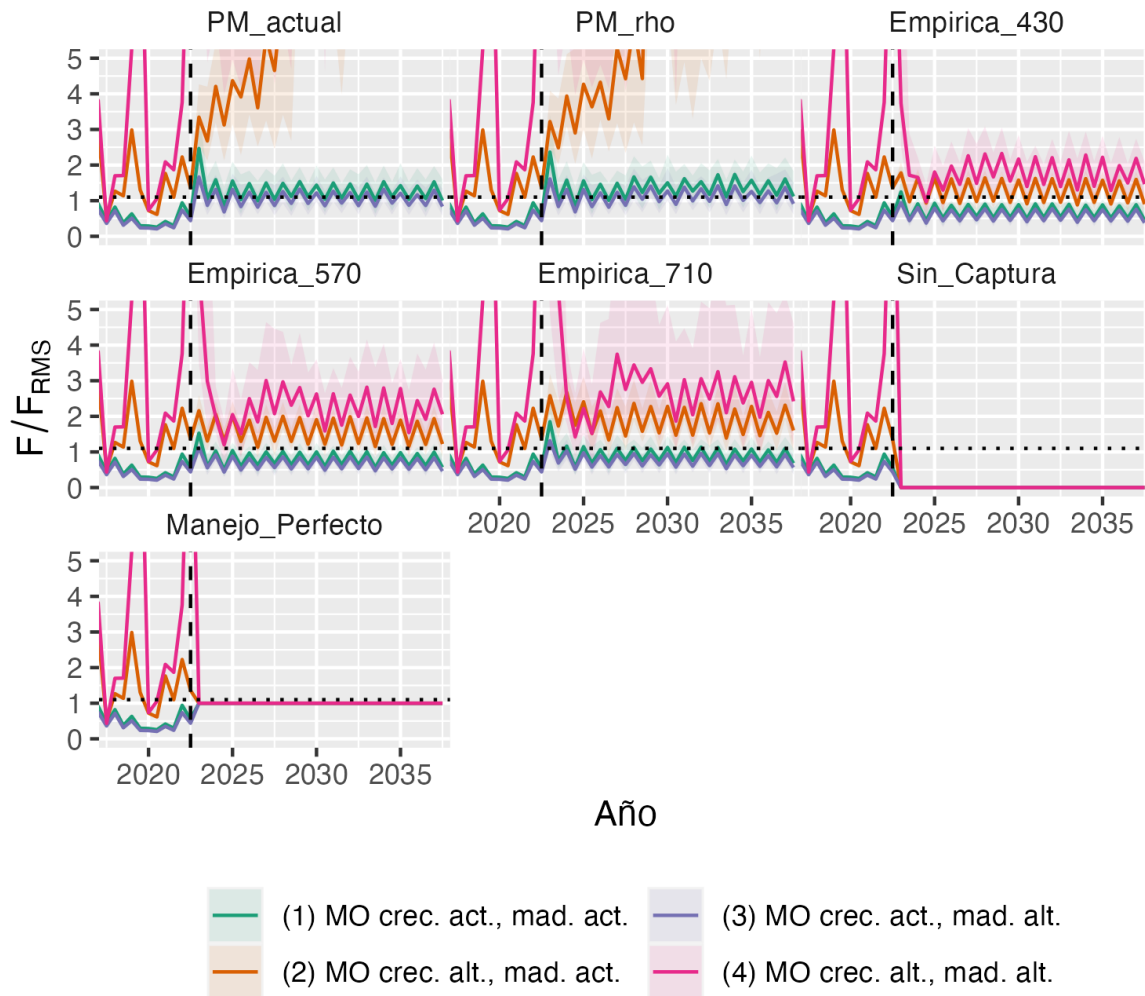


Figura 58. Proyecciones de la mortalidad por pesca respecto a su punto biológico de referencia (F_{RMS}) para los diferentes modelos operativos (MO) durante la simulación con respecto a los diferentes procedimientos de manejo (PM) pesqueros evaluados.



En la **Figura 59** se muestran los resultados de las simulaciones para la CBA anual. El procedimiento de manejo actual mantiene la CBA anual por sobre las 750 mil toneladas en el corto plazo, con una tendencia creciente hacia valores inferiores al millón de toneladas en el largo plazo para los modelos operativos MO1 y MO3. Mientras que para los modelo operativos MO2 y MO4, la CBA anual estimada oscila en las 750 mil toneladas en mediano y largo plazo. Para el procedimiento de manejo actual ajustado al patrón retrospectivo para la CBA mantiene la CBA anual en torno a las 750 mil toneladas en el corto plazo para los modelos operativos MO1 y MO3, con una tendencia creciente hacia el millón de toneladas en el largo plazo. Mientras que para los modelo operativos MO2 y MO4, la CBA anual estimada oscila en las 750 mil toneladas en mediano y largo plazo. En cambio, para los procedimiento de manejo empíricos basados en los diferentes niveles de captura de referencia mantienen en general muy poca variabilidad en torno al valor de captura, salvo para el nivel de captura de referencia de 710 mil toneladas. Para el procedimiento de manejo basado en el conocimiento perfecto de la abundancia y puntos biológicos de referencia al RMS mantiene la CBA anual en torno al millón de toneladas para el modelo operativo MO3 e inferior a este valor para el modelo operativo MO1. En cambio, para el modelo operativo MO2, la CBA anual estimada se mantiene oscilando en torno a las 500 mil toneladas, y para el modelo operativo MO4 la CBA estimada se mantiene oscilando por sobre las 250 mil toneladas.

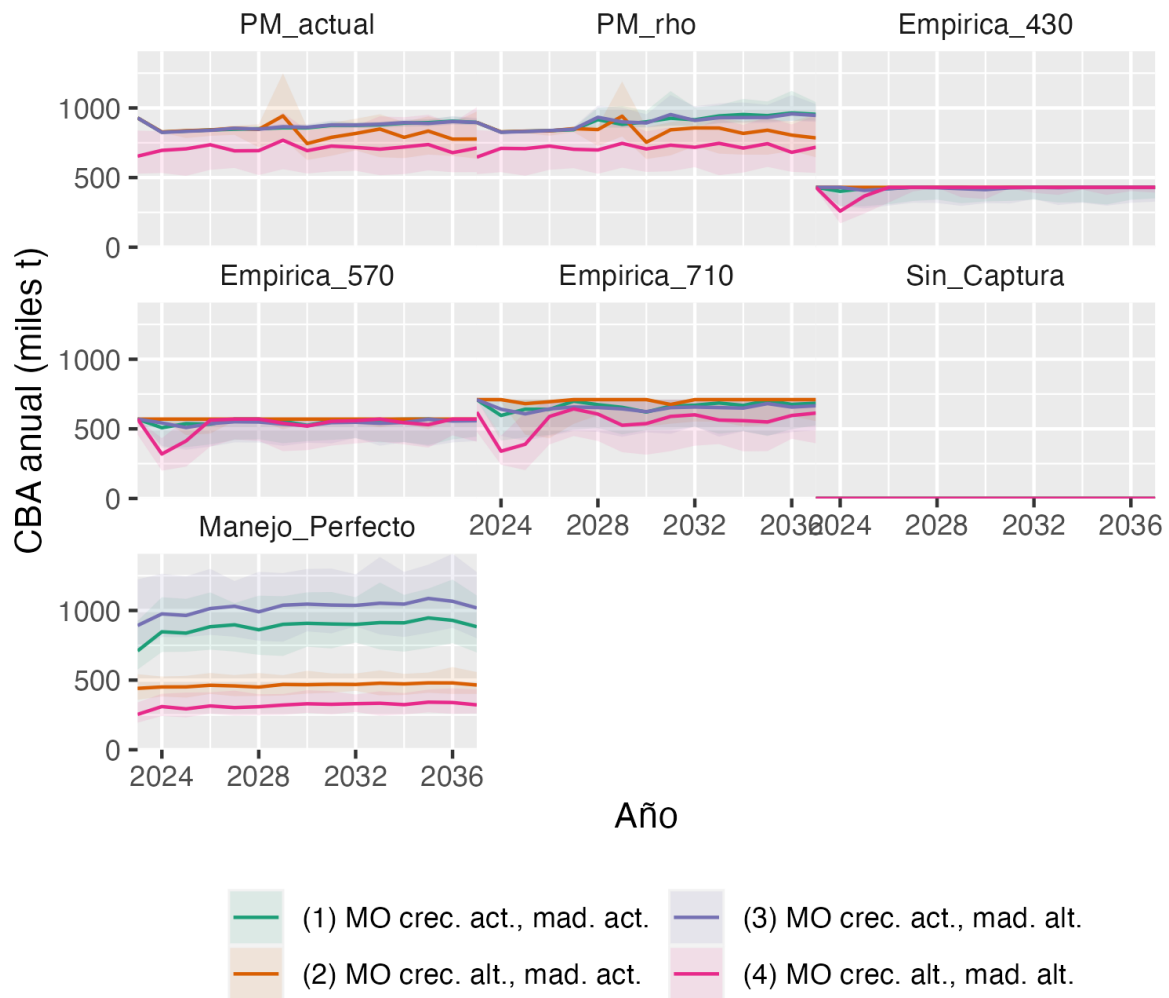


Figura 59. Proyecciones de la CBA anual para los diferentes modelos operativos (MO) durante la simulación con respecto a los diferentes procedimientos de manejo (PM) pesqueros evaluados.

Otra manera de representar los resultados anteriormente es a través de la modificación del diagrama de fase en función del tiempo (ver **Figura 74-75** en **Anexo A**). En la **Figura 60** se muestran las probabilidades temporales para cada estado de explotación del stock de anchoveta para los diferentes modelos operativos evaluados. Para el modelo operativo MO1 basado en el actual modelo de evaluación de stock, el procedimiento de manejo actual tiene una muy baja probabilidad de estar en una condición de agotamiento, una probabilidad en torno a 0.25 de estar en una condición de sobreexplotación y una probabilidad por sobre el 0.50 de estar en una condición de sobrepesca (**Figura 60-1**). El procedimiento de manejo actual ajustado al patrón retrospectivo para la CBA presenta el mismo comportamiento que el procedimiento de manejo actual, salvo que las probabilidades se ven levemente más altas que las observadas para el procedimiento de manejo actual. En cambio, para los procedimientos de manejo basados en una regla empírica (para los diferentes niveles de captura de referencia) mantienen una nula probabilidad de estar en una condición de agotamiento, una baja probabilidad (≈ 0.12) de estar en una condición de sobreexplotación y una alta probabilidad (> 0.75) de estar en una condición de plena y subexplotación, como por ejemplo, para el nivel de captura de referencia de 430 mil toneladas. Esta probabilidad disminuye a medida que aumenta el nivel de captura de referencia.

Para el modelo operativo MO2 basado en el crecimiento alternativo con la actual ojiva de madurez, el procedimiento de manejo actual y el procedimiento de manejo actual ajustado al patrón retrospectivo para la CBA tienen una alta probabilidad de estar en una condición de agotamiento en el mediano y largo plazo. En cambio, para el procedimiento de manejo basado en la regla empírica de la captura de referencia de 430 mil toneladas tiene una nula probabilidad de estar en una condición de agotamiento, una probabilidad de 0.25 de estar en una condición de sobreexplotación en el mediano y largo plazo, y una probabilidad cercana a 0.50 de estar en una condición de sobrepesca (**Figura 60-2**). A medida que aumenta el nivel de captura de referencia en los procedimientos de manejo empíricos, estos niveles de probabilidad van aumentando.

Para el modelo operativo MO3, condicionado al actual modelo de evaluación de stock pero con una ojiva de madurez sexual desplazada a tallas menores, el procedimiento de manejo actual presenta una pequeña probabilidad de estar en una condición de agotamiento, una probabilidad cercana al 0.25 de estar en una condición de sobreexplotación y una probabilidad en torno a 0.50 de estar en una condición de sobrepesca en el mediano y largo plazo. Estas probabilidades se ven levemente superiores para el procedimiento de manejo actual ajustado al patrón retrospectivo para la CBA (**Figura 60-3**). En cambio, para el procedimiento de manejo empírico basado en el nivel de captura de 430 mil toneladas presenta una nula probabilidad de estar en una condición de agotamiento, una probabilidad inferior a 0.10 de estar en una condición de sobreexplotación y una probabilidad mayor a 0.90 de estar en una condición de plena y subexplotación. Para el procedimiento de manejo empírico basado en el nivel de captura de 710 mil toneladas presenta una probabilidad cercana a 0.25 de estar en una condición de sobrepesca, una probabilidad en torno a 0.12 de estar en una condición de sobreexplotación y una probabilidad cercana a 0.75 de estar en una condición de plena y subexplotación.

Finalmente, para el modelo operativo MO4, condicionado con el crecimiento alternativo y la nueva ojiva de madurez desplazada hacia tallas menores, el procedimiento de manejo actual y el ajustado al patrón retrospectivo de la CBA presenta una alta probabilidad (> 0.80) de estar en una condición de agotamiento. En cambio, para el procedimiento de manejo empírico basado en el nivel de captura de 430 mil toneladas presenta una leve probabilidad (≈ 0.07) de estar en una condición de agotamiento, una probabilidad cercana a 0.50 de estar en una condición de sobreexplotación

y una probabilidad cercana a 0.75 de estar en una condición de sobrepesca (**Figura 60-4**). A medida que aumenta el nivel de captura de referencia, estas probabilidades aumentan, como por ejemplo, para el procedimiento de manejo empírico basado en la captura de referencia de 710 mil toneladas presenta una probabilidad mayor a 0.25 de estar en una condición de agotamiento, una probabilidad en torno a 0.75 de estar en una condición de sobreexplotación y una probabilidad cercana a uno de estar en una condición de sobrepesca en el mediano y largo plazo.



Figura 60. Diagrama de kobe modificado para presentar las probabilidades temporales para las diferentes zonas correspondientes a las métricas desempeño biológicas para los procedimientos de manejo (PM's) y modelos operativos (MO's).

En la **Figura 61** se muestra el gráfico de compensaciones entre las distintas métricas de desempeño basado en el mediano plazo para todos los modelos operativos. Para los procedimientos de manejo empíricos basados en los diferentes niveles de captura de referencia muestran una alta probabilidad de no estar en una condición de agotamiento en el mediano plazo. En cambio, el procedimiento de manejo actual y el ajustado al patrón retrospectivo para la CBA muestran una probabilidad cercana a 0.6 de no estar en una condición de agotamiento con una CBA promedio por sobre las 750 mil toneladas (**Figura 61-a**). Los procedimientos de manejo empíricos basados en los diferentes capturas de referencia muestran una probabilidad mayor a 0.85 de no estar en una condición de agotamiento y una probabilidad mayor a 0.5 de no estar en una condición de sobreexplotación en el mediano plazo (**Figura 61-b**). La CBA promedio de corto plazo no difiere de la CBA de mediano plazo para los diferentes procedimientos de manejo (**Figura 61-c**). El procedimiento de manejo actual y el procedimiento actual ajustado al patrón retrospectivo para la CBA muestran una variabilidad en torno al 15% con una CBA promedio cercana a 800 mil toneladas (**Figura 61-d**). En cambio, para el procedimiento de manejo empírico basado en la captura de referencia de 430 mil toneladas muestra una variabilidad superior al 20% en el mediano plazo, y a medida que aumenta la captura de referencia la variabilidad aumenta hasta alcanzar un valor cercano al 40% para el procedimiento de manejo empírico basado en la captura de referencia de 710 mil toneladas.

Con respecto a la consistencia en la CBA (las veces en que la CBA del segundo hito es mayor que la CBA del primer hito), la **Figura 62** muestra la razón entre las CBA's. En el procedimiento de manejo actual (PM actual), para los modelos operativos MO1 y MO3 esta razón es menor a uno durante toda la proyección. En cambio, para los modelos operativos MO2 y MO4 muestra valores mayores a uno, como también valores menores a uno. En el procedimiento actual ajustado al patrón retrospectivo para la CBA, para los modelos operativos MO1 y MO3, la consistencia de la CBA alcanza un valor en torno a uno en el mediano y largo plazo. En cambio, para los modelos operativos MO2 y MO4 esta razón es menor a uno en el mediano y largo plazo.

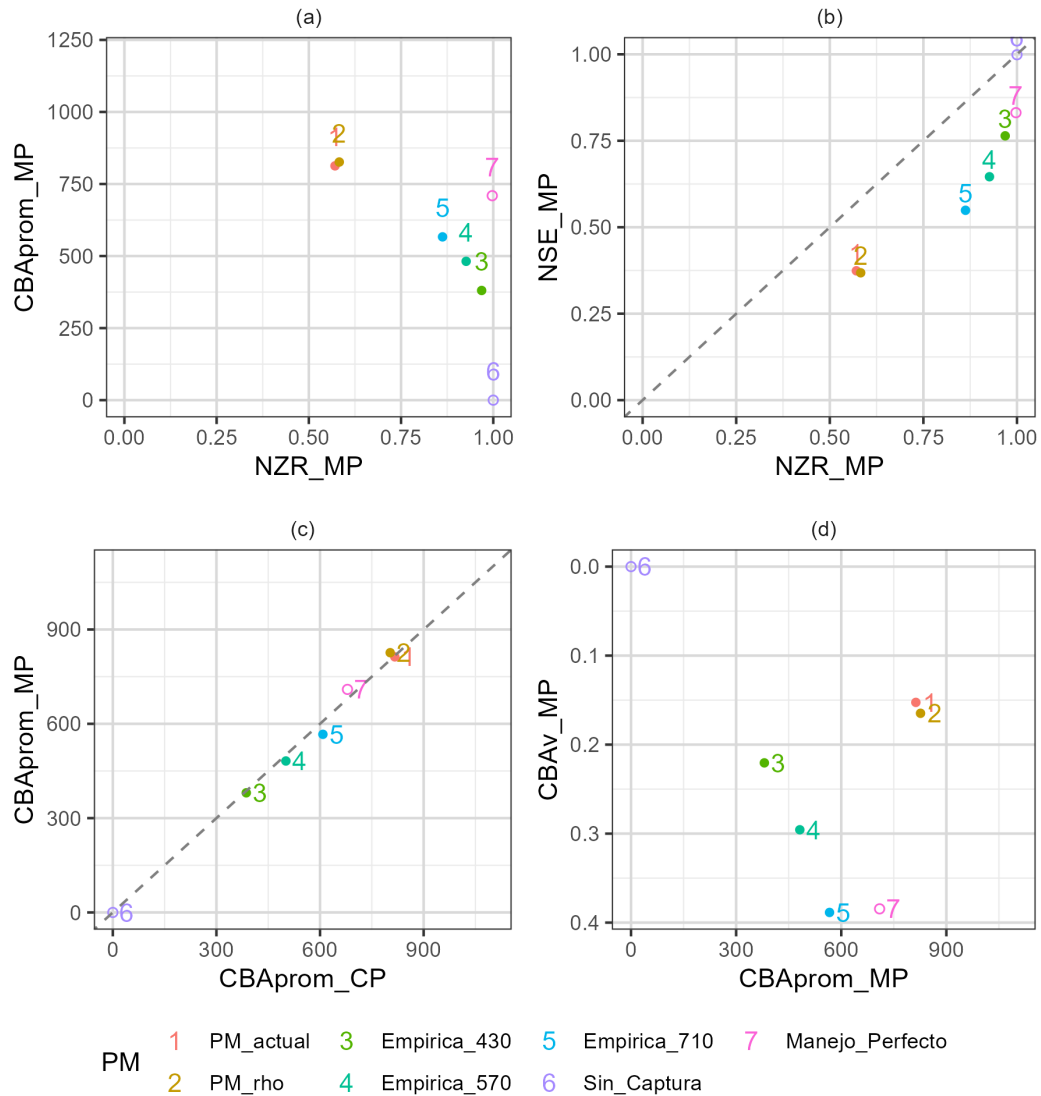


Figura 61. Gráfico de compensaciones entre las distintas medidas de desempeño para los diferentes procedimientos de manejo (PM's) y todos los modelos operativos configurados en el corto y mediano plazo.

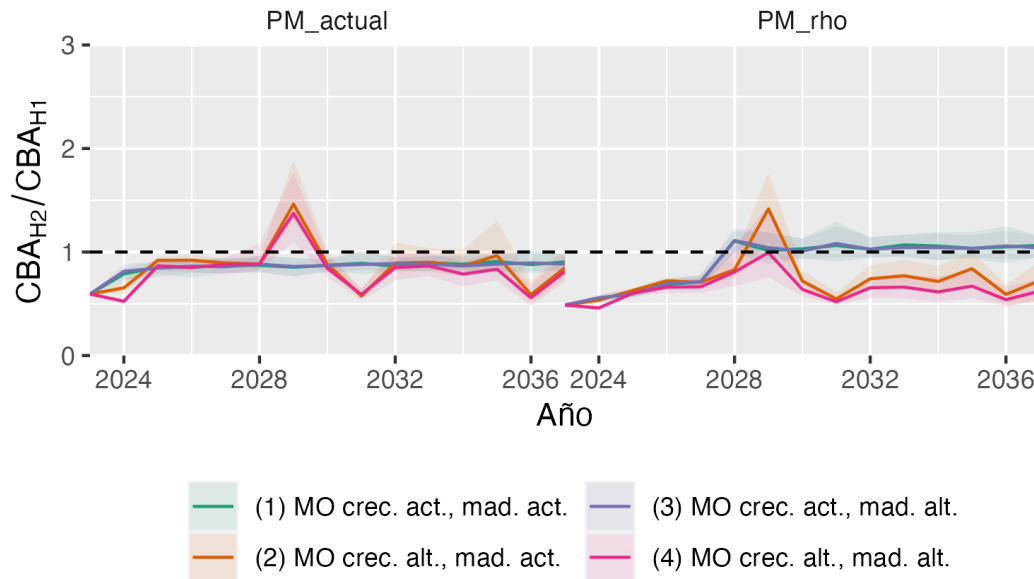


Figura 62. Consistencia en la CBA para el procedimiento de manejo actual y el corregido con el patrón retrospectivo para la CBA en los diferentes modelos operativos.

El resultado de las medidas de desempeño para los diferentes procedimientos de manejo con respecto a los diferentes modelos operativos en el corto, mediano y largo plazo son mostradas en la **Figura 63**. Para el modelo operativo MO1, condicionado con la actual evaluación de stock, el procedimiento de manejo actual muestra probabilidades mayores a 0.5 de no estar en una condición de sobreexplotación, de no estar en una condición de sobrepesca y hay una muy baja probabilidad (< 0.07) de estar en una condición de agotamiento en el corto, mediano y largo plazo. Por otro lado, el procedimiento de manejo actual presenta una baja probabilidad (< 0.33) de estar en una condición de sub y plena explotación en el corto, mediano y largo plazo, con una captura promedio de 870 (± 19.5) mil toneladas, una variabilidad en torno al 6% (± 0.04) y una baja probabilidad de que la CBA del segundo hito sea mayor que la CBA del primer hito durante la proyección (**Figura 63-1**). El procedimiento de manejo actual ajustado al patrón retrospectivo de la CBA muestra el mismo desempeño que el procedimiento de manejo actual en términos de las probabilidades de no estar en una condición de sobreexplotación, no estar en una condición de sobrepesca, no estar en una condición de agotamiento y estar en una condición de plena y subexplotación en el corto, mediano y largo plazo. Sin embargo, la captura promedio y su variabilidad aumenta a 905 (± 65.4) y 10% (± 0.03), respectivamente durante la proyección. Existe una probabilidad de 0.42 de que la CBA del segundo hito sea mayor que la CBA del primer hito. En general, los procedimientos de manejo empíricos muestran una alta probabilidad de no estar en una condición de sobreexplotación, de no estar en una condición de sobrepesca y no estar en una condición de agotamiento en el corto, mediano y largo plazo. El procedimiento de manejo empírico basado en el nivel de captura de referencia de 430 mil toneladas muestra una probabilidad media en torno a 0.76 (± 0.09) de estar en una condición de plena y subexplotación en el corto, mediano y largo plazo. Y esta probabilidad disminuye a medida que aumenta el nivel de captura de referencia, con un aumento de la variabilidad de la CBA promedio en el mediano y largo plazo (**Figura 63-1**).

Para el modelo operativo MO2, condicionado con el crecimiento alternativo y la ojiva de madurez actual, el procedimiento de manejo actual muestra una baja probabilidad de no estar en una condición de sobreexplotación, en una condición de sin sobrepesca y en una condición de agotamiento en el mediano y largo plazo. Hay una nula probabilidad de estar en una condición de plena y subexplotación en el corto, mediano y largo plazo. El procedimiento de manejo actual muestra una CBA promedio de 840 (± 35.9) mil toneladas, una variabilidad en torno al 20% (± 0.09) y una baja probabilidad de que la CBA del segundo hito sea mayor que la CBA del primer hito durante la proyección (**Figura 63-2**). El procedimiento de manejo actual ajustado al patrón retrospectivo de la CBA muestra el mismo desempeño que el procedimiento de manejo actual en términos de las bajas probabilidades de no estar en una condición de sobreexplotación, no estar en una condición de sobrepesca, no estar en una condición de agotamiento y estar en una condición de plena y subexplotación en el mediano y largo plazo. Sin embargo, la captura promedio y la variabilidad disminuyen a 833 (± 25.3) y 17% (± 0.09), respectivamente durante la proyección. Existe una probabilidad de 0.14 de que la CBA del segundo hito sea mayor que la CBA del primer hito. En general, los procedimientos de manejo empíricos muestran una alta probabilidad de no estar en una condición de sobreexplotación, de no estar en una condición de sobrepesca y no estar en una condición de agotamiento en el mediano y largo plazo. El procedimiento de manejo empírico basado en el nivel de captura de referencia de 430 mil toneladas muestra una probabilidad media en torno a 0.25 (± 0.03) de estar en una condición de plena y subexplotación en el corto, mediano y largo plazo. Y esta probabilidad disminuye a 0.05 (± 0.01) para el nivel de captura de referencia de 710 mil toneladas, con un aumento de la variabilidad de la CBA en torno a 27% en el mediano y largo plazo (**Figura 63-2**).

Para el modelo operativo MO3, condicionado a la actual evaluación de stock y la ojiva de madurez desplazada hacia tallas menores, el procedimiento de manejo actual muestra probabilidades mayores a 0.7 de no estar en una condición de sobreexplotación, de no estar en una condición de sobrepesca y de no estar en una condición de agotamiento en el corto, mediano y largo plazo. El procedimiento de manejo actual presenta una probabilidad media de 0.44 (± 0.02) de estar en una condición de sub y plena explotación en el corto, mediano y largo plazo, con una captura promedio de 868 (± 20.7) mil toneladas, una variabilidad en torno al 6% (± 0.04) y una baja probabilidad de que la CBA del segundo hito sea mayor que la CBA del primer hito durante la proyección (**Figura 63-3**). El procedimiento de manejo actual ajustado al patrón retrospectivo de la CBA muestra el mismo desempeño que el procedimiento de manejo actual en términos de las probabilidades de no estar en una condición de sobreexplotación, no estar en una condición de sobrepesca, no estar en una condición de agotamiento y estar en una condición de plena y subexplotación en el corto, mediano y largo plazo. Sin embargo, la captura promedio y su variabilidad aumenta a 902 (± 63.9) y 10% (± 0.02), respectivamente durante la proyección. Existe una probabilidad de 0.4 de que la CBA del segundo hito sea mayor que la CBA del primer hito. En general, los procedimientos de manejo empíricos muestran una alta probabilidad de no estar en una condición de sobreexplotación, de no estar en una condición de sobrepesca y no estar en una condición de agotamiento en el corto, mediano y largo plazo. El procedimiento de manejo empírico basado en el nivel de captura de referencia de 430 mil toneladas muestra una probabilidad media en torno a 0.87 (± 0.06) de estar en una condición de plena y subexplotación en el corto, mediano y largo plazo. Y esta probabilidad disminuye a medida que aumenta el nivel de captura de referencia, con un aumento de la variabilidad de la CBA promedio en el mediano y largo plazo (**Figura 63-3**).

Y finalmente, para el modelo operativo MO4, condicionado con el crecimiento alternativo y la ojiva de madurez desplazada hacia tallas menores, el procedimiento de manejo actual muestra muy bajas probabilidades de no estar en una condición de sobreexplotación, en una condición de sin sobrepesca y en una condición de agotamiento en el mediano y largo plazo. Hay una nula probabilidad de estar en una condición de plena y subexplotación en el corto, mediano y largo plazo. El procedimiento de manejo actual muestra una CBA promedio de 704 (± 45.2) mil toneladas, una variabilidad en torno al 41% (± 0.09) y una probabilidad de 0.19 de que la CBA del segundo hito sea mayor que la CBA del primer hito durante la proyección (**Figura 63-4**). El procedimiento de manejo actual ajustado al patrón retrospectivo de la CBA muestra el mismo desempeño que el procedimiento de manejo actual en términos de las bajas probabilidades de no estar en una condición de sobreexplotación, no estar en una condición de sobrepesca, no estar en una condición de agotamiento y estar en una condición de plena y subexplotación en el mediano y largo plazo. Sin embargo, la captura promedio y la variabilidad disminuyen a 699 (± 44.7) y 40% (± 0.09), respectivamente durante la proyección. Existe una probabilidad de 0.1 de que la CBA del segundo hito sea mayor que la CBA del primer hito. En general, los procedimientos de manejo empíricos muestran una probabilidad intermedia de no estar en una condición de sobreexplotación y de no estar en una condición de sobrepesca en el mediano y largo plazo. Y una probabilidad alta de no estar en una condición de agotamiento en el mediano y largo plazo. El procedimiento de manejo empírico basado en el nivel de captura de referencia de 430 mil toneladas muestra una probabilidad media en torno a 0.09 (± 0.02) de estar en una condición de plena y subexplotación en el corto, mediano y largo plazo. Y esta probabilidad disminuye a 0.02 (± 0.02) para el nivel de captura de referencia de 710 mil toneladas, con un aumento de la variabilidad de la CBA en torno a 49% en el mediano y largo plazo (**Figura 63-4**).

Se analizaron los niveles de sesgo, expresada a través de la media del error relativo entre la variable



poblacional estimada por el procedimiento de manejo versus las que son evaluadas respecto de las generadas por el modelo operativo, de los distintos modelos de estimación que están contenidos en el procedimiento de manejo actual (PM actual) y el ajustado al patrón retrospectivo para la CBA (PM rho) como precursores de un modelo operativo de simulación. Esto permitió evaluar una de las fuentes de incertidumbre que existen dentro del procedimiento de manejo. Para el modelo operativo MO1 condicionado con la actual evaluación de stock, la biomasa desovante presentó un pequeño sesgo positivo (sobreestimación) durante la proyección para el procedimiento actual de manejo pesquero (**Figura 64**). La distribución de este error se observó desplazada hacia valores positivos, con una mediana de 0.089, mientras que para el procedimiento de manejo actual ajustado al patrón retrospectivo de la CBA este valor fue levemente mayor, de 0.093. En cambio, para el modelo operativo MO2 condicionado con el crecimiento alternativo y la ojiva de madurez actual, la distribución del error se observó muy desplazada hacia la derecha, con una mediana de 1.003 para el procedimiento de manejo actual y este valor se reduce a 0.615 para el procedimiento actual ajustado al patrón retrospectivo para la CBA. Para el modelo operativo MO3, condicionado con el crecimiento actual y la ojiva de madurez desplazada hacia tallas menores, se observó un sesgo negativo (subestimación) durante la proyección con una mediana de -0.179 para el procedimiento de manejo actual y de un valor de -0.173 para el procedimiento de manejo actual ajustado al patrón retrospectivo de la CBA. Y para el modelo operativo MO4, condicionado con el crecimiento alternativo y la ojiva de madurez desplazada hacia tallas menores, se observó un sesgo positivo (sobreestimación) durante la proyección con una mediana de 2.154 para el procedimiento de manejo actual y de un valor de 1.795 para el procedimiento de manejo actual ajustado al patrón retrospectivo de la CBA.



(1) MO crec. act., mad. act.																			
	NSE_CP	NSE_MP	NSE_LP	NSP_CP	NSP_MP	NSP_LP	NZR_CP	NZR_MP	NZR_LP	ZV_CP	ZV_MP	ZV_LP	CBApron_CP	CBApron_MP	CBApron_LP	CBAY_CP	CBAY_MP	CBAY_LP	CBAcon
PM_actual	0.68	0.66	0.69	0.52	0.74	0.75	0.95	0.94	0.96	0.26	0.30	0.32	870.6	851.3	890.3	0.11	0.03	0.04	0.14
PM_rho	0.69	0.64	0.65	0.56	0.75	0.69	0.96	0.94	0.94	0.27	0.27	0.26	853.9	882.2	978.6	0.08	0.08	0.14	0.42
Empirica_430	0.89	0.91	0.93	0.93	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00	0.66	0.81	0.82	390.1	370.8	376.6	0.19	0.26	0.26	NaN
Empirica_570	0.84	0.87	0.90	0.82	0.98	0.98	0.98	1.00	1.00	0.52	0.66	0.69	511.0	479.6	487.6	0.21	0.30	0.30	NaN
Empirica_710	0.79	0.82	0.85	0.69	0.93	0.93	0.98	0.99	0.99	0.42	0.53	0.56	627.3	581.9	592.0	0.23	0.34	0.34	NaN
Sin_Captura	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NaN
Manejo_Perfecto	0.85	0.81	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	0.81	0.85	864.5	939.0	983.7	0.62	0.42	0.43	NaN
(2) MO crec. alt., mad. act.																			
	NSE_CP	NSE_MP	NSE_LP	NSP_CP	NSP_MP	NSP_LP	NZR_CP	NZR_MP	NZR_LP	ZV_CP	ZV_MP	ZV_LP	CBApron_CP	CBApron_MP	CBApron_LP	CBAY_CP	CBAY_MP	CBAY_LP	CBAcon
PM_actual	0.21	0.06	0.02	0.12	0.06	0.02	0.80	0.23	0.06	0.01	0.00	0.00	871.9	849.0	801.5	0.13	0.18	0.30	0.24
PM_rho	0.22	0.06	0.02	0.14	0.06	0.03	0.81	0.27	0.09	0.02	0.01	0.00	853.3	841.4	804.7	0.09	0.15	0.27	0.14
Empirica_430	0.56	0.72	0.78	0.74	0.82	0.86	1.00	0.99	1.00	0.22	0.25	0.28	422.1	410.5	415.5	0.04	0.09	0.07	NaN
Empirica_570	0.40	0.47	0.54	0.52	0.55	0.62	0.98	0.96	0.97	0.10	0.11	0.12	557.3	520.5	529.3	0.04	0.16	0.15	NaN
Empirica_710	0.30	0.26	0.35	0.34	0.39	0.46	0.96	0.83	0.88	0.05	0.04	0.06	688.8	602.9	617.2	0.06	0.27	0.27	NaN
Sin_Captura	0.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.88	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NaN
Manejo_Perfecto	0.76	0.92	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.76	0.92	0.96	475.8	476.0	495.5	0.33	0.28	0.28	NaN
(3) MO crec. act., mad. alt.																			
	NSE_CP	NSE_MP	NSE_LP	NSP_CP	NSP_MP	NSP_LP	NZR_CP	NZR_MP	NZR_LP	ZV_CP	ZV_MP	ZV_LP	CBApron_CP	CBApron_MP	CBApron_LP	CBAY_CP	CBAY_MP	CBAY_LP	CBAcon
PM_actual	0.81	0.73	0.75	0.73	0.85	0.84	0.96	0.97	0.98	0.42	0.45	0.46	862.8	851.5	891.6	0.11	0.04	0.04	0.13
PM_rho	0.81	0.72	0.71	0.75	0.86	0.80	0.96	0.96	0.97	0.43	0.43	0.39	846.9	887.8	972.2	0.09	0.09	0.13	0.40
Empirica_430	0.92	0.93	0.95	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.81	0.90	0.91	395.3	364.5	370.3	0.16	0.28	0.28	NaN
Empirica_570	0.89	0.90	0.92	0.92	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	0.70	0.80	0.82	518.5	472.4	480.5	0.18	0.32	0.32	NaN
Empirica_710	0.86	0.85	0.88	0.84	0.98	0.97	0.99	0.99	1.00	0.59	0.69	0.72	637.2	574.4	584.8	0.20	0.35	0.36	NaN
Sin_Captura	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NaN
Manejo_Perfecto	0.88	0.75	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.88	0.75	0.80	1,068	1,080	1,132	0.58	0.42	0.43	NaN
(4) MO crec. alt., mad. alt.																			
	NSE_CP	NSE_MP	NSE_LP	NSP_CP	NSP_MP	NSP_LP	NZR_CP	NZR_MP	NZR_LP	ZV_CP	ZV_MP	ZV_LP	CBApron_CP	CBApron_MP	CBApron_LP	CBAY_CP	CBAY_MP	CBAY_LP	CBAcon
PM_actual	0.03	0.05	0.03	0.04	0.04	0.02	0.10	0.14	0.07	0.00	0.00	0.00	661.1	700.0	751.2	0.36	0.36	0.52	0.19
PM_rho	0.04	0.05	0.04	0.06	0.04	0.03	0.10	0.15	0.09	0.00	0.00	0.00	658.6	693.6	747.3	0.36	0.34	0.50	0.10
Empirica_430	0.13	0.50	0.55	0.33	0.51	0.49	0.34	0.89	0.91	0.06	0.10	0.10	338.2	376.3	389.7	0.34	0.26	0.20	NaN
Empirica_570	0.10	0.35	0.40	0.20	0.38	0.36	0.23	0.75	0.79	0.04	0.04	0.05	417.8	454.5	470.2	0.36	0.41	0.36	NaN
Empirica_710	0.08	0.27	0.31	0.10	0.34	0.31	0.16	0.63	0.66	0.01	0.03	0.04	480.0	507.0	526.3	0.38	0.59	0.51	NaN
Sin_Captura	0.43	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.68	1.00	1.00	0.43	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NaN
Manejo_Perfecto	0.19	0.84	0.93	1.00	1.00	1.00	0.59	1.00	1.00	0.19	0.84	0.93	309.6	342.8	362.8	0.61	0.42	0.42	NaN

Figura 63. Probabilidades de los procedimientos de manejo con respecto a las diferentes métricas de desempeño para los diferentes modelos operativos en el corto, mediano y largo plazo.

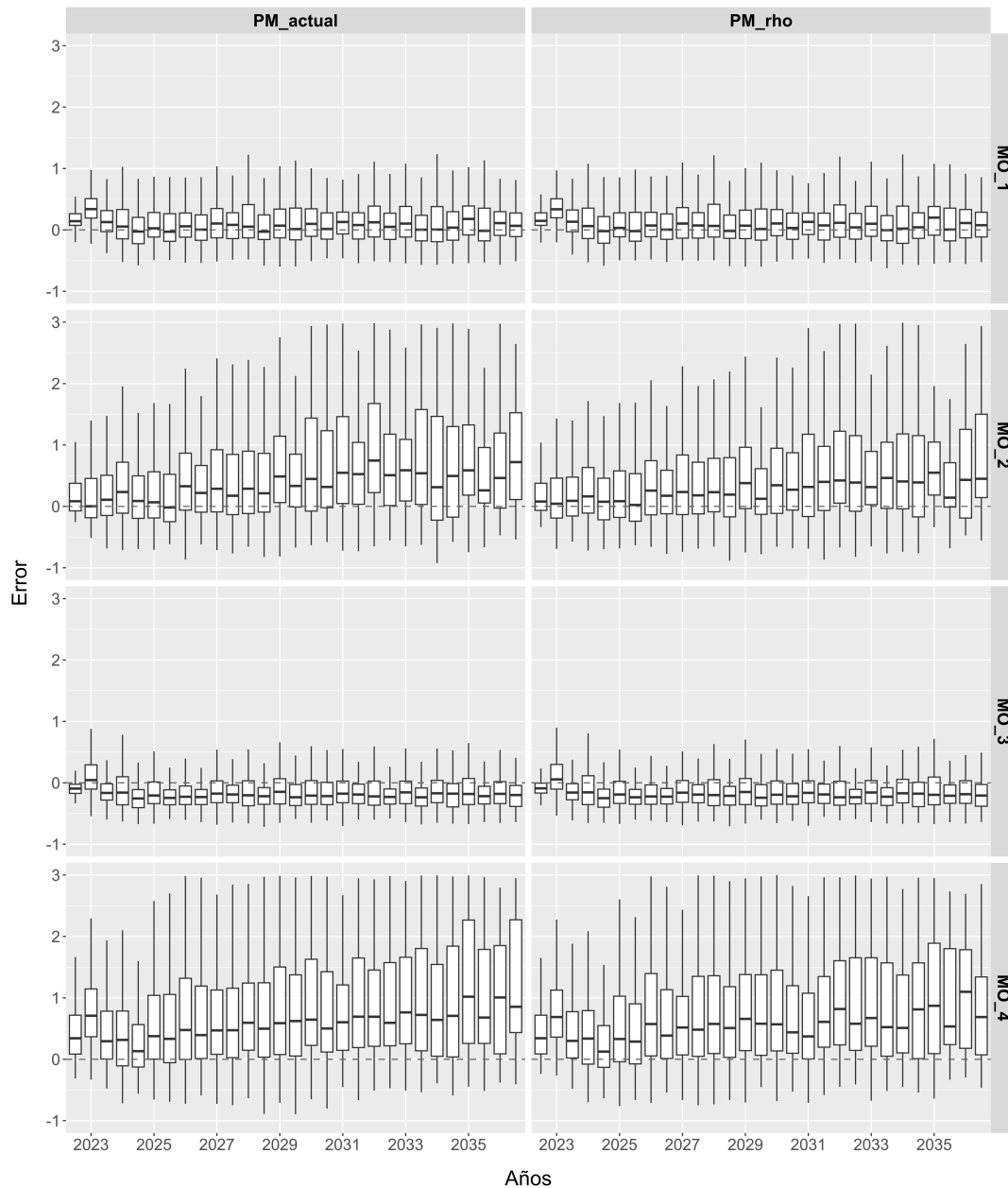


Figura 64. Gráfica de la estimación del error para la biomasa desovante a través de los diferentes modelos operativos para el procedimiento de manejo actual y el procedimiento de manejo actual ajustado al patrón retrospectivo para la CBA.

6 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Durante marzo y julio del año 2019 se realizó el taller de revisión por pares (Dr. Ianelli) y el taller benchmark stock assessment (Dra. Mente-Vera), respectivamente, los que permitieron validar el enfoque de modelación empleado en la evaluación del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile, implementar las recomendaciones de la revisión por pares y explorar nuevas modificaciones al modelo. Los resultados de estos dos talleres permitieron proponer un modelo de evaluación de stock con fines de manejo pesquero. Posteriormente, se han incorporado mejoras en la codificación del modelo y también en el procesamiento de los datos biológico-pesqueros que son usados por el modelo de evaluación. Además, se ha avanzado en determinar un procedimiento estándar para la proyección del stock de anchoveta durante el primer y segundo hito de asesoría, los resultados de este procedimiento fueron presentados en la cuarta, quinta y séptima sesión del CCT-PP durante el 2021. Durante la cuarta y quinta sesión del CCT-PP del 2022, se continuó avanzando en la implementación de un procedimiento estándar para proyectar los reclutamientos en los dos hitos de asesoría del stock de anchoveta. Y en la cuarta sesión del CCT-PP del 2023 se actualizaron las relaciones entre la biomasa acústica del crucero de fin de año y los reclutamientos del modelo de evaluación incorporando funciones no lineales (*“smooth”*) en los modelos y actualizando la información analizada a los datos más recientes. Este proceso de mejora continua (PMCCAC) permite informar sobre el proceso de evaluación de stock, el establecimiento del estatus y la captura biológicamente aceptable para el año 2024.

Los resultados de la evaluación de stock para la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile permiten establecer una reducción del potencial reproductivo (RPR) de 0.74, en cambio, la biomasa desovante respecto de la biomasa desovante virginal (BD/BD_0) se ubicó en torno a un 0.41, valor que está por debajo del objetivo de manejo pesquero. El diagnóstico de stock de anchoveta al último semestre de la evaluación es de una mortalidad por pesca un 78% inferior al máximo definido por el F_{RMS} y una biomasa desovante un 18% inferior al máximo definido por la BD_{RMS} . Esta situación genera una probabilidad nula de definir el stock de anchoveta en una condición de sobrepesca ($F_{2023.5} > F_{RMS}$) y una probabilidad de 0.87 de definir el stock de anchoveta en una condición de sobreexplotación ($BD_{2023.5} < BD_{RMS}$). La CBA para el stock de anchoveta para el año 2024, según el criterio de la F_{RMS} , sin el descuento del descarte y tomando en cuenta el escenario de los reclutamientos promedios observados en el primer y segundo semestre por separado, debería estar en el rango de 430 y 455 mil toneladas anuales para el nivel del riesgo del 10% y 50%, respectivamente. Considerando el escenario de los reclutamientos proyectados desde un modelo de serie temporal arima, el valor de la CBA debería estar en el rango de 477 y 486 mil toneladas anuales para el nivel de riesgo del 10% y 50%, respectivamente. Y el escenario de reclutamientos proyectados desde un modelo poblacional logístico, el valor de la CBA debería estar en el rango de 434 y 443 mil toneladas anuales para el nivel de riesgo del 10% y 50%, respectivamente.

El ajuste del modelo de evaluación a los índices de biomasa directa indican que la incertidumbre es más del doble a la supuesta por el modelo de evaluación y de la mitad para el índice de biomasa desovante estimada a partir del crucero de huevos, medido a través de la raíz de los cuadrados medios de los errores (RMSE). Sin embargo, el análisis de los residuales de los índices de abundancia directa e indirecta no indican un patrón aparente que señale una mala especificación en el modelo o que los residuales estén autocorrelacionados en el tiempo. Los datos de las capturas semestrales fueron bien ajustados por el modelo de evaluación debido al bajo coeficiente de variación asignado para esta variable, además los residuales para esta

variable se encuentran uniformemente distribuidos en torno a cero y no presentan autocorrelación en el tiempo. Por otro lado, las estructuras de longitud fueron bien ajustadas por el modelo de evaluación para las distintas flotas, sin patrones aparentes, como quedo demostrado en el análisis de residuales para una distribución multinomial. En varios semestres se puede observar que las estructuras de longitudes parecen presentar menor variabilidad que la supuesta por el modelo. Esto debido principalmente a una clave talla-edad variable para cada fuente de información, permitiendo disminuir la magnitud de los residuales y evitar patrones en ellos, generando que los residuales estén uniformemente distribuidos y sin presentar autocorrelación en el tiempo, salvo por las altas proporciones que se observan en algunos semestres y que el modelo de evaluación no es capaz de generar distribuciones leptocúrticas.

La robustez del modelo de evaluación al descuento de información muestra para la biomasa desovante algunas diferencias que son significativas a partir del tercer, cuarto, séptimo y noveno semestre, es decir, 2022.0, 2021.5, 2020.0 y 2019.0, respectivamente. Estas diferencias podrían ser explicadas por las bajas capturas y las altas estimaciones de biomasa acústicas observadas en el período 2019-2020, con una alta presencia de individuos de menor tamaño. Para el primer y segundo descuento (2023.0 y 2022.5) no hay diferencias significativas, debido principalmente a la tendencia negativa que presenta la biomasa desovante durante el período 2022-2023. En cuanto al desempeño del modelo de evaluación, se evaluó el perfil de verosimilitud del parámetro de escala, logaritmo del reclutamiento virginal ($\log R_0$), que es función de dos grupos de componentes de la verosimilitud que están en contradicción entre ellos, los datos de biomasa total acústica del sur de Perú y las estructuras de longitud de las capturas de Chile y Perú tienen su mínimo en valores menores al de R_0 , mientras que la biomasa total acústica de Chile y sus estructuras de longitud dan soporte para valores mayores de R_0 . Los datos de estructuras de longitud para las capturas de Chile y Perú muestran información sobre valores más limitados de R_0 que están próximo a 100, mientras que los otros datos indican que este valor es poco probable y que R_0 debería ser mayor, por sobre los 180. Esto indica que los datos de estructuras de longitud para la flota chilena y peruana son importantes en restringir la incertidumbre sobre el límite superior del tamaño de la población.

Además, durante los últimos años el modelo de evaluación de stock presenta un claro patrón a sobreestimar los reclutamientos al descuento de información, con valores de 3.25, 4.13, 0.93, 8.11, 2.46 y 2.95 para los semestres 2022.0, 2021.5, 2021.0, 2020.0, 2019.5 y 2019.0, respectivamente. Aunque existen muchas razones asociadas a este patrón, desde como está configurado el modelo de evaluación hasta la inconsistencia que presentan los datos usados en el modelo, este patrón tiene importantes consecuencias durante la proyección del stock para el segundo hito de asesoría, ya que hay una alta probabilidad de estar considerando peces que no existen en el cálculo de la CBA. Dada esta incertidumbre en el último reclutamiento estimado por el modelo de evaluación, es necesario aplicar el enfoque precautorio. Una posible solución inmediata es seleccionar el percentil más bajo (10%) de la CBA o aún más bajo (1-5%), dado los niveles de incertidumbre del último reclutamiento estimado. Otra solución al patrón retrospectivo en los reclutamientos y la incertidumbre asociada a la última estimación, es penalizar el último reclutamiento antes de comenzar con la proyección del stock y posterior cálculo de la CBA.

En este sentido, durante los últimos años se viene trabajando en el proceso de mejora continua (PMCCAC) de proponer un procedimiento metodológico estándar para la proyección del stock de anchoveta y estimación de la CBA. En la primer sesión del CCT-PP del año 2022 se revisaron los supuestos para la proyección del stock de anchoveta para el segundo hito de asesoría, basada en

el crucero acústico del norte de Chile. En la cuarta y quinta sesión del 2022 se revisó el supuesto de los reclutamientos futuros usados en la proyección del stock basado en modelos temporales autoregresivos. En la cuarta sesión del CCT-PP del año 2023 se actualizaron las relaciones y datos entre la biomasa acústica y los reclutamientos del modelo de evaluación, incorporando modelos no lineales y funciones de suavización. Además, en esta sesión se presentó otra alternativa de penalización del último reclutamiento basada en el patrón retrospectivo que presenta el modelo de evaluación, la corrección de rho de Mohn para un conjunto de años descontados desde la evaluación de stock. La estimación de biomasa total por el crucero acústico del norte de Chile realizado entre noviembre y diciembre del año 2023 con anomalías negativas en la temperatura superficial del mar, estimó una biomasa total de 255 mil toneladas, con un 88% correspondiente a la biomasa acústica de juveniles. Este valor permitió corregir el último reclutamiento estimado por el modelo de evaluación de 1122 a 149 mm de reclutas mediante la relación entre la biomasa acústica de juveniles y los reclutas del modelo para una condición cálida. Posteriormente, se proyectó el stock de anchoveta un año (primer y segundo semestre del 2024) para estimar la CBA, la cual es reportada en este informe bajo los diferentes escenarios de reclutamientos futuros durante la proyección.

Un mecanismo efectivo para mejorar la evaluación de stock de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile es direccionar los esfuerzos para realizar investigación conjunta con el Perú, ya que no hay ningún índice de abundancia directa e indirecta que cubra la totalidad de la distribución del stock de forma simultánea. Los índices de abundancia están limitados a la jurisdicción de cada país y no hay indicadores de cuál proporción del stock está en cada jurisdicción a un tiempo (t). Además, no hay estructura de longitud de los índices acústicos del sur de Perú y se emplea la selectividad estimada para el índice acústico de Chile. Aunque con el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) hay un cierto nivel de intercambios de datos de la pesquería (capturas y estructuras de tamaños), aún no es posible intercambiar información sobre los cruceros acústicos del sur de Perú, debido probablemente que para obtener la abundancia a la talla sería necesario separar la información acústica y re-procesar dicha información. Por otra parte, las recomendaciones de CBA que realiza el IMARPE (2021) es mediante la aplicación de una evaluación de stock de datos pobres para la zona sur del Perú, el cual incorpora el valor más alto de las biomazas acústicas totales estimadas durante el año y abarcan una serie temporal desde el año 1985 hasta 2021 y la serie de capturas anuales observadas van desde el año 1959 al 2021. Los resultados de este modelo indican que la biomasa de anchoveta de la región sur de Perú es altamente variable y que fluctúa alrededor de su nivel de referencia estimado en 904 mil toneladas. Y los niveles de mortalidad por pesca que se vienen aplicando sobre el stock se encuentran por debajo de su nivel de referencia (F_{RMS}).

Finalmente, con respecto al objetivo específico cinco de este proyecto, implementar análisis de Evaluación de Estrategias de Manejo (EEM) basado en la plataforma openMSE, los principales resultados indican que el procedimiento actual de manejo pesquero y el ajustado al patrón retrospectivo para la CBA conducen a la biomasa desovante por sobre el objetivo de manejo pesquero en el corto y mediano plazo, con una muy baja probabilidad (< 0.06) de alcanzar una condición de agotamiento para los modelos operativos MO1 y MO3. Sin embargo, existe una probabilidad en torno al 0.25 de estar en una condición de sobreexplotación y una probabilidad superior a 0.5 de estar en una condición de sobrepesca durante la proyección del stock de anchoveta. El procedimiento de manejo actual ajustado al patrón retrospectivo para la CBA presentó una biomasa desovante más próxima al objetivo de manejo pesquero que el procedimiento actual, con un leve aumento de las probabilidades de estar en una condición de agotamiento, sobreexplotación y de

sobrepesca al compararlas con las estimadas para el procedimiento actual de manejo pesquero. El análisis comparativo entre los modelos operativos MO1 y MO3 indican que, al haber un desplazamiento de la ojiva de madurez hacia tallas menores, produce un aumento en biomasa desovante, lo que se traduce en una disminución de las probabilidad de estar en una condición de agotamiento, de sobreexplotación y de sobrepesca, en comparación con el modelo operativo MO1, y con una probabilidad en torno a 0.5 de estar en una condición de plena y subexplotación durante la proyección del stock de anchoveta. Los procedimientos de manejo basado en una regla empírica presentan una alta probabilidad de estar en una condición de plena y subexplotación para los modelos operativos MO1 y MO2, alcanzando una probabilidad cercana a 0.8 para el procedimiento empírico basado en la captura de referencia de 430 mil toneladas. Esta probabilidad empieza a disminuir a medida que aumenta el nivel de captura de referencia, y aumentan las probabilidades de estar en una condición de sobreexplotación y sobrepesca, alcanzando valores en torno a 0.12 y 0.25, respectivamente para una captura de referencia de 710 mil toneladas durante la proyección del stock de anchoveta.

El procedimiento actual y el ajustado al patrón retrospectivo para la CBA conducen a la biomasa desovante a una condición de agotamiento para los modelos operativos MO2 y MO4, debido principalmente el bajo valor especificado para la mortalidad natural asociado a los parámetros de crecimiento alternativo, los cuales presenta un diferencia de un 100% con respecto al valor especificado para los modelos operativos MO1 y MO3. Esto implica que ningún procedimiento de manejo pesquero basado en modelo de evaluación de stock funcionará bien cuando el parámetro de la mortalidad natural está mal especificado. Sin embargo, los procedimientos de manejo basado en una regla empírica logran conducir a la biomasa desovante en torno al objetivo de manejo pesquero en el mediano y largo plazo para los modelos operativos MO2 y MO4. Esto ocurre para los procedimientos de manejo empíricos basado en el nivel de captura de referencia de 410 y 570 mil toneladas, con una alta probabilidad de estar en una condición de sobrepesca. Y en menor medida para el nivel de captura de referencia de 710 mil toneladas, el cual presenta una alta probabilidad (> 0.5) de estar en una condición de sobreexplotación y sobrepesca. El cambio de la ojiva de madurez hacia tallas menores para el modelo operativo MO4, repercute en un aumento de la probabilidad en torno a 0.25 de estar en una condición de agotamiento en el mediano y largo plazo para el procedimiento de manejo empírico basado en el nivel de captura de referencia del 710 mil toneladas. Los resultados obtenidos por los modelos operativos MO2 y MO4, no implica que la formulación sobre el crecimiento alternativo (basado en macro-anillos) este malo, sino se debe a una mala especificación del parámetro de la mortalidad natural. Las medidas de sesgo evaluadas permitió determinar el nivel de consistencia en la estimación de un modelo base a sus propios datos y los supuestos de error de observación. Gran parte del sesgo estimado por los procedimientos de manejo actual y el ajustado al patrón retrospectivo para la CBA en los modelos operativos MO2 y MO4 se debe a que estos son inadecuados para estimar los niveles de reclutamientos, ya que los reclutamientos estimados para estos modelos operativos son muy por debajo de los niveles estimados para los modelos operativos MO1 y MO3, y dado los niveles de CBA estimados por estos procedimientos de manejo, llevan a la biomasa desovante a una condición de agotamiento en el mediano y largo plazo.

En terminos generales, considerando toda la incertidumbre (MO's) del sistema, hay una probabilidad mayor a 0.8 y mayor a 0.5 de no generar una condición de agotamiento y de sobrepesca para los procedimientos de manejo pesquero basados en una regla empírica. Si se considera el nivel de captura de referencia de 430 mil toneladas anuales, este genera una nula probabilidad de estar en una condición de agotamiento y una probabilidad de 0.25 de estar en una condición



de sobreexplotación. Estos resultados son coincidentes con lo reportado por Canales y Cubillos (2021), quienes estiman un mínimo riesgo de sobrepesca y sobreexplotación para un bajo nivel de captura (200 mil toneladas por semestre) independiente de la condición biológica y régimen de productividad (reclutamientos) que sean considerados. En cambio, para el procedimiento actual y el ajustado al patrón retrospectivo para la CBA presentan una probabilidad en torno a 0.45 de generar una condición de agotamiento y una probabilidad cercana a 0.6 de generar una condición de sobreexplotación. Las CBA's estimadas para los procedimientos de manejo basados en modelo de evaluación son altas, pero con una variabilidad inferior al 20% en el mediano plazo. En cambio, para los procedimientos de manejo pesquero basado en una regla empírica la variabilidad en la CBA es mayor en comparación a los procedimientos basados en un modelo de evaluación, y esta variabilidad aumenta a medida que aumenta el nivel de captura de referencia. Los procedimientos de manejo pesquero basado en una regla empírica superan a los modelos basados con respecto a las diferentes medidas de desempeño basados en la componente biológica y pesquera. En general, los procedimientos de manejo pesquero basado en regla empírica evitan alcanzar una condición de agotamiento para los modelos operativos MO2 y MO4. Sin embargo, para el procedimiento de manejo basado en la regla empírica de una captura de referencia de 710 mil toneladas la biomasa del stock de anchoveta no alcanza el RMS para los modelos operativos MO2 y MO4, y es posible que sea necesario ajustar la captura de referencia o el índice dereferencia hacia valores más bajos.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alagaraja, K. 1984. Simple methods for estimation of parameters for assessing exploited fish stocks. *Indian J. Fish.*,31:177-208.
- Alverson, D.L. y M.J. Carney. 1975. A graphic review of the growth and decay of population cohorts. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*,36:133-143.
- Basilone, G., C. Guisande, B. Patti, S. Mazzola, A. Cuttitta, A. Bonanno, A.R. Vergara y I. Maneiro. 2006. Effect of habitat conditions on reproduction of the European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Strait of Sicily. *Fish. Ocenaogr.*,15:4, 271-280.
- Bertrand, A., M. Segura, M. Guitiérrez y L. Vásquez. 2004. From small-scale habitat loopholes to decadal cycles: a habitat-based hypothesis explaining fluctuation in pelagic fish populations off Peru. *Fish Fish.*,5: 296-316.
- Baranov, F.I. 1918. On the question of the biological basis of fisheries, *Nauchnye Issledovaniya Ikhtiologicheskii Instituta Izvestiya*, vol.~1,81-128 pp.
- Beverton, R.J.H. y S.J. Holt. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. *Fish. Invest. Ser.* 2,19,533 pp.
- Blanco, J.L., A.C. Thomas, M.E. Carr y P.T. Strub. 2001. Seasonal climatology of hydrographic conditions in the upwelling region off northern Chile. *J. Geophys. Res.*,106,11, 451-11,467.
- Böhm, G., C. Hernández, G. Pérez, E. Díaz, L. Cortez, L. Ossa, F. Cerna, C. Valero, C. Machuca, L. Muñoz, H. Reyes, M. Troncoso, C. Gaspar, Z. Young y R. Aravena. 2013. Asesoría integral para la toma de decisiones en pesca y acuicultura, 2013. Actividad 1: Recursos pelágicos: Pesquería Recursos pelágicos Zona Norte. Subsecretaría de Economía. Informe Final. 267 pp.
- Böhm, G., C. Hernández, E. Díaz, R. Ojeda, F. Cerna, C. Valero, C. Machuca, L. Muñoz, C. Rozas, H. Reyes, M. Pizarro, R. Aravena, M. Troncoso, C. Gaspar y Z. Young. 2016. Programa de Seguimiento de las Pesquerías Pelágicas Zona Norte. Subsecretaría de Economía y EMT. Informe Final. 364 pp.
- Böhm, G., C. Hernández, E. Díaz, G. Pérez, R. Ojeda, F. Cerna, M. Gómez, M. Pizarro, T. Berguer, A. Bustamante, R. Aravena, G. Muñoz y C. Gaspar. 2021. Programa de Seguimiento de las Pesquerías Pelágicas de la zona norte de Chile, entre la Región Arica y Parinacota a la Región de Coquimbo, año 2020. Subsecretaría de Economía y EMT. Informe Final. 169 pp.
- Bowler, D.E. et. al.~2017. Cross-realm assessment of climate change impacts on species abundance trends. *Nat. Ecol. Evol.*1,0067.
- Butler, J. 1989. Growth during the larval and juveniles stages of the northern anchovy *Engraulis mordax* in the California Current, 1980-1984. *Fish. Bull.*87:645-652.
- Cai, W., S. Borlace, M. Lengaigne, P. van Rensch, M. Collins, G. Vecchi, A. Timmermann, A. Santoso, M.J. McPhaden, L. Wu, M.H. England, G. Wang, E. Guilyardi y F.F. Jin. 2014. Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. *Nature Clim. Change*,4:111-116.
- Canales, T. M. y E. Leal. 2009. Parámetros de historia de vida de la anchoveta *Engraulis ringens* Jenyns, 1842, distribuida en la zona centro norte de Chile. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*,44(1):173-179.



Canales, C., R. Wiff y J.C. Quiroz. 2011. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2012. Metas Cualitativas; Cuarto Objetivo Específico. Informe Final. 23 pp+Anexos.

Canales, T.M. C. Canales, M.G. Böhm y C. Castillo. 2014. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2014. Proyecto 2.6. Investigación del status y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de anchoveta y sardina española regiones XV a II, año 2014: Anchoveta XV - II Regiones, 2014. Informe Final. Instituto de Fomento Pesquero. 39 pp. + Anexos.

Canales, C. y L. Cubillos. 2021. Empirical survey-based harvest control rules in a transboundary small pelagic fishery under recruitment regime shifts: The case of the northern Chilean-southern Peruvian anchovy. *Marine Policy*, 134, 104784. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104784>

Carmichael, J. y K. Fenske. 2010. Third National Meeting of the Regional Fisheries Management Councils's Scientific and Statistical Committees. Report of a National SSC Workshop on BC Control Rule Implementation and Peer Review Procedures. 95 pp.

Carruthers, R. and A. Hordyk. 2018. The Data-Limited Methods Toolkit (DLMtool): An R package for informing management of data-limited populations. *Methods Ecol Evol.* 2018(9): 2388–2395

Carvalho, F., H. Winker, D. Courtney, M. Kapur, L. Kell, M. Cardinale, M. Schirripa, *et al.* 2021. A cookbook for using model diagnostics in integrated stock assessment. *Fisheries Research*, 240: 105959. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165783621000874>.

Castillo, J. A. Saavedra, C. Hernández, V. Catasti, F. Leiva, J. Letelier, H. Reyes, M. Pizarro, B. Leiva, F. Cerna, A. López, L. Herrera, G. Claramunt, A. Mujica y E. Uribe. 2009. Evaluación hidroacústica reclutamiento anchoveta entre la XV y IV Regiones, año 2009. Informe Final. FIP 2008-02. 285 pp + Figuras, Tablas y Anexos.

Castillo, J. A. Saavedra, F. Leiva, H. Reyes, M. Pizarro, F. Espíndola, V. Catasti, C. Lang, C. Hernández, B. Leiva, F. Cerna, A. López, L. Herrera, G. Claramunt, E. Oliva, P. Moreno y M. Medina. 2010. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2010. Informe Final. FIP 2009-02. 225 pp + Figuras, Tablas y Anexos.

Castillo, J. A. Saavedra, F. Leiva, H. Reyes, M. Pizarro, V. Catasti, C. Lang, M., San Martin, B. Leiva, F. Cerna, A. López y L. Herrera. 2011. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2011. Informe Final. FIP 2010-13. 248 pp + Figuras, Tablas y Anexos.

Castillo, J. A. Saavedra, F. Leiva, H. Reyes, M. Pizarro, V. Catasti, C. Lang, M., San Martin, B. Leiva, F. Cerna, A. López y L. Herrera. 2012. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2012. Informe Final. FIP 2010-13. 248 pp + Figuras, Tablas y Anexos.

Castillo, J. A. Saavedra, F. Leiva, H. Reyes, M. Pizarro, V. Catasti, C. Lang, M., San Martin, B. Leiva, F. Cerna, A. López y L. Herrera. 2013. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2013. Pre-Informe Final. FIP 2012-11. 248 pp + Figuras, Tablas y Anexos.

Cerna, F. y G. Plaza. 2016. Daily growth patterns of juveniles and adults of the Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) in northern Chile. *Mar. Fresh. Res.*, .

Chirichigno, N. y J. Vélez. 1998. Clave para identificar los peces marinos del Perú (2^{da} edición). Pub. Esp. Inst. Mar Perú. 500 p.~

CIAM, 2017. Condición biológica pesquera y ambiental de las regiones XV, I y II. Informe mensual – Marzo del 2017. 38 pp.

Claramunt, G., L.R. Castro, L.A. Cubillos, Hans-Jurgen Hirche, G. Perez y M. Braun. 2012. Inter-annual reproductive trait variation and spawning habitat preferences of *Engraulis ringens* off northern Chile. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*,47(2):227-243.

Claramunt, G., Herrera, G., Moreno, P. y C. Azocar. 2014. Evaluación de la biomasa desovante de anchoveta en la XV, I y II Regiones, Año 2013. Pre-Informe Final. FIP 2013-06.

Contreras-Reyes, J.E., T.M. Canales y P.M. Rojas. 2016. Influence of climate variability on anchovy reproductive timing off northern Chile. *J. Mar. Sys.*,164:67-75.

Correa-Ramírez, M., S. Hormazabal y G. Yuras. 2007. Mesoscale eddies and high chlorophyll concentrations off central Chile. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L12604, [doi:10.1029/2007GL029541](https://doi.org/10.1029/2007GL029541).

Correa-Ramírez, M.A., S.E. Hormazabal y C.E. Morales. 2012. Spatial patterns of annual and interannual surface chlorophyll-a variability in the Peru-Chile Current System. *Prog. Oceanogr.*,92-95:8-17.

Cubillos, L. A., R. Serra y P. Fréon. 2007. Synchronous pattern of fluctuation in three anchovy fisheries in the Humboldt Current System. *Aquat. Living Resour.*,75:69-75.

Espíndola, F. y J.C. Quiroz. 2017. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sostenibles de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2018, Anchoveta XV - II Regiones, 2017. Informe 1 Estatus. IFOP. 131 pp.

FAO (1997) Enfoque Precautorio para la Pesca de Captura y la Introducción de especies. FAO Orientaciones Técnicas para la Pesca Responsable. N°2. Roma. FAO. 64 p.

FAO (2003) La ordenación pesquera. El enfoque de ecosistemas en la pesca. FAO Orientaciones técnicas para la pesca responsable. No.~4, Supl. 2. Roma, FAO, 133 pp.~

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

Gavaris, S. y J.N. Ianelli. 2002. Statistical issues in fisheries stock assessments. *Scand. J. Statist.*,29:245-267.

Gruus, A., W.J. Harford, M.J. Schirripa, L. Velez, S.R. Sagarese, Y. Shin y P. Verley. 2016. Management strategy evaluation using the individual-based, multispecies modeling approach OSMOSE. *Ecol. Model.*,340:86-105.

Hansen, J., M. Soto, R. Ruedy, K. Lo, D.W. Lea y M. Medina-Elizade. 2006. Global temperature change. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 103(39): 14288-14293.

Hastie, T.J. y R.J. Tibshirani. 1990. Generalized Additive Models. Chapman y Hall/CRC.

Hewitt, D.A. y J.M. Hoenig. 2005. Comparison of two approaches for estimating natural mortality based on longevity. *Fish. Bull.*103:433-437.

Hoening, J.M. 1983. Empirical use of longevity data to estimate mortality rates. *Fish. Bull.*,81:898-903.



Hormazabal, S., G. Shaffer, J. Letelier y O. Ulloa. 2001. Local and remote forcing of sea surface temperature in the coastal upwelling system off Chile. *J. Geophys. Res.*, 106,16,657-16,671.

IMARPE, 2021. Informe sobre la situación de la anchoveta disponible en la región sur del mar peruano y perspectivas de explotación para la primera temporada de pesca 2022. Resolución Ministerial N° 173-2021-PRODUCE. 15 pp.

Leal E. y C. Canales. 2014. Convenio de Desempeño: Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, 2015. Anchoveta III-IV Regiones. Informe de estatus y cuota. 110 pp.

Lee, H.H., K.R. Piner, R.D. Methot y M.N. Maunder. 2014. Use of likelihood profiling over a global scaling parameter to structure the population dynamics models: an example using blue marling in the Pacific Ocean. *Fish. Res.*, 158: 138-146.

Legault, C.M. 2009. Report of the Retrospective Working Group, 2008, Woods Hole, Massachusetts. US Dept Commer, Northeast Fish Sci Cent Ref Doc. 09-01; 30 pp.

Leiva, F., R. Vargas, C. Grendi, U. Cifuentes, C. Rozas, B. Leiva, F. Cerna, A. López, C. Lang, L. Herrera, J. Jaque, J. Angulo y V. Valenzuela. 2016. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2015. Informe Final, IFOP, 335 pp.

Leiva, F., B. Leiva, F. Sánchez, M. Pizarro, C. Grendi, A. Bustamante, U. Cifuentes. 2018. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2017. Informe de Avance, IFOP, 87 pp.

Longhurst, A.R., S. Sathyendranath, T. Platt y C. Cavehill. 1995. An estimate of global primary production in the ocean from satellite radiometer data. *J. Plankton Res.* 17, 1245-1271.

Martínez, C., Baros., V., Cortes., M et al.~1998. Programa de Marcaje de Anchoveta. Fase I: Marcacio. Informe Final FIP-IT/96-04. Fondo de Investigación Pesquera (FIP), 88 pp +Anexos.

Martínez, C., G. Böhm, E. Díaz, L. Ossa, H. Reyes, R. Aravena, F. Cerna, V. Boic, C. Machuca, L. Muñoz y M. Troncoso. 2009. Programa: Seguimiento del Estado de Situación de las Principales Pesquerías Nacionales. Proyecto: Investigación de la Situación de la Pesquería Pelágica de la Zona Norte, 2008 – Informe Final. Convenio SUBPESCA – IFOP. Instituto Fomento Pesquero, Valparaíso, Chile.

Medina, M., L. Herrera, J. Castillo, J. Jaque y N. Pizarro. 2015. Alimentación de la anchoveta (*Engraulis ringens*) en el norte de Chile (18°- 25°40 S) en diciembre de 2010. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*,43(1): 46-58.

Melo, Y. C. 1984. Age studies on anchovy *Engraulis capensis* Gilchrist off South West Africa. *S. Afr. J. Mar. Sci.*2:19-31.

Mohn, R.K. 1993. Bootstrap estimates of ADAPT parameters, their projection in risk analysis and the retrospective patterns. *In: Risk Evaluation and Biological Reference Points for Fisheries Management*, pp. 173-184. Ed. by S.J. Smith, J.J. Hunt and D. Rivard. Canadian Special Population Fisheries and Aquatic Science 120.

Mohn, R. 1999. The retrospective problem in sequential population analysis: An investigation using cod fishery and simulated data. *ICES J. Mar. Sci.*, 56: 473-488.



- Niklitschek, E., C. Garcés y P. Toledo. 2018. Determinación de unidades poblacionales de anchoveta (*Engraulis ringens*) en Chile. Informe Pre-Final. Universidad de Los Lagos. 186 pp.
- Niquen, M. y M. Bouchon. 2004. Impact of El Niño events on pelagic fisheries in Peruvian waters. *Deep-Sea Res. II*, 51, 563-574.
- NRC-National Research Council. 1998. Improving Fish Stock Assessments. National Academic Press. Washington D.C.: 188 pp.
- Parma, A.N. 1993. Retrospective catch-at-age analysis of pacific halibut: implications on assessment of harvesting policies. In: Proceeding of the International Symposium on Management Strategies for Exploited Fish Populations, pp 247-265. Ed. by G. Kruse, D.M. Eggers, C. Pautzke, R.J. Marasco and T.J. Quinn II. Alaska Sea Grant College Program.
- Pauly, D. 1980. On the inter relationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *J. Cons. CIEM*, 39(2): 175-92.
- Payá I, C. Canales, D. Bucarey, M. Canales, F. Contreras, F. Espíndola, E. Leal, R. Tascheri, A. Yañez y M.J. Zúñiga. 2014. Proyecto 2.16: Revisión de los puntos biológicos de referencia (Rendimiento Máximo Sostenible) en las pesquerías nacionales. Convenio II: Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales año 2014. Informe Final. Subsecretaría de Economía y EMT - IFOP. 51 pp.+ 4 Anexos.
- Pinheiro, J.C. y D.M. Bates. 2000. Mixed-Effects Models in S and S-PLUS. Springer-Verlag, New York, 528 pp.
- Plaza, G., F. Cerna y J. Legua. 2012. Validación de formación de anillos primarios y macro-anillos de crecimiento en otolitos de anchoveta de la zona norte. Informe Final. PROY. SUBPESCA ID N°4728-31LP11. 130 pp.
- Plaza, G., M. Landaeta, A. Hernández, J. Contreras, C. Rodríguez, J. Merino, D. Queirolo, F. Cerna, M. Gómez, C. Machuca y F. Espíndola. 2017. Revisión experta de la estimación y asignación de edad de la anchoveta XV-II Región. Informe Final. Proyecto FIP 2014-31. 125 pp.
- Prosch, R. M. 1986. Early growth in length of the anchovy *Engraulis capensis* Gilchrist off South Africa. *S. Afr. J. Mar. Sci.*, 4: 181-191.
- Restrepo V.R., G.G. Thompson, P.M. Mace, W.L. Gabriel, L.L. Low, A.D. MacCall, R.D. Methot, J.E. Powers, B.L. Taylor, P.R. Wade, y J.F. Witzig. 1998. Technical Guidance On the Use of Precautionary Approaches to Implementing National Standard 1 of the Magnuson-Stevens Fishery Conservation and Management Act. NOAA Technical Memorandum NMFS-F/SPO.
- Rikhter, V.A. y V.N. Efanov. 1976. On one of the approaches to estimation of natural mortality of fish population. *ICNAF Res. Doc.*, 76/VI/8:12p.
- Rojas O, A Mujica, M Labra, G Lederman y H Miles. 1983. Estimación de la abundancia relativa de huevos y larvas de peces. Informe IFOP/CORFO 83-31: 1-99.
- Saetersdal, G. y J.E. Valdivia. 1964. Un estudio del crecimiento, tamaño y reclutamiento de la anchoveta (*Engraulis ringens* J.) basado en datos de frecuencia de longitud. Instituto de Investigación de los Recursos Marinos, La Punta, Callao, Perú. Boletín N° 4, vol 1, 85-136 pp.
- Schnute, J. y D. Fournier. 1980. A new approach to length-frequency analysis: Growth Structure. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37(9): 1337-1351.



Serra, R. y E. Gil. 1975. Marcación de anchoveta en la zona norte de Chile. Metodología y trabajos preliminares. *Rev. Com. Perm. Pacífico Sur*,3: 3-19.

Serra, J.R. 1983. Changes in the abundance of pelagic resources along the Chilean coast. *In*: G.D. Sharp and J. Csirke (Eds.) Proceedings of the Expert Consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources. San José, Costa Rica, 18 - 29 April 1983. *FAO Fish. Rep.*291(2): 255-284.

Serra, R. y C. Canales. 2011. Investigación del Estatus y Evaluación de Estrategias de Explotación Sustentables 2011, de las Principales Pesquerías Chilenas. Actividad 1: Peces Pelágicos: Anchoveta y sardina española XV, I y II Regiones. 2011.

Serra, R. y C. Canales. 2012. Estatus y Posibilidades de Explotación Biológicamente Sustentables de los Principales Recursos Pesqueros Nacionales, Año 2012. Evaluación de Estrategias de Explotación Sustentables 2011, de las Principales Pesquerías Chilenas. Actividad 1: Peces Pelágicos: Anchoveta y sardina española XV, I y II Regiones. 2011.

Serra, R. y C. Canales. 2013. Investigación del Estatus y Evaluación de Estrategias de Explotación Sustentables 2013, de las Principales Pesquerías Chilenas. Actividad 1: Peces Pelágicos: Anchoveta y sardina española XV, I y II Regiones. 2011. Informe Final.

Silva, C., M.A.Barbieri, E. Yáñez, J.C. Guitiérrez-Estrada y T.M. DelValls. 2012. Using indicators and models for an ecosystem approach to fisheries and aquaculture management: the anchovy fishery and Pacific oyster culture in Chile: case studies. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 40(4): 955-969.

Simpson, J. y R. Buzeta. 1967. El crecimiento y la edad de la anchoveta (*Engraulis ringens*, Jenyns) en Chile basado en estudios de frecuencia de longitud. *Boletín Científico*, N° 3., IFOP, 56 pp.

Sinclair, A., D. Gascon, R. O'Boyle, D. Rivard and S. Gavaris. 1991. Consistency of some northwest Atlantic groundfish stock assessment. *NAFO Scientific Council Studies*,16: 59-77.

Tascheri, R. 2022. Convenio de Desempeño 2021: Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2021: Merluza común, 2022. Documento Técnico Consolidado. Instituto de Fomento Pesquero. 102 p. Subsecretaría de Economía y EMT.

Taylor, C.C. 1958. Natural mortality rate of Georges Bank haddock. U.S. Fish. Wildl. Serv. , *Fish. Bull.*,58: 1-7.

Trijoulet, V., C.M. Albertsen, K. Kristensen, C.M. Legault, T.J. Miller and A. Nielsen. 2023. Model validation for compositional data in stock assessment models: Calculating residuals with correct properties. *Fisheries Research*, 257: 106487. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165783622002648>.

Yáñez-Rubio, A., A. Llanos-Rivera, L. Castro, G. Claramunt y L. Herrera. 2011. Variations in type, width, volume and carbon content of anchoveta, *Engraulis ringens* food items during the early larval stages. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*,91(6): 1207-1213.

Yáñez, E., A. González y M.A. Barbieri. 1995. Estructura térmica superficial del mar asociada a la distribución espacio-temporal de sardina y anchoveta en la zona norte de Chile entre 1987 y 1992. *Invest. Mar.*,23: 123-147.



Valle-Levinson, A. y J. Moraga-Opazo. 2006. Observations of bipolar residual circulation in two equatorward-facig semiarid bays. *Cont. Shelf Res.*,26: 179-193.

Vega R., L. Ossa, B. Suárez, M.F. Jiménez, S. Henríquez, A. González, R. Ojeda, A. Simeone, C. Anguita, M. Sepúlveda, M.J. Pérez, M. Santos, J. Cavieres, P. Paredes, I. Cari, P. Zárate y 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 EMT. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile. 341 p + Anexos.

Waldron, M., M.J. Armstrong y R.M. Prosch. 1989. Aspects of the variability in growth of juvenile anchovy *Engraulis capensis* in the southern Benguela System. *S. Afr. J. Mar. Sci.*,8: 9-19.

Waldron, M., M.J. Armstrong y B.A. Roel. 1992. Birthdate distribution of juvenile anchovy *Engraulis capensis* caught in the southern Benguela System. *S. Afr. J. Mar. Sci.*,12: 865-871.

Wang, S.P., M.N. Maunder, K.R. Piner, A. Aires-da-Silva y H.H. Lee. 2014. Evaluation of virgin recruitment profiling as a diagnostic for selectivity curve structure in integrated stock assessment models. *Fish. Res.*,158: 158-164.

Anexo

A Documento de especificación de las pruebas de EEM

A.1 Introducción

En febrero del año 2013, se publicó en el Diario Oficial de Chile la Ley 20.657, Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA), que cambió el paradigma predominante de manejo pesquero en Chile, debido a que el estado de explotación de las principales pesquerías nacionales se encontraba en su mayoría sobreexplotadas e incluso algunas en estado de colapso, siendo urgente poner a la conservación y el uso sostenible de los recursos como uno de los ejes rectores de la regulación de la actividad pesquera (Reyes *et al.* 2017). Entre estos cambios, fue la adopción del enfoque de precautorio para la pesca (FAO 1995), el enfoque ecosistémico para la pesca (FAO 2003) y el rendimiento máximo sostenible (RMS) basados en objetivos de manejo pesquero (Maunder, 2008). Con esta legislación, además se establecieron los comités científicos técnicos y de manejo pesquero (Reyes *et al.* 2017) y se confirió mayor peso al asesoramiento científico en el proceso de toma de decisiones para establecer los niveles de captura total permisibles (Leal *et al.* 2010).

La LGPA introdujo el requisito de planes de manejo pesqueros obligatorios (PMP; Título II Párrafo 3° LGPA). Estos instrumentos de administración vinculante y constituyen un documento fundamental en el actual marco de gobernanza institucional para la gestión de las pesquerías nacionales. Estos deben especificar los objetivos, las metas y el período para reconstruir o mantener las poblaciones de peces al nivel del RMS junto con las estrategias para alcanzar los objetivos y metas establecidos. El PMP para la anchoveta y sardina española de las Regiones Arica y Parinacota, Tarapacá hasta la Región de Antofagasta fue aprobado mediante Res. Ex. N° 1.197 del 9 de abril del 2018. El PMP declara una serie de objetivos operacionales asociados a estándares de manejo (indicador y punto de referencia) con los cuales se debe medir el progreso de la pesquería como consecuencia de la aplicación de medidas y/o acciones de manejo. Estos objetivos fueron sistematizados en cuatro dimensiones, biológica, ecológica, económica y social.

Para el caso de la dimensión biológica, el PMP declara llevar y mantener el stock de anchoveta a un nivel que permita asegurar la sustentabilidad biológica del recurso. Para tal efecto, el objetivo N°1.1 es llevar y mantener el recurso al RMS, y la medida de manejo asociada a este objetivo es establecer una captura biológicamente aceptable (CBA) basada en los puntos biológicos de referencia (PBR, Res. Ex. N° 291 del año 2015). Para el caso del stock de anchoveta del norte de Chile se establecieron proxies al RMS (Payá *et al.* 2014), los cuales fueron ratificados por el comité científico técnico de pequeños pelágicos (CCT-PP). Para la biomasa desovante al RMS (BD_{RMS}) se estableció un valor igual al 50% de la biomasa desovante virginal (BD_0) y para la mortalidad por pesca al RMS (F_{RMS}) se estableció aquella mortalidad por pesca que en el largo plazo produce el 55% de la biomasa desovante por recluta ($F55\%BDPR$). La regla de control para este objetivo es aplicar una mortalidad por pesca constante al nivel del RMS.

A.2 Especie estudiada

Engraulis ringens es una especie pelágica (**Figura 65**) que se distribuye principalmente entre los 4° LS hasta los 42° LS, distinguiéndose tres stocks; uno que va desde el norte y centro del Perú, otro que va desde el sur del Perú al norte de Chile y el último en la zona central de Chile (Claramunt *et al.*, 2012). Para este estudio, el área de distribución de la anchoveta está comprendida entre el sur de Perú y norte de Chile (16°LS – 24°LS, **Figura 66**) en la cual la especie constituye una unidad stock independiente del norte-centro de Perú, norte-centro y centro-sur de Chile, siendo una unidad de stock y pesquería independiente (Cubillos *et al.* 2007).

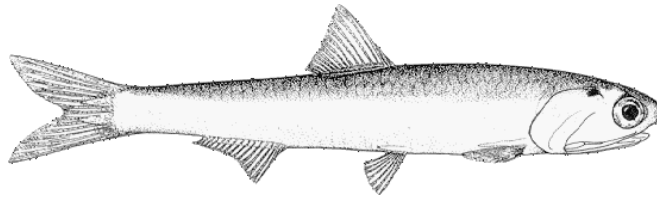


Figura 65. Anchoveta *Engraulis ringens* (Jenyns 1842).

Es importante señalar que el stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile se plantea como un stock independiente del stock de anchoveta de la III y IV región (Leal y Canales, 2014). Canales y Leal (2009) plantean que la anchoveta centro-norte podría corresponder a una unidad poblacional independiente de la ubicada al norte de los 25° LS, que recluta, crece y se reproduce en el área. Los cruceros oceanográficos desarrollados en la década de 1980 muestran focos discretos de desove (huevos y larvas) de anchoveta en las bahías de Caldera y Coquimbo (Rojas *et al.* 1983). Esto sugiere que la zona centro-norte de Chile podría representar un hábitat favorable para la anchoveta particularmente en las bahías de Caldera y Coquimbo, donde existen patrones de circulación y focos de surgencia (Valle-Levinson y Moraga, 2006) que podrían facilitar la retención y desarrollo de la anchoveta en estas bahías. Serra y Gil (1975) estudiaron la migración del stock de la anchoveta del sur de Perú y norte de Chile mostrando la ocurrencia de intensos y amplios movimientos migratorios hacia el sur de Perú en invierno y verano. Menos intensos y amplios son los movimientos migratorios de anchoveta con dirección hacia los 24° LS. Un estudio similar fue realizado por Martínez *et al.* (1998) reportaron resultados similares en términos de dirección e intensidad de las migraciones. Se plantea que en la zona comprendida entre los 24° LS y 25° LS al parecer no existirían las condiciones oceanográficas para permitir un flujo continuo que permita la residencia de focos anchoveta entre ambas zonas (Serra, com. pers.). Las poblaciones de Caldera y Coquimbo habrían surgido cuando en algunos años (y por razones ambientales, e.i. El Niño), la anchoveta de la zona norte expande su distribución hacia el sur de los 24° LS, colonizando las bahías de Caldera y Coquimbo donde procesos oceanográficos permiten el crecimiento y desarrollo de la anchoveta. Sin embargo, esta hipótesis no ha sido demostrada aún.

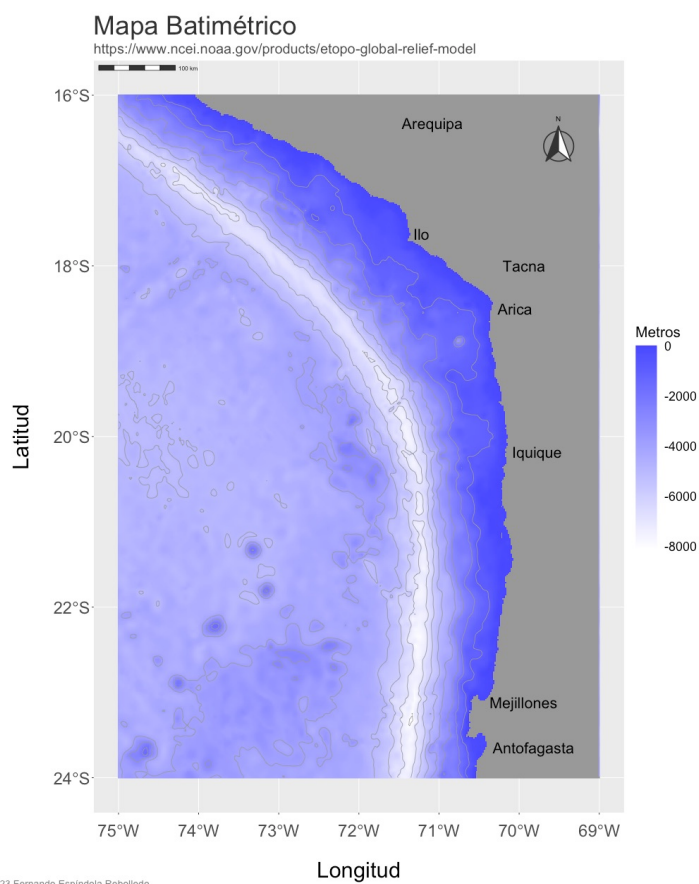


Figura 66. Área de distribución del stock de anchoveta del sur de Perú y norte de Chile, distribuido entre los 16° LS – 24° LS (FUENTE: Modelo Global de Elevación Batimétrico, ETOPO-NOAA).

A.3 Fundamentación de la EEM

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

El Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) es la institución de investigación encargada de brindar asesoramiento científico sobre los niveles de CBA que son consistentes con el objetivo del RMS. El modelo de evaluación de stock que actualmente es usado con propósitos de manejo pesquero en Chile ocupa información biológica-pesquera del sur de Perú y norte de Chile. El modelo de evaluación base es estructurado a la edad con información en tallas, para lo cual se emplea una clave talla-edad dinámica en tiempo y por fuente de información, el modelo asume una escala temporal semestral con dos reclutamientos y dos desoves por año, debido al extenso período de desove (6 a 8 meses) y el rápido crecimiento observado a través de micro-incrementos diarios en los anillos de los otolitos (Cerna y Plaza, 2016). Además, incorpora las biomásas totales acústicas del sur de Perú y norte de Chile, la biomasa desovante estimada a través del método de producción diaria de huevos de Chile, los desembarques y composiciones de longitudes de las flotas comerciales para el sur de Perú y norte de Chile, y la abundancia a la talla del crucero acústico del norte de Chile (Espíndola, 2023). La evaluación de stock de anchoveta es actualizada dos veces al año, la primera ocurre en octubre de cada año (i) donde el stock es proyectado dos años con un supuesto en los reclutamientos futuros (4 semestres) y la segunda ocurre en marzo del año siguiente (i+1) con información actualizada completa del año anterior (i), el stock se proyecta un año incorporando una penalización en el último reclutamiento estimado por el modelo y el supuesto en los reclutamientos futuros (2 semestres).

Este procedimiento en el establecimiento de la CBA tiene un alto grado de incertidumbre, debido a que para la primera actualización (dos años proyectado), la CBA sólo depende del supuesto de reclutamiento que es ingresado en la proyección del stock. Y para la segunda actualización (un año proyectado), la CBA depende de la forma en que es penalizado el último reclutamiento estimado por el modelo de evaluación. Esta penalización se debe a un patrón retrospectivo positivo en los reclutamientos que estima el modelo de evaluación de stock. Para la penalización del último reclutamiento se ocupan dos relaciones basadas en los reclutamientos históricos estimados por el modelo de evaluación de stock y la biomasa de juveniles (<11.5 cm) que estima el crucero acústico del norte de Chile que se realiza a fines de cada año. Estas relaciones se diferencian según las condiciones ambientales (anomalías de la temperatura superficial del mar) que dominan la zona de estudio cuando se realiza el crucero acústico del norte de Chile.

La Evaluación de Estrategias de Manejo (EEM) es el uso de la simulación para evaluar el desempeño de combinaciones de métodos de evaluación de stock y reglas de control de cosecha (estrategias de manejo) en presencia de incertidumbre (Rademeyer *et al.* 2007), dados los objetivos de manejo que se han adoptado (Smith *et al.* 1999). La EEM implica el desarrollo de un marco que considere el sistema de manejo pesquero en su totalidad, incluida la dinámica poblacional de los recursos y de las flotas, el esquema de recopilación de datos, el método de evaluación de poblaciones utilizado al proporcionar asesoramiento para el manejo pesquero, y cualquier regla

de control de captura. El desarrollo del marco de EEM para la administración pesquera chilena es totalmente consistente con el enfoque precautorio de la FAO para la ordenación pesquera (Punt, 2008). El desempeño de estrategias de manejo actual y candidatas para la anchoveta del norte de Chile, incluida aquella definida en el PM, no han sido aún formalmente evaluadas mediante una EEM. La regla de control que actualmente se utiliza en anchoveta del norte de Chile es modelo basada (Rademeyer *et al.* 2007) y se encuentra definida en el PMP (Res. Ex. 1.197/2018). Sin embargo, aún no se ha evaluado formalmente el desempeño de estrategias de manejo candidatas para esta pesquería.

El diseño preliminar para el estudio de la EEM de la anchoveta del norte de Chile consistió en i) identificar los principales ejes de incertidumbre biológica para el recurso anchoveta de manera de definir un conjunto acotado de modelos operativos referenciales (MO), ii) identificar un conjunto de procedimientos de manejo (PM) pesquero y iii) identificar un conjunto adecuado de métricas de desempeño (MD). Estos tres principales puntos del diseño del EEM fueron acordados junto a los científicos del IFOP, administradores pesqueros de la SSPA y miembros de los CCT-PP. Este documento describe las especificaciones técnicas del proceso de implementación de EEM en la pesquería de anchoveta norte y se considera en permanente revisión, y fue desarrollado en el taller presencial “Evaluación de Estrategias de Manejo para la implementación del Enfoque Precautorio en Anchoveta norte en el Contexto de la LGPA” desarrollado en Valparaíso entre el 31 de julio al 4 de agosto del 2023.

A.4 Introducción a openMSE

La SSPA es la institución responsable de la redacción de los términos técnicos de referencia (TTR) del proyecto de determinación del estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de anchoveta y sardina española, Región de Arica y Parinacota a la Región de Antofagasta, CBA al año 2024. Este proyecto señala un nuevo objetivo específico (V) que requiere explícitamente la participación de los expertos internacionales que desarrollan y mantienen el software [openMSE](#) y el uso de dicho software en la ejecución del mismo proyecto.

La librería [openMSE](#) es un paquete de software desarrollado en la plataforma [R](#) (R Core Team 2023), el cual es considerado como un paraguas, ya que contiene tres librerías principales para construir modelos operativos y simular la dinámica de una pesquería:

- **MSEtool**: correspondiente al núcleo del paquete openMSE, el cual permite construir modelos operativos y simular la dinámica de una pesquería (Hordyk *et al.* 2023).
- **SAMtool**: condicionar modelos operativos con datos y aplicar métodos de evaluación intensivos en datos (Huynh *et al.* 2023).
- **DLMtool**: aplicar estrategias de manejo en situaciones limitadas en datos (Carruthers and Hordyk 2018).

Los paquetes del software están diseñados para hacer la simulación de la dinámica de una pesquería y el estudio del desempeño de estrategias de manejo alternativas en un ciclo cerrado, lo más simple y eficiente posible. Debido a que es una suite de aplicaciones desarrollada en [R](#), los usuarios de [openMSE](#) se pueden beneficiar de todas las ventajas que el ambiente [R](#) ofrece

(e.g., efectivo manejo de los datos, una amplia colección de herramientas para el análisis de datos, librerías de análisis y representación gráfica).

Los paquetes que forman parte de [openMSE](#) poseen además buena documentación, gráficos de salida bien diseñados y un diseño orientado a hacer la EEM asequible a todos los usuarios, independientemente de su nivel de dominio de [R](#). Estas características han hecho que este software sea atractivo para los administradores de las pesquerías chilenas. El hecho de que [openMSE](#) es software libre y de fácil acceso a través de la red de repositorios [CRAN](#), contribuye a la facilidad en la comunicación y a la transparencia necesarias para un proceso exitoso de EEM.

A.5 Componentes de una EEM

A.5.1 Modelos operativos (MO)

Los modelos operativos contienen una descripción matemática del sistema pesquero, incluida la biología de la población de peces, el patrón histórico de explotación de la(s) flota(s) pesquera(s) y los procesos de monitoreo empleados para recopilar los datos pesqueros. Los MO también incluyen los supuestos para el proceso de monitoreo de datos a futuro empleados en las proyecciones y cualquier error de implementación de las decisiones de manejo en las proyecciones.

Un proceso de EEM generalmente incluye un conjunto de MO diferentes, cada uno de los cuales representa una hipótesis diferente sobre la posible dinámica de la pesquería. Los MO deben representar las principales fuentes de incertidumbres del sistema pesquero. De este modo la EEM permite identificar una estrategia de manejo que sea robusta a este rango de incertidumbre.

A.5.2 Estrategia de manejo (EM)

Las estrategias de manejo (también denominadas procedimientos de manejo, PM) son un conjunto de reglas que convierten los datos pesqueros en recomendaciones de manejo (e.g., una captura biológicamente aceptable (CBA), una talla mínima de extracción o alguna combinación de reglas de control). El objetivo principal de la EEM es evaluar el desempeño de diferentes EM a fin de identificar una EM que sea robusta a la incertidumbre del sistema pesquero.

A.5.3 Métricas de desempeño (MD)

Las métricas o indicadores de desempeño se utilizan para evaluar el desempeño de los procedimientos de manejo. Las MD son indicadores cuantitativos que pueden ser calculados dentro del contexto de una EEM y de este modo se emplean para evaluar y comparar el desempeño de un conjunto de EM candidatas.

La EEM prueba recursivamente el impacto de los PMC a través de un período de tiempo proyectado mediante la simulación de datos y modelando el impacto de las recomendaciones de manejo del PM en el sistema simulado (representado por el modelo operativo que combina las dinámicas de la población, explotación, observación e implementación). Basado en el desempeño en las simulaciones de la EEM un procedimiento puede ser seleccionado y utilizarse para calcular una recomendación de manejo (Carruthers and Hordyk, 2018).

A.6 Desarrollo de modelos operativos

Durante el taller presencial se identificaron un conjunto de cuatro modelos operativos (MO). Estos cuatro MOs consideró las principales fuentes de incertidumbres discutidas con mayor frecuencia en el marco de los CCT-PP, entre las que se encuentran aspectos tales como: los parámetros de crecimiento (Cerna and Plaza, 2016), la mortalidad natural y la ojiva de madurez sexual a la talla (Hernández *et al.* 2023). De acuerdo con lo anterior, el MO1 corresponde al modelo base de evaluación de stock usado en el proceso actual de manejo pesquero de la anchoveta norte. El modelo base de evaluación stock es estructurado a la edad con información en tallas, para lo cual se emplea una clave talla-edad dinámica en tiempo y por fuente de información, el modelo asume una escala temporal semestral con dos reclutamientos y dos desoves por año, debido al extenso período de desove (6 a 8 meses) y el rápido crecimiento observado a través de micro incrementos diarios en los anillos de los otolitos (Cerna and Plaza, 2016). Además, incorpora las biomásas totales acústicas del sur de Perú y norte de Chile, la biomasa desovante estimada a través del método de producción diaria de huevos de Chile, los desembarques y composiciones de longitud de las flotas comerciales para el sur de Perú y norte de Chile, y la abundancia a la talla del crucero acústico del norte de Chile (Espíndola, 2023).

Dado el corto tiempo contemplado para la ejecución del proyecto EEM para la anchoveta norte se ha considerado esencial que el número MO's posibles se mantenga asociado solamente con las principales fuentes de incertidumbre del MO1 que han emergido en las discusiones internas de los CCT-PP. En función de esto, se identificaron tres MO's que se entregan en la **Tabla 27**. A sugerencia del experto, la identificación de MO's está en función de dos ejes de incertidumbre (parámetro de crecimiento y patrón de madurez sexual), fue organizada en una grilla de incertidumbre la que se resume en la **Tabla 28** y **Figuras 67-68**.

Tabla 27. Resumen de los modelos operativos identificados para la EEM de anchoveta norte. Las descripciones se entienden como variaciones del modelo operativo base por MO1.

Identificador	Descripción
MO1	Condicionado con el modelo base de evaluación de stock, incluye los parámetros de crecimiento y mortalidad natural basado en micro incrementos diarios (Cerna and Plaza, 2016) y ojiva de madurez estimada por Martínez <i>et al.</i> (2009)
MO2	Condicionado a los parámetros de crecimiento y mortalidad natural basado en macro anillos (Serra y Canales, 2012; Plaza <i>et al.</i> 2012) y la ojiva de madurez del modelo operativo MO1
MO3	Condicionado a la ojiva de madurez presentada por Hernández <i>et al.</i> (2023) usando los parámetros de crecimiento y mortalidad natural del modelo operativo MO1
MO4	Condicionado a los parámetros de crecimiento y mortalidad natural basado en macro anillos (Serra y Canales, 2015; Plaza <i>et al.</i> 2012) y la ojiva de madurez presentada por Hernández <i>et al.</i> (2023)

Tabla 28. Grilla de incertidumbre asociada al crecimiento basado en anillos diarios y macro anillos, y la ojiva de madurez sexual en el modelo actual y la estimada recientemente por Hernández et al. (2023)

	Crecimiento actual (micro anillos)	Crecimiento alternativo (macro anillos)
Ojiva de madurez actual	MO1	MO2
Ojiva de madurez nueva	MO3	MO4

Durante el taller presencial se presentaron los nuevos antecedentes sobre la ojiva de madurez sexual a la longitud estimados por el Programa de Seguimiento de las Principales Pelágicas de la Zona Norte de Chile (Hernández et al. 2023) que dan cuenta de una madurez más temprana de los individuos para los años 2022, 2021 y 2020. Además, se muestra la ojiva de madurez empleada en el actual modelo base de evaluación de stock (Martínez et al. 2009). Para los MOs 1-2 se emplea la ojiva de madurez actual (modelo base) y para los MOs 3-4 se emplea la ojiva de madurez del año 2022 (**Figura 68**).

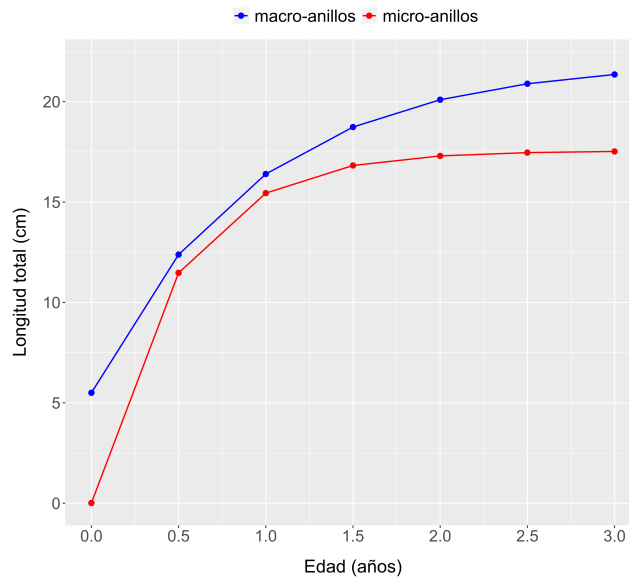


Figura 67. Función de crecimiento Von Bertalanffy para los MOs 1-3 basado en micro anillos (línea roja) de crecimiento y para los MOs 2-4 basado en macro anillos (línea azul) de crecimiento. Para la función de crecimiento basado en micro anillos se considera una mortalidad natural (M) igual a 2.2 año^{-1} y para los macro anillos un valor de M igual a 1.0 año^{-1} .

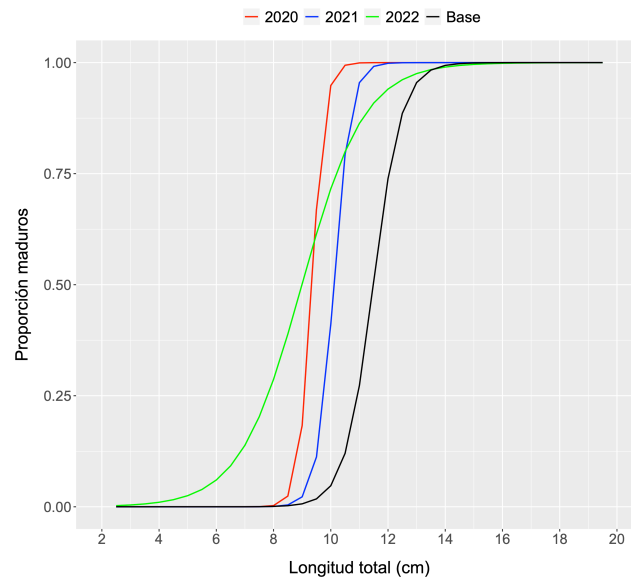


Figura 68. Ojiva de madurez a la longitud estimada durante los últimos los años 2020, 2021 y 2022. Además, se muestra la ojiva de madurez usada en el actual modelo base de evaluación de stock (línea negra) y la ojiva de madurez usada en los MOs 3 y 4 (línea verde).

A.7 Supuestos de la dinámica en los MO

A.7.1 Error de proceso del reclutamiento

El error de proceso en el modelo operativo utiliza la misma desviación estándar del modelo base y considera la autocorrelación de los reclutamientos históricos tomados de las estimaciones del modelo base de evaluación de stock. Durante el taller presencial, se discutió la distribución del reclutamiento durante dos eventos al año. Con relación a lo anterior, se distribuyeron valores promedios para el primer y segundo semestre, respectivamente. Las desviaciones de los reclutamientos para el período de la proyección son generadas de una distribución log-normal, con una desviación estándar (**Figura 69**) igual a 0.82 y factor de autocorrelación al primer retraso reportadas por el modelo de evaluación. Se observó que había una autocorrelación negativa de retraso -1 en los reclutamientos semestrales (independiente de la estructura anual). Por lo tanto, el reclutamiento proyectado fue muestreado con autocorrelación negativa ($\rho=-0.25$) con base al reclutamiento estimado para el período 2000-2022 a partir del condicionamiento de MO1. Posteriormente, los valores muestreados se ajustaron de manera que la media aritmética en el primer y segundo semestre sea igual al promedio histórico del primer y segundo semestre. En la **Figura 70** se muestra un ejemplo de los reclutamientos proyectados para nueve simulaciones.

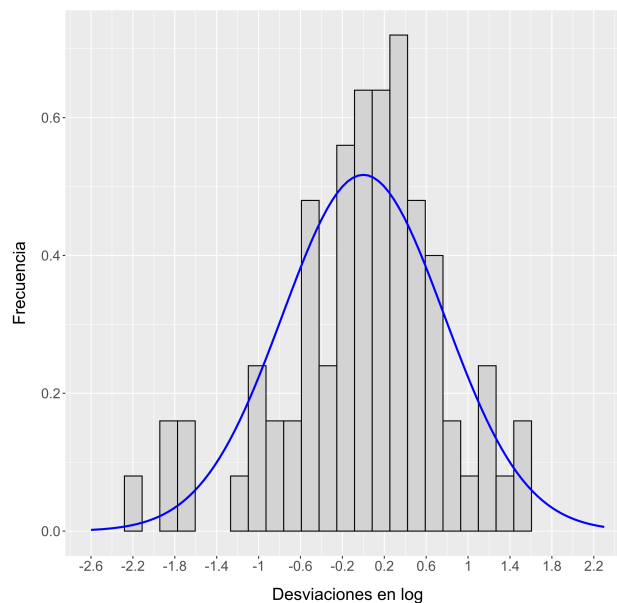


Figura 69. Distribución de las desviaciones de los logaritmos de los reclutamientos para el stock de anchoveta, la línea azul representa el ajuste de una distribución normal.

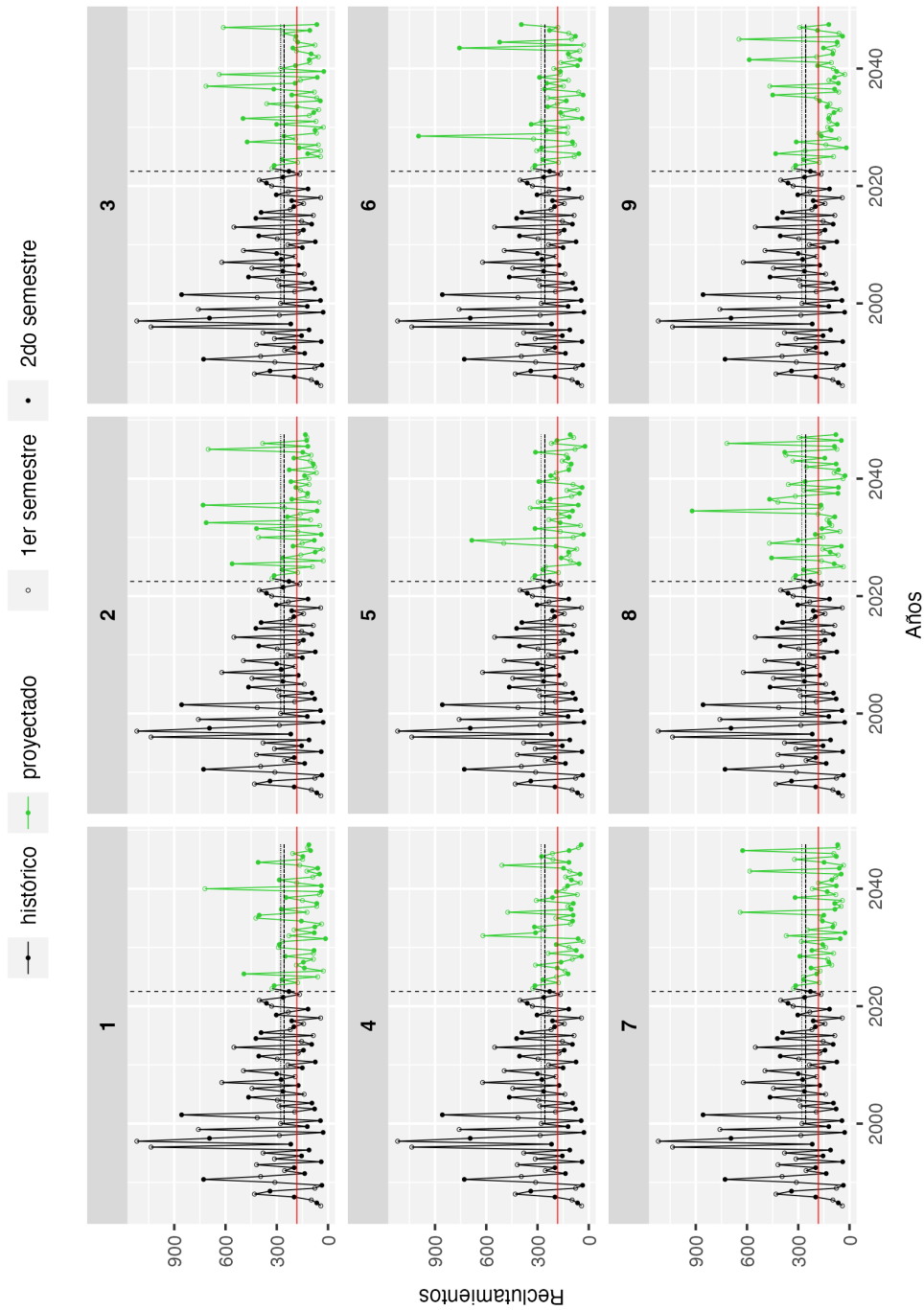


Figura 70. Reclutamientos proyectados para nueve simulaciones del stock de anchoveta para el modelo operativo OM1. Las líneas negras indican los reclutamientos durante el período histórico (igual para todas las simulaciones), y las líneas verdes indican los reclutamientos en el período de la proyección, las cuales fueron generadas a partir de una distribución de probabilidad (desviación estándar y auto-correlacionada). La línea roja corresponde al reclutamiento medio global (R0) y las líneas discontinuas corresponden a las estimaciones para el primer y segundo semestre del período 2000-2022.

A.7.2 Parámetros de historia de vida

Respecto a este tema, la discusión estuvo asociada a los parámetros de crecimiento y la ojiva de madurez. Los parámetros de crecimiento supuestos para el acondicionamiento de los modelos operativos se basaron en la lectura de macro anillos (Plaza et al. 2012), y la lectura de micro anillos diarios (Cerna and Plaza, 2016). Una vez definidos los parámetros de crecimiento, se discutió sobre la ojiva de madurez presentada por Hernández et al. (2023). Estos resultados fueron expuestos durante el taller, donde se confirma una disminución de la longitud media de madurez (L_{50}), con una determinada variabilidad interanual (ver **Figura 68** para el detalle de los escenarios alternativos).

A.7.3 Selectividad

El patrón de selectividad para cada flota se mantuvo de acuerdo con la configuración y cambio temporal incluidos en el actual modelo de evaluación de stock de la anchoveta.

A.7.4 Error de implementación

No hay errores de implementación explícitos en el MO. Sin embargo, de la manera que está diseñado, este error se encuentra implícito en el PM actual. La “hiper-regla”, que opera en la pesquería de la anchoveta norte, determina que sin importar la CBA recomendada (en el hito 1 o 2), la CBA final siempre será la mayor de estas. De acuerdo con lo anterior, el error de implementación tiene lugar cuando la CBA adoptada es la recomendada en el primer hito (mayor que el valor en el segundo hito).

A.7.5 Error de observación

El error de la captura e índices de abundancia es tomado de los residuos del condicionamiento del MO. Los tamaños muestrales para la función de las muestras corresponden a los modelos de evaluación principalmente para la estructura de tamaño de la flota y crucero. Hay una diferencia entre la función de los tamaños muestrales y la función de probabilidad. El tamaño de muestra para la distribución multinomial de la composición para todas las flotas y el crucero fue fijado en 500 para representar un nivel de muestreo con alta precisión.

A.8 Procedimientos de manejo (PM)

La LGPA introdujo los PMP obligatorios, estos deben especificar los objetivos, las metas y el período para reconstruir o mantener las poblaciones de peces al nivel del RMS junto con las estrategias para alcanzar los objetivos y metas establecidos. El PMP para la anchoveta norte fue aprobado el 9 de abril del 2018 (Res.Ex. N° 1.197), este declara una serie de objetivos operacionales asociados a estándares de manejo (indicador y punto de referencia) con los cuales se debe medir el progreso de la pesquería como consecuencia de la aplicación de medidas y/o acciones de manejo. El PMP declara llevar y mantener el stock de anchoveta a un nivel que permita asegurar la sustentabilidad biológica del recurso. Para tal efecto, el objetivo N°1.1 es llevar y mantener el recurso al RMS, y la medida de manejo asociada a este objetivo es establecer una captura biológicamente aceptable (CBA) basada en los puntos biológicos de referencia (PBR, Res. Ex. N° 291 del año 2015).

Para el caso del stock de anchoveta del norte de Chile se establecieron proxies al RMS (Payá *et al.* 2014), se optó por usar PBRs sustitutos y no los PBR del RMS directamente, dado que son de fácil interpretación y su probada robustez y precautoriedad. Posteriormente, estos PBRs fueron ratificados por el comité científico técnico de pequeños pelágicos (CCT-PP) y recomendó los siguientes:.

$$B_{RMS} = 0.5B_0 \quad (34)$$

$$B_{LIM} = 0.5B_{RMS} \approx 0.25B_0 \quad (35)$$

$$F_{RMS} = F_{55\%BDPR} \quad (36)$$

donde, B_{RMS} es la biomasa desovante en el RMS, B_{LIM} es la biomasa desovante límite, B_0 es la biomasa desovante de equilibrio en ausencia de pesca, $F_{55\%BDPR}$ es la mortalidad por pesca que en el largo plazo produce el 55% de la biomasa desovante por recluta (BDPR) y F_{RMS} es la mortalidad por pesca en el RMS. La regla de control para este objetivo es aplicar una mortalidad por pesca constante al nivel del RMS.

Dado que el stock compartido de anchoveta es manejado en forma independiente por cada país y no existe actualmente un manejo pesquero conjunto, es necesario asumir algunas suposiciones sobre el procedimiento de manejo para la pesquería peruana. Las recomendaciones de captura para la zona sur del Perú son frecuentemente realizadas por científicos del IMARPE, y en su última recomendación aplicaron el modelo de producción excedentaria de Pella-Tomlinson (1969) re-parametrizado, estocástico y diferenciable usando información anual de la biomasa acústica estimada para la zona sur y de las capturas (PRODUCE, 2021). Las recomendaciones de captura hechas por el IMARPE para la zona sur del Perú son equivalentes a una tasa de explotación cercana al 0.30.

La evaluación de stock hecha por el IMARPE podría no ser replicada en el actual EEM debido a las diferentes series de datos usadas, es decir, los datos de captura comienzan el año 1969 y la configuración detallada del modelo de evaluación SPiCT no es conocida. Entonces para la pesquería peruana se asume una tasa de explotación constante igual a 0.3. En el modelo operativo, la captura anual es de un 30% de la biomasa vulnerable para la pesquería peruana, calculada al comienzo del primer semestre. La CBA que los PM producirán será asignada a la pesquería chilena y la captura adicional peruana corresponderá al supuesto descrito anteriormente. La captura peruana en el primer semestre es de un 75% de la captura anual basada en los porcentajes históricos durante 2000-2022.

Los procedimientos de manejo identificados, a partir de las discusiones internas del taller y entre los miembros de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, sobre las prioridades de los PM para la pesquería de anchoveta norte se identificaron los siguientes:

- **Sin Captura:** Se evalúa el nivel de abundancia máximo y variabilidad en el reclutamiento que puede alcanzar el stock bajo una condición sin captura (ver **Figura 75**).

- **Manejo perfecto:** Se considera una mortalidad por pesca al 55% de la biomasa desovante por recluta combinada para la pesquería de Chile y Perú (ver **Figura 75**).

A.8.1 PM actual: no se ajusta el patrón restrospectivo para la CBA

La evaluación de stock de anchoveta es actualizada dos veces al año. La primera actualización ocurre en octubre de cada año (i) donde el stock es proyectado cuatro semestres (dos años) haciendo un supuesto acerca de los reclutamientos diferenciados por semestre y la captura igual a la CBA del año i (la captura del primer semestre ha ocurrido y la del segundo semestre es la diferencia con respecto a la CBA del año i). La segunda actualización ocurre en marzo del año siguiente ($i+1$) con información completa del año anterior (i), donde el stock se proyecta dos semestres (un año) nuevamente haciendo un supuesto en los reclutamientos futuros diferenciados por semestre. Para una futura exploración de PM se realizará un ejercicio con un solo reclutamiento (como caso excepcional, por ejemplo, para escenarios del ENSO), señalado por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

La CBA es calculada en cada uno de los hitos de asesoría. Administrativamente, la CBA oficial es el valor determinado en el segundo hito, pero la pesquería operará basada en el valor más alto de los dos hitos de asesoría. Las recomendaciones de la CBA son realizadas en escala anual. En la proyección, la captura de la pesquería chilena en el primer semestre es un 56% de la captura anual basada en las proporciones históricas durante el período 2000-2022.

A.9 PM actual con rho de Mohn - se ajusta el patrón restrospectivo para la CBA

El procedimiento de manejo actual tiene un alto grado de incertidumbre, ya que en la segunda actualización la CBA depende si el último reclutamiento estimado por el modelo de evaluación es penalizado o no. Esto se debe a que el modelo de evaluación actual presenta un patrón retrospectivo positivo en los reclutamientos (Espíndola, 2023). Anticipando a que este patrón sea incorporado en la proyección, se aplica el estadístico de rho de Mohn (Mohn, 1999; Hurtado-Ferro et al. 2015; Huynh, 2022) para la estimación de la CBA. Durante la proyección del stock de anchoveta, los reclutamientos estimados al último semestre se corrigen en base al parámetro de rho de Mohn:

$$\tilde{R} = \frac{\hat{R}}{1 + \rho} \quad (37)$$

Donde $\tilde{R}$ es el reclutamiento ajustado, $\hat{R}$ es el último reclutamiento estimado por el modelo de evaluación, y el estadístico rho de Mohn (ρ) para el reclutamiento es calculado a partir de un análisis retrospectivo, el cual consiste en ir eliminando series de datos hasta los últimos 5 años más recientes (en pasos anuales). Las estimaciones de un modelo consistente a lo largo del tiempo (sin patrón retrospectivo) debería tener un $\rho = 0$. El ajuste rho de Mohn se realiza en ambos pasos de tiempo del procedimiento de manejo.

El modelo de evaluación utilizado en estos dos MP es el Modelo de Acondicionamiento Rápido (RCM), codificado en [TMB](#) y distribuido en el paquete [SAMtool](#) de [R](#), y es una aproximación de la evaluación actual de anchoveta codificada en [ADMB](#). No es técnicamente factible probar la evaluación actual en una simulación de circuito cerrado debido al tiempo de ejecución del modelo.

Dado el mismo conjunto de datos, las tendencias y la magnitud de las estimaciones históricas de la biomasa desovante son similares entre los dos modelos (**Figura 71**). Es importante destacar que RCM tiene el mismo comportamiento retrospectivo (**Figura 72**) que el modelo base de evaluación de stock.

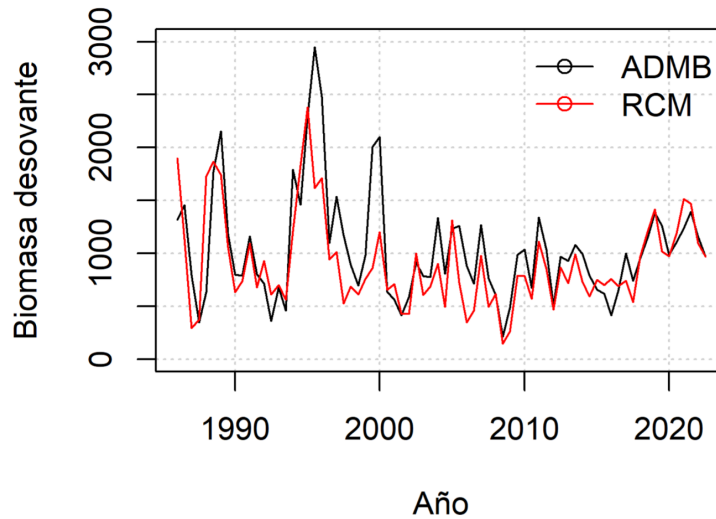


Figura 71. Comparación de la estimación de la biomasa desovante para el stock de anchoveta a través del Modelo de Acondicionamiento Rápido (RCM) y el modelo actual de evaluación en ADMB.

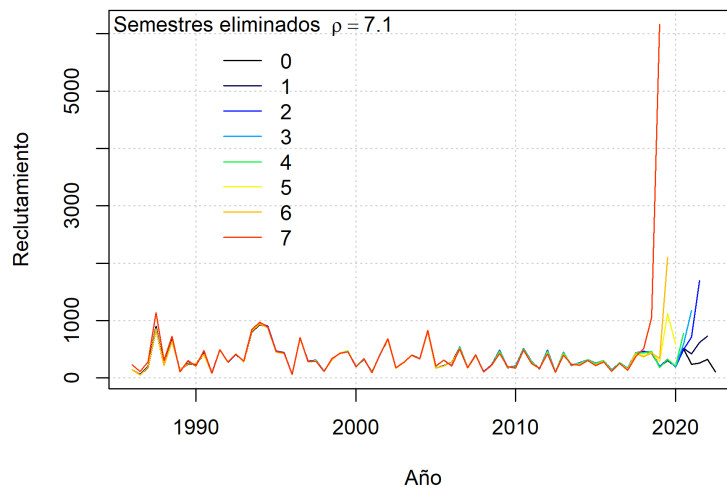


Figura 72. Patrón retrospectivo para el reclutamiento estimado para el Modelo de Acondicionamiento Rápido (RCM), se muestra el descuento de siete pasos de tiempo.

A.9.1 PM basado en una aproximación empírica, modelo basado simple

Este PM emplea la regla empírica propuesta por Canales y Cubillos (2021) la que se basa en los valores de referencia en la captura y los valores de los cuantiles para la biomasa desovante estimada en el crucero de huevos. Los niveles de capturas representan los niveles históricos en las capturas anuales de diferentes períodos. Durante el taller presencial se acordó implementar esta regla de control usando tanto datos del crucero de huevos como del crucero acústico. El nivel de captura de referencia fue acordado para ambos casos como un valor de referencia anual de 570 mil toneladas. como representativo de los últimos años (2008-2022). Y los valores de los índices para cada caso corresponderá a los mismos criterios empleados por Canales y Cubillos (2021) (**Figura 73**). El índice de referencia promedio (I_{ref}) para las series históricas de los cruceros acústicos y el crucero de huevos alcanza un valor promedio 456 mil t.

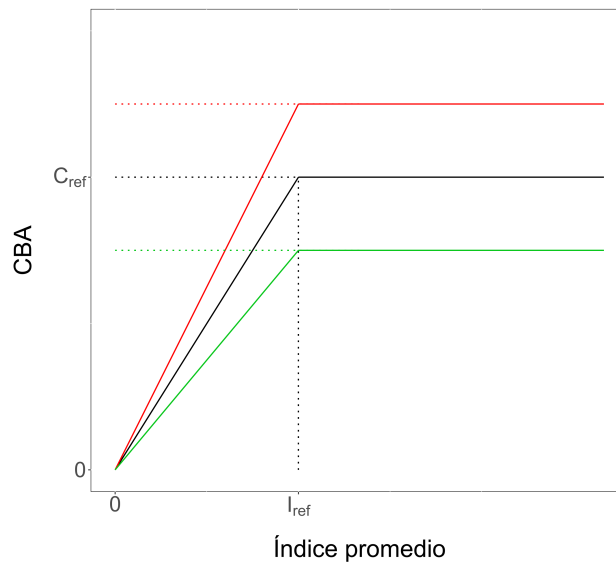


Figura 73. Relación entre la captura de referencia y el índice de referencia para la regla de control de captura (RCC) basado en el crucero (línea negra). La línea roja representa un 125% del nivel de captura de referencia (C_{ref}) y la línea verde representa un 75% de este nivel

En la **Tabla 29** se resumen los diferentes procedimientos de manejo detallados anteriormente y acordados por los participantes durante el taller presencial.



Tabla 29. Resumen de los procedimientos de manejo en la simulación para la anchoveta norte.

Nombre	Descripción
PM_actual	No se ajusta el patrón retrospectivo para la CBA
PM_rho	Se ajusta el patrón retrospectivo para la CBA con rho de Mohn
Empírico_570	PM basado en los índices. La referencia en la captura es de 570 mil t.
Empírico_430	PM basado en los índices. La referencia en la captura es de 430 mil t. 75% del PM empírico 570
Empírico_710	PM basado en los índices. La referencia en la captura es de 710 mil t. 125% del PM empírico 570
Sin_Captura	Procedimiento de referencia con $F=0$
Manejo_Perfecto	Procedimiento de referencia con conocimiento perfecto de la abundancia y puntos de referencia al RMS, $F55\%$ BDPR (valor del modelo operativo)

A.10 Métricas de desempeño (MD)

A partir del diálogo en torno a los potenciales intereses que la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura considera prioritarios, se definieron métricas que serán revisadas una vez que las estimaciones hayan evaluado la condición del recurso anchoveta norte. Lo anterior, se realizará en tres períodos de tiempo: corto (1-2 años), medio (3-7 años) y largo plazo (8-15 años).

Para el criterio de la selección de un PM se pondrá atención en la revisión de largo plazo. Sin embargo, el corto y mediano plazo podrá ser revisado como parte del proceso de evaluación del comportamiento del PM. No obstante, los analistas expertos advierten que, dada las características biológicas de la historia de vida de la anchoveta norte, a corto plazo es imposible poder testear la robustez de una medida de desempeño ya que los plazos serían muy breves para lograr una estabilización del stock proyectado. Las medidas de desempeño fueron clasificadas en tres ejes prioritarios, estos son resumidos en la **Tabla 30**. En la **Figura 76** se muestran los niveles de probabilidad asociados a los procedimientos de manejo y medidas de desempeño para los ejercicios evaluados durante el transcurso del taller.

A.10.1 Objetivos asociados a la sustentabilidad del recurso

- Probabilidad de que el stock, tal como se representa en los modelos operativos individuales, se encuentre en la región verde ($BD > 0.9 BD_{RMS}$ y $F < 1.1 F_{RMS}$) en el diagrama de fase o Kobe plot (**Figura 74 y 75**).
- Probabilidad de alcanzar una biomasa asociada al RMS ($BD > 0.9 BD_{RMS}$).
- Probabilidad de no estar en un escenario de sobrepesca ($F < 1.1 F_{RMS}$).
- Probabilidad de no encontrarse en la región de agotamiento ($BD > 0.5 BD_{RMS}$).

A.10.2 Objetivos asociados a la estabilidad

- Maximizar la CBA (captura media).
- Minimizar la variabilidad de la captura. La variabilidad de la captura no supere un cierto valor de referencia.

A.10.3 Objetivos asociados al PM actual

- Evaluación de la tolerancia del error de implementación en el PM actual. Este objetivo busca evaluar cuántas veces la CBA del segundo hito es mayor que la CBA del primer hito.

Tabla 30. Medidas de desempeño definidas durante el taller presencial por los miembros de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

Nombre	Objetivo de manejo	Medida de desempeño	Categoría
NSE	Evitar que el stock se encuentre en sobreexplotación	$P(BD > 0.9BD_{RMS})$	Biológica
NSP	Evitar que el stock se encuentre en sobrepesca	$P(F < 1.1F_{RMS})$	Biológica
NZR	Evitar que el stock se encuentre en la zona de agotamiento	$P(BD > BD_{RMS})$	Biológica
ZV	El stock se encuentre en la región verde del diagrama de fase	$P(BD > 0.9BD_{RMS} \text{ y } F < 1.1F_{RMS})$	Biológica
CBAprom	Maximizar la CBA	Captura promedio	Pesquera
CBAv	Estabilidad en la CBA	Variabilidad de la captura promedio entre años	Pesquera
CBAcon	Consistencia en la CBA	$P(CBA_{H2} > CBA_{H1})$	Manejo

Notas: NSE=no sobreexplotación, NSP=no sobrepesca, NZR=no zona roja, ZV=zona verde (ver **Figura 74**)

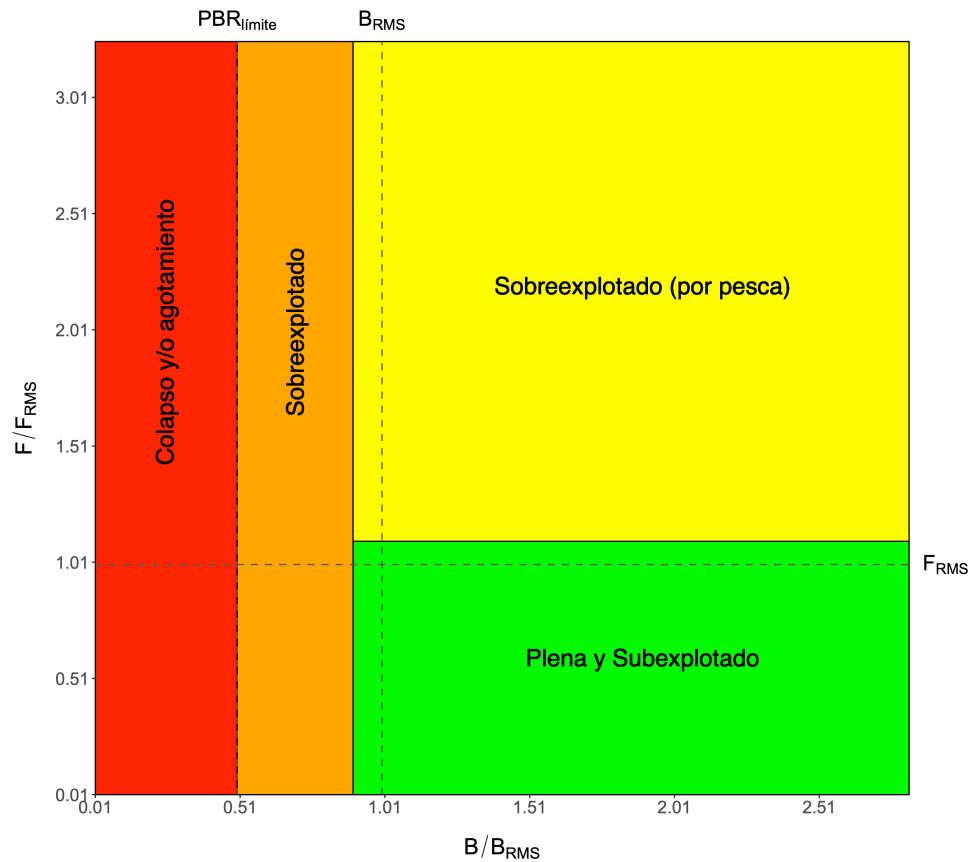


Figura 74. Diagrama de fase tipo para la pesquería de recursos pequeños pelágicos, acordados por el comité científico- técnico y el grupo de trabajo del taller presencial. Según la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura la zona verde corresponde a la región deseada para el manejo pesquero .

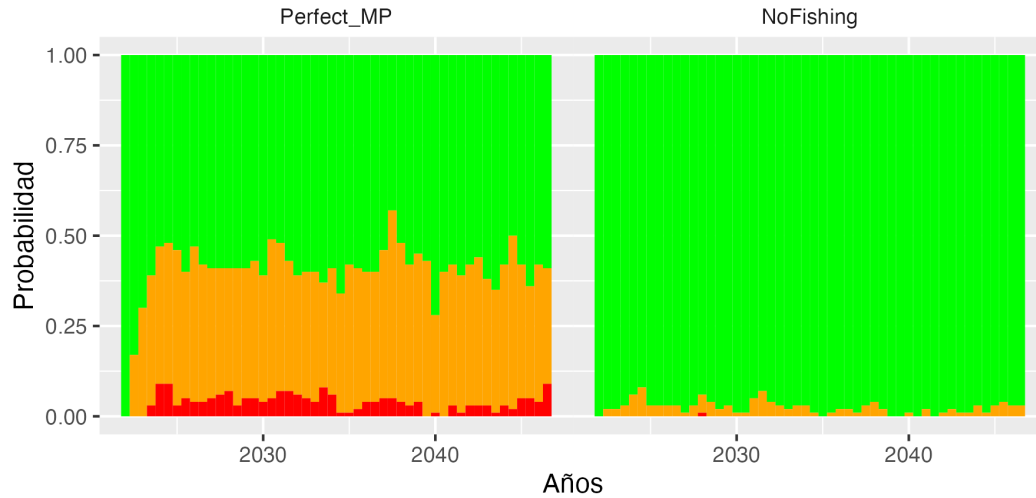


Figura 75. Diagrama de fase temporal (Kobe time plot), con la proporción de las simulaciones de la condición del stock de anchoveta para cada año de la proyección, para dos procedimientos de manejo (Conocimiento perfecto y Sin capturas).

	Kobe_verde_ST	Kobe_verde_MT	Kobe_verde_LT	0.5BMSY_ST	0.5BMSY_MT	0.5BMSY_LT	0.9BMSY_ST	0.9BMSY_MT	0.9BMSY_LT	CatchVar	MeanCatch
NoFishing	0.96	0.97	0.97	>0.99	>0.99	>0.99	0.96	0.97	0.97	<0.01	<0.01
Perfect_MP	0.76	0.57	0.60	0.98	0.95	0.95	0.76	0.57	0.60	0.65	719.41

Figura 76. Niveles de probabilidad asociados a los procedimientos de manejo y medidas de desempeño para los ejercicios evaluados durante el transcurso del taller presencial.

A.11 Referencias

- Canales, C. and L. Cubillos. 2021. Empirical survey-based harvest control rules in a transboundary small pelagic fishery under recruitment regime shifts: The case of the northern Chilean-southern Peruvian anchovy. *Marine Policy*, 134, 104784. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104784>.
- Canales, T. M. y E. Leal. 2009. Parámetros de historia de vida de la anchoveta *Engraulis ringens* Jenyns, 1842, distribuida en la zona centro norte de Chile. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*, 44(1):173-179.
- Carruthers, T. and A. Hordyk. 2018. The Data-Limited Methods Toolkit (DLMtool): An R package for informing management of data-limited populations. *Methods in Ecology and Evolution*. Vol. 9, No. 1. p. 2388-2395. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/2041-210X.13081>
- Cerna, F. and G. Plaza. 2016. Daily growth patterns of juveniles and adults of the Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) in northern Chile. *Marine and Freshwater Research*, 67, 899-912. <https://doi.org/10.1071/MF15032>.
- Claramunt, G., L.R. Castro, L.A. Cubillos, Hans-Jurgen Hirche, G. Perez and M. Braun. 2012. Inter-annual reproductive trait variation and spawning habitat preferences of *Engraulis ringens* off northern Chile. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*, 47(2):227-243.
- Cubillos, L. A., R. Serra and P. Fréon. 2007. Synchronous pattern of fluctuation in three anchovy fisheries in the Humboldt Current System. *Aquat. Living Resour.*, 75:69-75.
- Espíndola, F. 2023. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de anchoveta y sardina española, Región de Arica y Parinacota a la Región de Antofagasta, CBA al año 2023. Segundo Informe. SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA y EMT. IFOP, 125 pp. http://190.151.20.106/exlibris/aleph/a23_1/apache_media/RC37BSTI17P4VCMLRDVGPL9QY9LNT9.pdf.
- FAO. Precautionary approach to fisheries. Part 1: Guidelines on the precautionary approach to capture fisheries and species introductions. Elaborated by the Technical Consultation on the Precautionary Approach to Capture Fisheries (Including Species Introductions). Lysekil, Sweden, 6–13 June 1995 (A scientific meeting organized by the Government of Sweden in cooperation with FAO). FAO Fisheries Technical Paper. No. 350, Part 1. Rome, FAO. 1995. 52 p.
- FAO Fisheries Department. The ecosystem approach to fisheries. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 4, Suppl. 2. Rome, FAO. 2003. 112 p.
- Hernández, C., N. Morales, E. Díaz, M. Lichtenberg, G. Pérez, M. Pizarro, A. Bustamante, F. Cerna, C. Machuca, C. Rodríguez, R. Ojeda, R. Aravena, G. Muñoz, C. Gaspar, O. Yáñez y M.C. García. 2023. Programa de Seguimiento de las Principales Pesquerías Pelágicas de la zona norte de Chile, entre las Regiones de Arica y Parinacota y Coquimbo, año 2022. Informe Final, SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT, IFOP, 349 pp. http://190.151.20.106/exlibris/aleph/a23_1/apache_media/RMJTPAHMS7N4JD6HXCVI34X9CSJRRS.pdf.
- Hordyk, A., Q. Huynh and T. Carruthers. 2023. MSEtool: Management Strategy Evaluation Toolkit. R package version 3.6.2. <https://CRAN.R-project.org/package=MSEtool>.
- Hurtado-Ferro, F. C. Szuwalski, J. Valero et al. 2015. Looking in the rear-view mirror: bias and retrospective patterns in integrated, age-structured stock assessment models, *ICES Journal of*

Marine Science, Volume 72, Issue 1, January 2015, Pages 99–110, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu198>.

Huynh, QC., CM Legault, AR Hordyk and T. Carruthers. 2022. A closed-loop simulation framework and indicator approach for evaluating impacts of retrospective patterns in stock assessments, *ICES Journal of Marine Science*, Volume 79, Issue 7, September 2022, Pages 2003–2016, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsac066>.

Huynh, Q., T. Carruthers and A. Hordyk. 2023. SAMtool: Stock Assessment Methods Toolkit. R package version 1.5.2. <https://CRAN.R-project.org/package=SAMtool>.

Leal, C. P. Quiñones, R. A. and Chávez, C. 2010. What factors affect the decision making process When setting TACs?: The case of Chilean fisheries. *Marine Policy*. 34:1183–1195.

Leal E. y C. Canales. 2014. Convenio de Desempeño: Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, 2015. Anchoveta III-IV Regiones. Informe de estatus y cuota. 110 pp.

Martínez, C., Baros., V., Cortes., M et al. 1998. Programa de Marcaje de Anchoveta. Fase I: Marcacio. Informe Final FIP-IT/96-04. Fondo de Investigación Pesquera (FIP), 88 pp +Anexos.

Martínez, C., G. Böhm, E. Díaz, L. Ossa, H. Reyes, R. Aravena, F. Cerna, V. Boic, C. Machuca, L. Muñoz y M. Troncoso. 2009. Programa Seguimiento del Estado de Situación de las Principales Pesquerías Nacionales. Proyecto Investigación de la Situación de la Pesquería Pelágica de la Zona Norte, 2008- Informa Final, Convenio SUBPESCA – IFOP. Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso, Chile.

Maunder, M.N. Maximum Sustainable Yield. Editor(s): Sven Erik Jørgensen, Brian D. Fath, Encyclopedia of Ecology, Academic Press, 2008, Pages 2292-2296, ISBN 9780080454054, <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00522-X>.

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.

Payá, I. C. Canales, D. Bucarey, M. Canales, F. Contreras, E. Leal, R. Tascheri, A. Yáñez, M. J. Zúñiga, W. Clark, M. Dorn, M. Dunn, C. Fernández, M. Haddon, N. Klaer, M. Sissenwine and S. Zhou. 2014. Convenio II: “Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales año 2014”. Proyecto 2.16: Revisión de los puntos biológicos de referencia (Rendimiento Máximo Sostenible) en las pesquerías nacionales. Subsecretaría de Economía y EMT. IFOP. Informe Final. 51 p. + Anexos.

Pella, J.J. and P.K. Tomlinson. 1969. A generalized stock production model. *Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Bull.*, 13: 419:496.

Plaza, G., F. Cerna y J. Legua. 2012. Validación de formación de anillos primarios y macro-anillos de crecimiento en otolitos de anchoveta de la zona norte. Informe Final. PROY. SUBPESCA ID No4728-31LP11. 130 p.

PRODUCE, 2021. Informe sobre la situación de la anchoveta disponible en la región sur del mar peruano y perspectivas de explotación para la primera temporada de pesca de 2022. Resolución ministerial N° 173. 15 pp.

Punt, A.E. 2008. Refocusing Stock Assessment in Support of Policy Evaluation. In: K. Tsukamoto,



T. Kawamura, T. Takeuchi, T. D. Beard, Jr. and M. J. Kaiser, eds. Fisheries for Global Welfare and Environment, 5th World Fisheries Congress 2008, pp. 139–152.

R Core Team (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Rademeyer, R. A., Plagányi, É. E., and Butterworth, D. S. 2007. Tips and tricks in designing management procedures. *ICES Journal of Marine Science*, 64: 618 – 625.

Reyes, Francisca, Gelcich, Stephan y Ríos, Mónica, Capítulo IV: Problemas globales, respuestas locales: planes de manejo como articuladores de un sistema de gobernabilidad policéntrica de los recursos pesqueros, disponible en línea <https://politicaspUBLICAS.uc.cl/wp-content/uploads/2017/04/CAP.-4.pdf>

Rojas, O., A. Mujica, M. Labra, G. Lederman and H. Miles. 1983. Estimación de la abundancia relativa de huevos y larvas de peces. Informe IFOP/CORFO 83-31:1-99.

Serra, R. y C. Canales. 2012. Estatus y Posibilidades de Explotación Biológicamente Sustentables de los Principales Recursos Pesqueros Nacionales, Año 2012. Evaluación de Estrategias de Explotación Sustentables 2011, de las Principales Pesquerías Chilenas. Actividad 1: Peces Pelágicos: Anchoveta y sardina española XV, I y II Regiones. 2011.

Serra, R. y E. Gil. 1975. Marcación de anchoveta en la zona norte de Chile. Metodología y trabajos preliminares. *Rev. Com. Perm. Pacífico Sur*, 3:3-19.

Smith, A. D. M., Sainsbury, K. J., and Stevens, R. A. 1999. Implementing effective fisheries-management systems – management strategy evaluation and the Australian partnership approach. *ICES Journal of Marine Science*, 56: 967–979.

Valle-Levinson, A. and J. Moraga-Opazo. 2006. Observations of bipolar residual circulation in two equatorward-facig semiarid bays. *Cont. Shelf Res.*, 26:179-193.

B Resultados taller MSE anchoveta norte

B.1 Contenido

Conforme a los objetivos planteados para el Taller MSE para la pesquería de anchoveta norte de Chile, se realizó una encuesta dirigida al Comité de Manejo de anchoveta norte, así como a usuarios de la pesquería. Dicha encuesta fue realizada el día 15 de diciembre 2023, una vez expuestos los puntos introductorios y de acercamiento al proyecto MSE. Cabe mencionar que el total de asistentes al taller (12 personas) respondió esta encuesta.

Tabla 31. Asistentes al Taller de MSE

Nombre
Hernán Padilla E.
Carlos Francisco Chavarini Vega
Andrés Elías Ramos Fernández
Graciela Pérez Mora
Miguel Escobar
Manuel Guajardo
Cristian José Ramos Fernández
Ernesto Martin Bustillos Araya
Carlos Merino Pinochet
Mauricio Vargas F
Marianne Lichtenberg Albornoz
Jorge Oliva López

De quienes respondieron a la encuesta, la mayoría se componen de investigadores (33,3%) y armadores (25%), conformando un total de 7 personas (**Figura 77**). Dicho esto, el 58,3% de los encuestados (7 personas) pertenecen al Comité de Manejo propiamente tal (**Figura 78**).

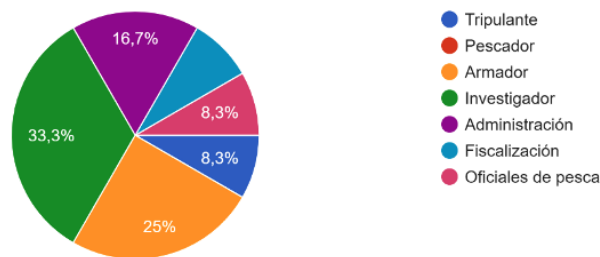


Figura 77. Proporción de encuestados según el área de pertenencia.

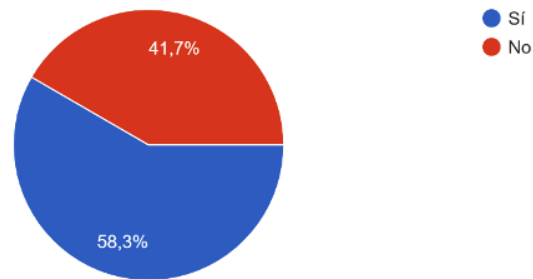


Figura 78. Proporción de encuestados pertenecientes al Comité de Manejo.

B.2 Reglas de Control de Captura

La primera sección de preguntas se centró en recoger la información sobre como los integrantes del comité de manejo perciben la pesquería y que forma de manejo pesquero es más adecuado. En este sentido, se les consultó a los presentes **¿Qué nivel de captura sostenible en el tiempo tienen en mente?** Las respuestas variaron desde números concretos (entre 570 mil y 750 mil toneladas) a capturas asociadas a un nivel conceptual, siendo estas aquellas que no impacten en parámetros biológicos del recurso, que permitan su conservación, o bien que sea la que determine el CCT cual sea su decisión. Además, hubo un par de respuestas asociadas solamente al sector artesanal, considerando 90 mil toneladas para este sector, o bien un 15% de la cuota anual para artesanales de Arica, Iquique, y Antofagasta. Bajo el mismo contexto, se consultó a los presentes **¿Cuál nivel de captura más baja estaría dispuesto a tolerar?** Donde las respuestas variaron de la misma forma que en la pregunta anterior, 3 personas indicaron un valor concreto de 450 mil toneladas y una persona 300 mil toneladas. Otro grupo de personas respondió como en la pregunta anterior, aquellos niveles de capturas que sugiera el CCT o bien aquella que dependa de la evaluación ecosistémica. Dos personas se inclinaron a tolerar como máximo un 30% de la cuota asignada y uno a un 40%. Finalmente, en cuanto a la pesquería artesanal, se señala una captura mínima de 60 mil toneladas para la Región de Tarapacá y Región de Antofagasta.

En cuanto a la pregunta de **si estaría dispuesto a cerrar la pesquería si las capturas fuesen menores a las señaladas** en la pregunta previa, un 66,7% de los encuestados (8 personas) están en contra, mientras que 4 están a favor (**Figura 79**).

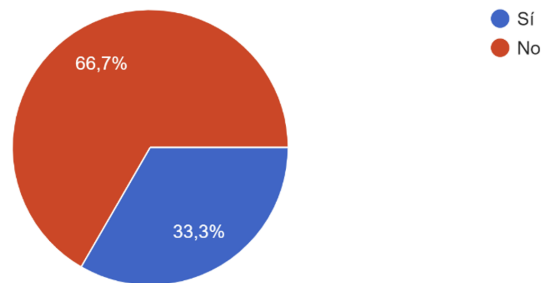


Figura 79. Proporción de encuestados dispuestos a cerrar la pesquería cuando las capturas son bajas.

Al consultarles a los encuestados sobre el **nivel de variación anual en las capturas que estarían dispuestos a soportar**, las respuestas fueron variadas, destacando que la mayoría estarían dispuestos a aceptar una variación considerable en la pesquería, sumado a la aceptación de variaciones que los factores ambientales dictaminen sobre el recurso (**Figura 80**).

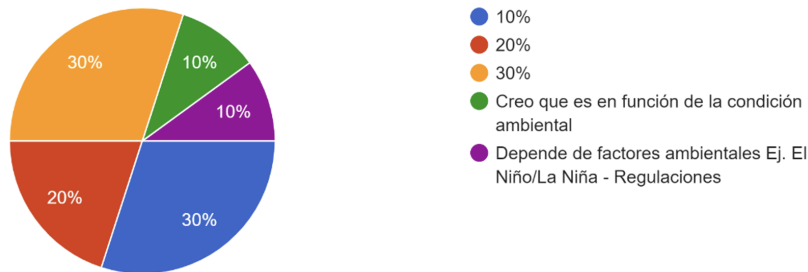


Figura 80. Variación anual en capturas que los encuestados estarían dispuestos a soportar.

En cuanto a la pregunta sobre **qué fuente de información genera mayor confianza a la hora de determinar biomasa**, el 100% de los encuestados corroboró que tanto los cruceros acústicos como los cruceros de huevos son fuentes de información confiables (**Figura 81**).

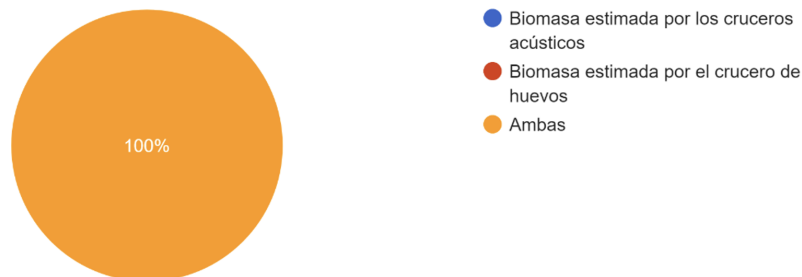


Figura 81. Opinión de los encuestados sobre confiabilidad de fuentes de información para determinar la biomasa del recurso.

En este mismo contexto, al preguntarles **¿con qué nivel de biomasa aceptarían una disminución de las capturas?**, las respuestas variaron desde proporciones (desde 50% de la actual hasta 15% menor a la actual), hasta respuestas conceptuales tales como disminuciones en cuanto lo determinen las condiciones ambientales y la evaluación de stock. Dicho esto, la pregunta no se percibió correctamente entendida por todos los participantes, tomando en cuenta que la biomasa es un concepto poco tangible para usuarios.

En aspectos más tangibles para los presentes, se les consultó **con qué periodicidad les acomodaría que las cuotas fuesen asignadas**, a lo que el 58,3% de los encuestados señaló que están cómodos con el régimen actual de actualización de cuotas dos veces al año, mientras que el otro 41,7% señaló que les acomodaría una asignación de cuotas una vez al año (**Figura 82**).

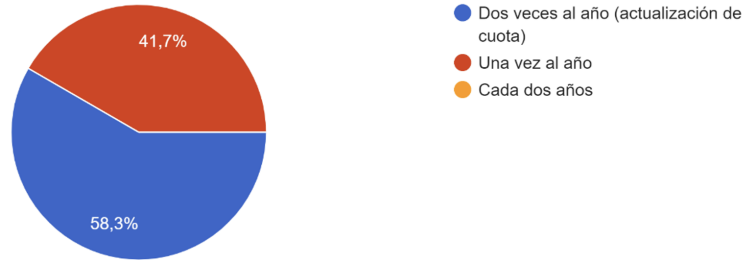


Figura 82. Proporción de encuestados que indican preferencia sobre la periodicidad de asignación de cuotas.

Ahora, al considerar la regla empírica señalada en el taller, donde se indicó una captura estable de 570 mil toneladas por sobre la biomasa de referencia, se consultó a los participantes si **están de acuerdo con dicho nivel de captura**, a lo que la mitad de los encuestados indicó estar de acuerdo, mientras que la otra mitad no (**Figura 83**). En este sentido, se solicitó que, si no estaban de acuerdo, señalaran **con qué nivel de captura sí lo estarían**. Las respuestas a esta pregunta variaron desde aquellos que optaron por niveles que determinara el CCT a partir de las evaluaciones de stock, a números concretos que fueron entre 650 mil toneladas y las capturas actuales, con una respuesta particular de 1 millón de toneladas.

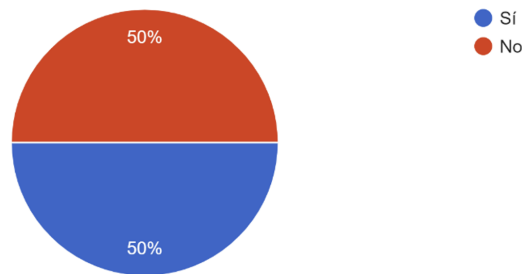


Figura 83. Proporción de encuestados en acuerdo con el nivel de captura de la regla empírica señalada (570 mil toneladas).

Finalmente, para la sección de preguntas referidas a reglas de control de captura, se consultó a los asistentes si **estarían dispuestos a reservar un margen de toneladas de la CBA total del stock para Perú, a modo de iniciativa que permita los estándares de certificación de la pesquería**. Al respecto, un 58% de los asistentes indicó no estar de acuerdo (**Figura 84**)

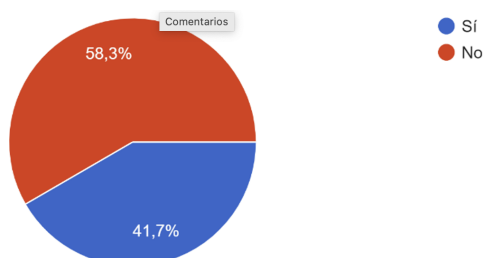


Figura 84. Proporción de encuestados en acuerdo reservar un margen de toneladas de CBA para Perú.

B.3 Indicadores Operacionales

La segunda sección de preguntas se centró en recoger la información sobre la percepción de los usuarios e integrantes del comité de Manejo sobre los indicadores u objetivos operacionales que mejor representan la pesquería y permiten entender de mejor forma el manejo de esta.

En este sentido, se consultó en primer lugar por cuál de los indicadores señalados (evitar el riesgo de sobreexplotación, evitar el riesgo de sobrepesca, y maximizar el escape de juveniles) presentaría mayor importancia, **considerando como objetivo el asegurar la sostenibilidad del recurso y su pesquería (Figura 85)**. Los resultados muestran que, si bien la mayoría opina que los tres indicadores son de alta importancia, la mayoría indica que evitar el riesgo de sobreexplotación es el indicador más importante.

Ahora, considerando como objetivo **la recuperación de las pesquerías agotadas o sobreexplotadas**, los encuestados señalaron como indicador de mayor importancia el aumentar *la probabilidad de salir de una condición no favorable* (siendo esta la sobreexplotación, sobrepesca o ambos), seguido de *aumentar la probabilidad de alcanzar la plena explotación de la pesquería*. En cuanto al indicador de menor importancia, la mayoría señaló que reducir el tiempo de recuperación poblacional estaba entre la última de sus prioridades (**Figura 85**).

Si se toma en consideración como objetivo el **priorizar los posibles intereses de largo plazo para usuarios de la pesquería**, la mayoría de los encuestados indican que minimizar la incertidumbre del sector es un indicador de la mayor importancia, dejando como segunda opción el maximizar las capturas (**Figura 85**).

Dicho esto, se consideró consultar a los encuestados **cuáles de todos los indicadores presentados les parecieran los más necesarios**. Un gran porcentaje de las respuestas (41,7%) se centraron en respuestas asociadas a poder asegurar la sostenibilidad del recurso y su pesquería o, en otras palabras, a evitar condiciones de sobreexplotación y/o sobrepesca o alcanzando el RMS. También fueron recolectadas respuestas que apuntaron a recuperar las pesquerías en situaciones de sobreexplotación o agotamiento. No obstante, al consultar sobre indicadores que no hubiesen sido mencionados en la encuesta, se registró la necesidad de considerar indicadores ambientales, oceánicos y geopolíticos. Así mismo, también se evidenció la necesidad de incluir indicadores que permitan visibilizar la actividad pesquera o bien que fortalezcan el manejo adaptativo.

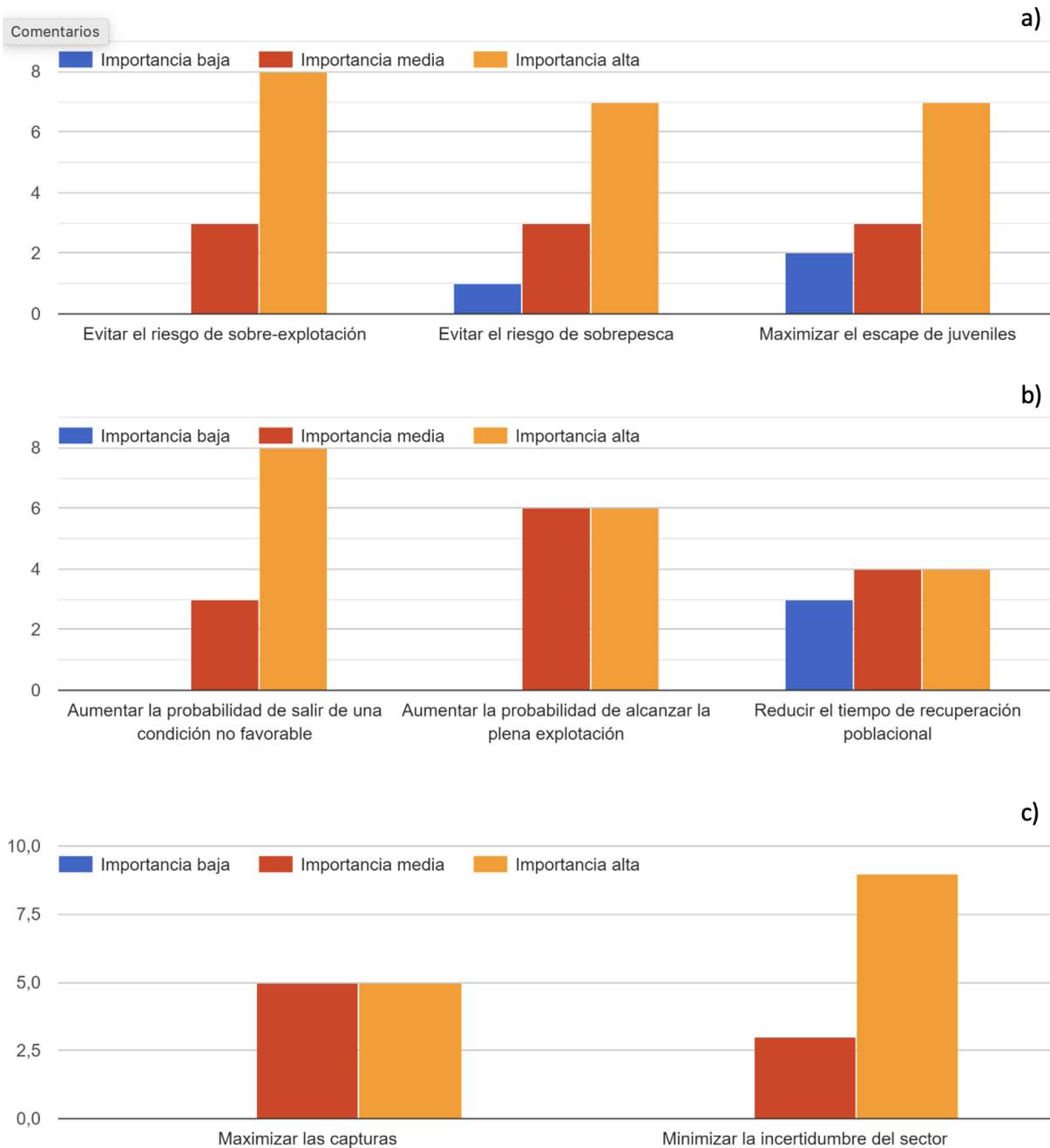


Figura 85. Cantidad de encuestados que indican el nivel de importancia de los indicadores operacionales presentados para los objetivos de (a) asegurar la sostenibilidad del recurso y su pesquería, (b) recuperar las pesquerías agotadas o sobreexplotadas, y (c) priorizar los intereses de largo plazo para usuarios de la pesquería.

““



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Almte. Manuel Blanco Encalada 839,
Fono 56-32-2151500
Valparaíso, Chile
www.ifop.cl



www.ifop.cl