



INFORME DE ESTATUS

Convenio de Desempeño 2015

Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables
de los principales recursos pesqueros nacionales, 2016:

Anchoveta III-IV Regiones, 2016

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Septiembre 2015



INFORME DE ESTATUS

Convenio de Desempeño 2015:

Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables
de los principales recursos pesqueros nacionales, 2016:

Anchoveta III-IV Regiones, 2016

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Septiembre 2015

REQUIRENTE

**SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA
Y EMPRESAS DE MENOR TAMAÑO**

Subsecretaria de Economía y
Empresas de Menor Tamaño
Katia Trusich Ortiz

EJECUTOR

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP

Director Ejecutivo
Leonardo Núñez Montaner

Jefe División Investigación Pesquera
Claudio Bernal L.

JEFE PROYECTO

Elson Leal Faúndez

AUTORES

Elson Leal Faúndez
Cristian Canales Ramírez

COLABORADORES

María Gabriela Böhm Stoffel
Francisco Leiva Dietz
Juan Carlos Saavedra Nievas
María José Zúñiga Basualto



ÍNDICE GENERAL

	Página
ÍNDICE GENERAL.....	i
RESUMEN EJECUTIVO.....	III
1. OBJETIVOS.....	1
1.1 Objetivo General	1
1.2 Objetivo Específico	1
2. ANTECEDENTES.....	2
2.1 Aspectos Administrativos.....	2
2.2 Biología, pesquería y enfoque de evaluaci3n	3
3. DATOS E INFORMACI3N.....	6
3.1 Desembarques	7
3.2 Aspectos biol3gicos.....	8
3.3 Estructura de tallas.....	10
3.4 Análisis de las Tasas de Capturas (CPUE)	14
3.5 Crucero de evaluaci3n directa	21
4. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	24
4.1 Modelo de evaluaci3n	24
4.2 Definici3n del peso relativo de la informaci3n.....	26
5. RESULTADOS.....	29
5.1 Escenario de Modelaci3n.....	29
5.2 Desempeño del modelo	31
5.3 Evaluaci3n del stock.....	42
5.4 Estatus del recurso.....	42
6. ANÁLISIS Y DISCUSI3N.....	51
6.1 Resultados de la evaluaci3n	51
6.2 Biología, ecología y estrategias de explotaci3n.....	52
6.3 Datos e índices usados en la evaluaci3n	53
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55



ANEXOS:

- Anexo 1.** Modelos procesos, observaciones, errores. Modelo talla estructurado.
- Anexo 2.** PBR en el contexto de la LGPA y su estimación en las pesquerías nacionales.
- Anexo 3.** Base de datos – Modelo.
(*Incluida en el CD presentado al comienzo de este documento).



RESUMEN EJECUTIVO

El presente reporte contiene la evaluación del stock y el estatus para la pesquería de anchoveta (*Engraulis ringens*) distribuida entre los 24° y 32°LS (Unidad de Pesquería centro-norte) durante el año 2015. Se utiliza la mejor y más reciente información disponible, incluyendo los resultados del crucero de evaluación directa realizado el pasado mes de febrero de 2015.

Se realiza un análisis estructurado a la longitud de los individuos. La información de entrada usada para desarrollar el modelo, corresponde a los antecedentes biológicos de longitud y pesos medios de los individuos actualizados a junio de 2015. La CPUE en el periodo 1986-2015, el índice de biomasa acústica (RECLAN) entre 2006 y 2015 y su respectiva estructura de longitudes. Finalmente se consideran los desembarques oficiales entre 1985 y 2014 y asumiendo un nivel referencial para el año 2015 de 34.5 mil t.

De acuerdo al enfoque de modelación usado en este estudio y considerando información biológica y de la actividad pesquera, la anchoveta distribuida en la Unidad de Pesquería centro-norte, presentaría durante el año 2015 un valor central de biomasa total y desovante de 152 mil y 36,5 mil toneladas respectivamente. Estos valores, son inferiores a los promedios históricos de 270 mil y 55 mil t. observados en cada índice. Los reclutamientos muestran una tendencia decreciente a partir del año 2011.

La mortalidad por pesca, muestra una reducción importante en período 2006–2013 y un incremento durante los años 2014 y 2015. Debido a esto, la Razón del Potencial Reproductivo (RPR) incrementó desde una condición cercana al 35% el año 2005 hasta valores por sobre el objetivo de manejo (60%) entre los años 2011 y 2013. Sin embargo, durante los años 2014 y 2015, el stock mostró niveles de reducción hasta un 55% y 36% respectivamente situándose por debajo del rango de sustentabilidad biológica. Los resultados de la evaluación, indican una probabilidad de 99% que el stock se encuentre en una condición de sobre-explotación $p(BD < BD_{mrs})$. En términos de mortalidad (F), la probabilidad de encontrarse en sobrepesca $p(F_{2015} > F_{mrs})$, es de un 91%.

El estatus recurso debe ser revisado y actualizado considerando los resultados del crucero de evaluación directa del mes de febrero del año 2016.

Se propone como objetivo de manejo considerar las recomendaciones del comité científico, basadas en Paya *et al.* (2014), proponiendo el PBR F60 como un proxy del nivel de mortalidad por pesca que genera el Máximo Rendimiento Sostenible (F_{mrs}).



1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo general

Estimar la composici3n, abundancia y biomasa y actualizar el estatus e incertidumbre asociada de la Anchoveta en la III-IV Regiones, proveyendo toda la informaci3n y prestando la mejor asesoría a los Comit3s Científico T3cnicos en el an3lisis de sus posibilidades de explotaci3n biol3gicamente sustentables y los niveles de riesgo involucrados, en horizontes de corto y mediano plazo.

1.2. Objetivos específcos

- Implementar procedimientos de evaluaci3n de stock basados en protocolos científcos para la determinaci3n del estatus de los recursos seleccionados con arreglo al nivel de conocimiento, informaci3n e incertidumbre correspondiente, conforme a los est3ndares actuales en ciencia pesquera.
- Establecer el estatus actualizado de estos recursos, sobre la base de sus principales indicadores de estado y flujo, incorporando la incertidumbre de estimaci3n involucrada, empleando el mejor conocimiento e informaci3n disponible a la fecha de ejecuci3n del estudio, acorde con los est3ndares definidos por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura y recomendados por los Comit3s Científico y T3cnico respectivos.
- Brindar al Comit3 Científico T3cnico correspondiente la asesoría t3cnica necesaria, proveyendo los datos, antecedentes e informaci3n necesarios para el an3lisis de las posibilidades de explotaci3n y la determinaci3n de los niveles de Captura Biol3gicamente Aceptable (CBA) para cada uno de los recursos pesqueros considerados en este proyecto, para la siguiente temporada extractiva anual (año 2016), con su an3lisis de incertidumbre y riesgo asociado de mediano y largo plazo, conforme a lo dispuesto por la Ley General de Pesca y Acuicultura y en el Plan de Manejo o de Recuperaci3n respectivo, seg3n corresponda.
- Informar el avance del Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría Científica (PMCCAC) que permita registrar la historia de las mejoras realizadas en la evaluaci3n de stock, incluyendo el desarrollo de las recomendaciones realizadas tanto en el proceso de calificaci3n t3cnica como en las revisiones por pares, cuando corresponda.



2. ANTECEDENTES

2.1. Aspectos administrativos

La actividad pesquera en Chile se ha situado como una de las áreas que ha liderado el crecimiento de la economía nacional. Dicho proceso se ha basado tanto en los niveles de producción y exportaciones de la pesca extractiva, así como también, en el rápido desarrollo de la acuicultura.

Por mandato legal, la función pública en la gestión de la actividad pesquera y de la acuicultura le corresponde a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura y al Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, instituciones responsables de fijar las políticas y establecer las medidas de regulación que tienen por objetivo conformar el marco legal y normativo para brindar las condiciones más adecuadas para el desarrollo sustentable de la actividad de la pesca y la acuicultura. Para cumplir adecuadamente ese rol resulta esencial contar con fundamentos científicos y técnicos sólidos en cuanto al conocimiento del estado de conservación de los recursos biológicos y su ambiente, así como también, del desempeño de la actividad extractiva.

Consecuentemente, la autoridad sectorial ha definido la misión institucional en términos de regular y administrar la actividad pesquera y de acuicultura, a través de políticas, normas y medidas de administración, sustentadas en informes técnicos fundamentados en la investigación científica y en variables de carácter social y económico, con enfoque participativo y territorial.

Los objetivos estratégicos asociados para dar cumplimiento a esta misión son los siguientes:

- Establecer las medidas de administración sectorial para propender a la sustentabilidad de los recursos pesqueros y de la acuicultura.
- Disponer de información sectorial oportuna y pertinente que permita el diseño de las políticas sectoriales y la administración de la actividad pesquera y de acuicultura.

Con el objeto de atender la misión y sus objetivos estratégicos, la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura identifica y encarga al Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) ejecutar los programas de seguimiento y monitoreo de las pesquerías, así como también, la evaluación de stock y análisis de capturas recomendables para los principales recursos pesqueros, todos financiados con fondos sectoriales de asignación directa.

En esta última cartera de proyectos se integra el conocimiento científico generado en diversos estudios, otros proyectos y programas de investigación realizados sobre estos recursos y sus pesquerías, así como también, toda la información científica y técnica disponible a la fecha de ejecución, tales como los programas de seguimiento de las pesquerías, los cruceros de evaluación directa y antecedentes pesqueros que permiten actualizar anualmente el estatus de conservación de los recursos pesqueros nacionales y recomendar las Capturas Biológicamente Aceptables para



éstos. Contribuyen también a esas funciones, otros organismos de investigación científica y técnica que ejecutan estudios financiados por el Fondo de Investigación Pesquera, que también contribuyen en el PAC que conduce anualmente esta Subsecretaría.

Cabe señalar que en los últimos 21 años, IFOP ha realizado anualmente las evaluaciones de stock y estimaciones de capturas totales permisibles de los principales recursos pesqueros de Chile. Esto ha servido de base biológica para las medidas de conservación que la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura ha aplicado. Las metodologías para la evaluación de stock han progresado notablemente como así mismo las capacidades de IFOP, razón por lo cual el instituto se ha consolidado a nivel nacional y latinoamericano como la única institución con la capacidad científico/técnica para desarrollar una evaluación de stock moderna en variadas especies, lo cual le ha exigido avanzar en un programa de revisión por pares independientes.

La nueva Ley de Pesca y Acuicultura estableció que sea el actual Instituto de Fomento Pesquero el ejecutor de este proyecto, mediante la asignación directa de fondos sectoriales, lo que reconoce a dicho Instituto como el organismo que provee los insumos fundamentales para el cumplimiento de la función reguladora de la Administración Pesquera del Estado.

El establecimiento del estatus de conservación de los recursos contemplados en este proyecto se realizará empleando la mejor información científica y técnica disponible sobre estos recursos. Con ese propósito, el cálculo de los Puntos Biológicos de Referencia se realizará conforme al marco biológico de referencia definido por los Comité Científico Técnicos respectivos y esta Subsecretaría, empleando los indicadores más confiables de las variables de estado (biomasa, abundancia) y flujo (mortalidad por pesca o tasas de explotación) de cada uno de los stocks de los recursos pesqueros considerados en este proyecto, con su correspondiente análisis de incertidumbre.

Sobre esa base, se sustentará el cálculo de la Captura Biológicamente Aceptable para el año 2015 con sus respectivos análisis de riesgo, debidamente informados en tablas de decisión, además de proyecciones de mediano plazo, cuando corresponda.

En consideración a lo dispuesto en las recientes modificaciones al texto de la Ley de Pesca y Acuicultura, la ejecución de este proyecto deberá contemplar la correcta aplicación del Enfoque Precautorio en su orientación, abordando adecuadamente el tratamiento de la incertidumbre propia de estos sistemas pesqueros (FAO, 1997).

2.2. Biología, pesquería y enfoque de evaluación

La anchoveta (*Engraulis ringens*), se distribuye en un amplio rango geográfico (desde los 4° a los 42° S) a lo largo de la corriente de Humboldt en la costa este del Pacífico sur. En el área se han descrito tres poblaciones de esta especie, norte y centro del Perú, sur del Perú - norte de Chile y centro sur



de Chile (Alheit & Ñiquen, 2004). En la costa de Chile existen, desde el punto de vista administrativo, tres unidades de pesquería de anchoveta: Unidad de Pesquería norte (XV-II Regi3n), Unidad de pesquería centro norte (III-IV Regi3n) y Unidad de Pesquería centro-sur (V-X Regi3n).

La Unidad de pesquería de anchoveta centro norte ha sido explotada desde mediados de los años 80. Sus desembarques alcanzaron en esta zona un máximo hist3rico de 200 mil toneladas en el año 1995. Sin embargo, el promedio hist3rico de desembarque en esta pesquería ha variado principalmente entre las 45 y 80 mil toneladas anuales.

A pesar de los menores volúmenes de desembarques en comparaci3n con los registrados en la pesquería de anchoveta de la zona norte y centro sur de Chile, la unidad de pesquería centro norte sustenta una importante actividad económica a nivel local, con una flota principalmente de tipo artesanal.

En cuanto a su dinámica, es bien conocido que las poblaciones de peces pelágicos pequeños situados en los ecosistemas de surgencia costera se caracterizan por una alta variabilidad interanual en su abundancia (Bakun & Parrish, 1982; Cushing, 1990; Cubillos, *et al.*, 2002). Estas fluctuaciones se asocian fundamentalmente al reclutamiento, cuya variabilidad está relacionada tanto a factores ambientales (Cole & MacGlade, 1998; Rothschild *et al.*, 2000) como al potencial reproductivo de la poblaci3n a través de mecanismos denso-dependientes. Como consecuencia, los niveles de captura biológicamente sustentables, varían cada año. En este contexto, es necesario realizar una evaluaci3n anual del estado del recurso y establecer una estrategia de manejo adecuada para la sustentabilidad de la pesquería.

A partir del año 2002, la pesquería de anchoveta en la unidad de pesquería centro norte, se ha administrado bajo sistema de cuotas globales de capturas. Estas restringen los niveles de desembarque y regulan así la mortalidad por pesca. Este marco administrativo requiere que las estimaciones de Captura Biológicamente Sustentables se basen sobre análisis científicos fundamentados en metodologías estándares que respondan a los objetivos de manejo definidos por la autoridad.

Para el caso particular de la anchoveta en la Unidad de Pesquería centro-norte, la síntesis de los talleres de datos y modelaci3n realizados en el marco del estudio previo, concluyen, que no obstante se dispone de un adecuado volumen de datos, la calidad de la informaci3n aún es insuficiente para precisar niveles poblacionales donde se puede conseguir el Máximo Rendimiento Sostenido (MRS), considerando este como principal referente actual para el manejo pesquero por la autoridad pesquera en Chile. Esta situaci3n se debe principalmente a la falta de mayor conocimiento de algunos procesos dinámicos espacio-temporales. Esto se traduce en datos e indicadores poblacionales sujetos a una considerable incertidumbre producto de su gran variabilidad. De esta manera, el estándar de la informaci3n para establecer el diagnóstico del recurso puede ser considerado como incompleto.



No obstante, la incertidumbre en la evaluaci3n y las continuas mejoras que puedan ser incorporadas cada a3o al modelo estadístico usado para modelar la dinámica, los datos empleados en la actual evaluaci3n de stock contienen informaci3n suficiente para ser modelada y obtener resultados consistentes que pueden ser usados para el manejo pesquero.

Para llevar a cabo la evaluaci3n, se realiza un análisis estructurado a la longitud de los individuos (Sullivan *et al.*, 1990). La informaci3n de entrada usada para estructurar el modelo, corresponde a los antecedentes biológicos de longitud y pesos medios de los individuos, la CPUE, el índice de biomasa directo a partir del a3o 2006 y su respectiva estructura de longitudes. Finalmente se consideran los desembarques oficiales reportados en esta pesquería.

Para modelar la estructura de longitudes, el análisis considera el uso de un único patr3n de explotaci3n de tipo logístico para todo el periodo, tanto para la informaci3n de la flota como del crucero de evaluaci3n directa. La informaci3n acústica (RECLAN), se usa como un índice relativo de la biomasa total del recurso a principios de a3o ($q \neq 1$, se estima dentro del modelo). El enfoque de modelaci3n, entrega mayor valor estadístico a la informaci3n de desembarques por sobre el índice de abundancia relativo (CPUE) y evaluaci3n directa.

El objetivo del presente reporte es identificar y analizar las piezas de informaci3n y el enfoque de modelaci3n que será utilizado para llevar a cabo la evaluaci3n del stock de anchoveta y estimaci3n de capturas sustentables en la Unidad de Pesquería centro-norte (III-IV Regiones) para el a3o 2015.



3. DATOS E INFORMACIÓN

El modelo de evaluación cubre el período 1985-2015 y considera información en escala anual que se resume en:

- Parámetros biológicos (madurez, crecimiento y peso a la talla).
- Serie anual de desembarques (1985-2015).
- Índice CPUE estandarizado (1986-2015).
- Serie anual de biomاسas obtenidas en los cruceros acústicos (2006-2015).
- Composiciones de tallas anuales de las capturas (1995-2015).
- Composiciones de tallas anuales de los cruceros (2006-2015).

Se asume para el año 2015 un nivel de desembarque esperado en torno al promedio de los últimos 2 años (de 34,5 mil toneladas).

Se utilizó para el año 2015 información de la estructura de longitudes de los individuos observada desde las capturas hasta el mes de junio.

Los rendimientos de pesca (CPUE) están actualizados hasta diciembre de 2014, asumiendo para el 2015 un valor similar al último año.

Se utiliza la información del índice de biomasa acústico y estructura de longitudes reportada por el crucero de evaluación directa desarrollado IFOP en la zona costera de la III y IV regiones, incluyendo el más reciente realizado en el mes de febrero de 2015.



3.1 Desembarques

A partir del año 2003 y como consecuencia de la entrada en vigencia del régimen LMCA (DFL N°19.713, del 25 de enero de 2001) la actividad pesquera de la III-IV Región ha estado dominada por los desembarques de la flota artesanal. Debido a la distribución eminentemente costera de la anchoveta, su disponibilidad para la flota industrial se vio alterada ante el marco legal vigente operando actualmente un reducido número de naves, principalmente en zonas de perforación artesanales autorizadas por la Subsecretaría de Pesca.

De acuerdo a lo informado por el Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA), el desembarque total evidenció una disminución significativa desde 56 mil toneladas el año 2008 hasta valores cercanos a las 36 mil toneladas el 2009. Durante el año 2010 incrementaron hasta a las 47 mil toneladas y el 2011, según los registros oficiales, el desembarque aumentó nuevamente, alcanzando las 58 mil t. Durante los años 2012 y 2013 los desembarques alcanzaron valores de 42 mil y 35 mil t. respectivamente (**Figura 1**). Durante el año 2014, los desembarques permanecieron estables respecto del año anterior, registrando valores cercanos a las 34 mil t. La actividad extractiva también refleja una marcada estacionalidad concentrada durante el primer semestre (**Figura 2**). Durante el primer semestre del año 2015, se aprecia una menor actividad en comparación con los años previos. Se observaron hasta el mes de junio niveles de desembarques cercanos a las 18 mil t.

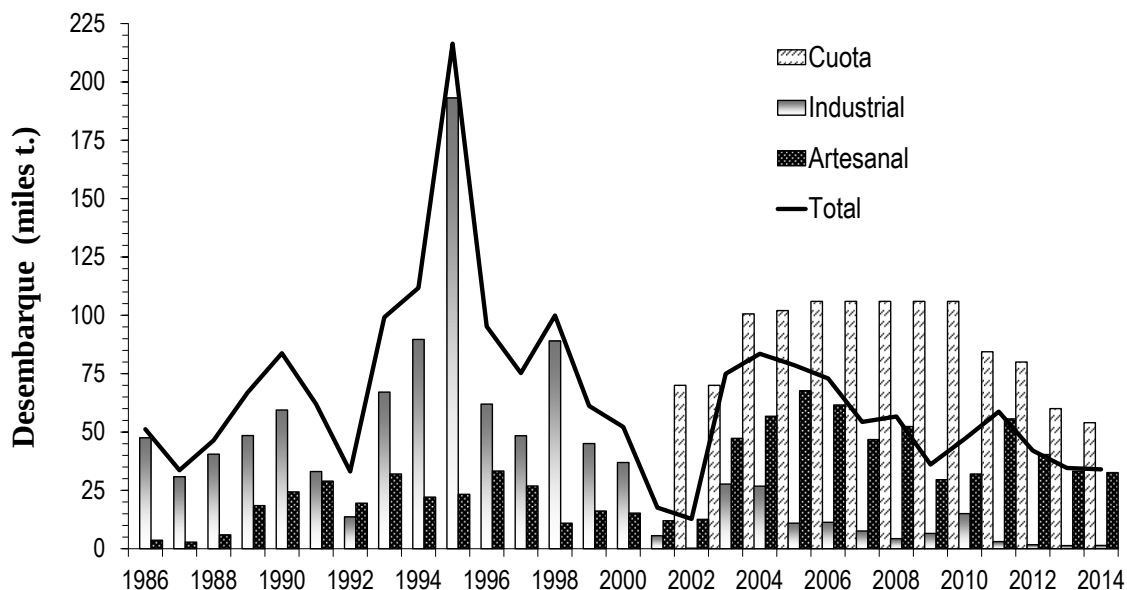


Figura 1. Desembarque de anchoveta por flota, III y IV Regiones 1985 al 2014 y cuota de capturas (periodo 2002- 2014).

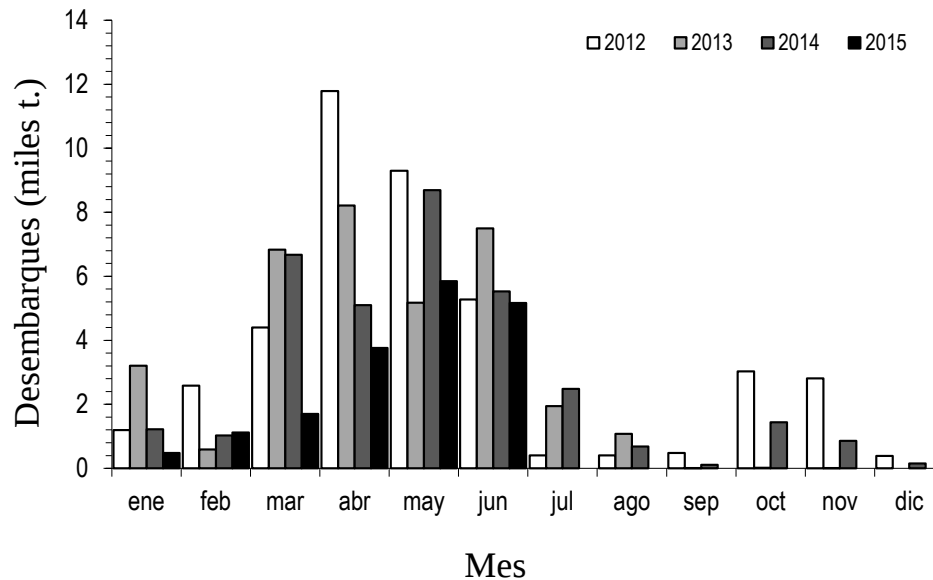


Figura 2. Comparación de las capturas mensuales de anchoveta efectuadas en la III – IV Región entre los años 2012 y 2015 (junio).

3.2 Aspectos biológicos

Longitud media de madurez ($L_{50\%}$)

Canales y Leal (2009) estimaron a través de estados macroscópicos de desarrollo ovárico, la ojiva de madurez para la anchoveta distribuida en la unidad de pesquería centro norte. Este análisis señala que la longitud media de madurez ($L_{50\%}$) de la anchoveta en esta zona, estaría en torno a los 12.5 cm de longitud total (Lt). Esta estimación coincide con lo reportado para la anchoveta de la unidad de pesquería norte (XV, I y II regiones). Sin embargo, se aprecian diferencias importantes en la proporción de hembras maduras por intervalo de talla en cada zona (**Figura 3**). En este sentido, dado que la descripción del proceso reproductivo de la anchoveta centro-norte se basó en estados de madurez macroscópica, se sugiere continuar utilizando en la evaluación, la ojiva de madurez sexual correspondiente a la zona norte hasta no disponer de un análisis que permita ratificar las recientes estimaciones. Bajo esta perspectiva, sería recomendable desarrollar un enfoque basado en estados microscópicos de madurez, de manera de precisar el proceso de maduración de los individuos, disminuyendo la incertidumbre en las estimaciones de abundancia y biomasa de la fracción madura de la población en la zona de estudio.

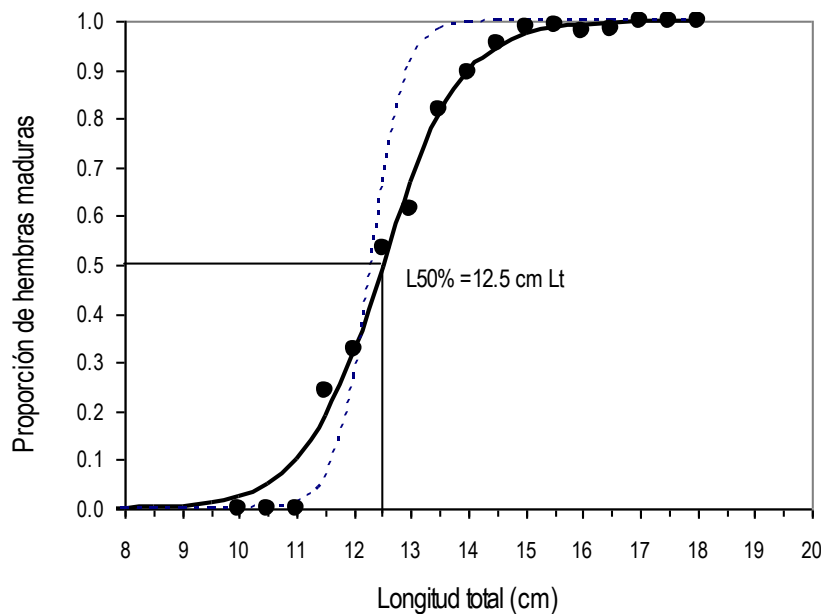


Figura 3. Comparación entre la ojiva de madurez actualmente utilizada para la evaluación (línea segmentada) y la estimada por Canales & Leal (2009), línea continua (modelo ajustado), puntos (datos observados).

Crecimiento individual

Canales (2007) estima los parámetros de crecimiento de anchoveta en la III y IV regiones, los que fueron comparados con los estimados para esta especie en la unidad de pesquería norte y centro-sur (Tabla 1).

Tabla 1.
Comparación de las estimaciones de los parámetros de crecimientos de anchoveta, para los tres stock de anchoveta de Chile.

Parámetro	I – II regiones		III – IV regiones		V - X regiones	
	Estimado	error	estimado	error	estimado	error
L_{∞} (cm)	20.95		19.5	0.326	20.1	0.60
k (año ⁻¹)	0.514		0.546	0.027	0.514	0.05
t_0 (año)	-1.9		-1.0	0.034	-0.042	0.19



Los parámetros de crecimiento estimados para anchoveta en la III y IV regiones fueron: $L_{\infty}=19.5$ cm, $k=0.546$ y $t_0=-1.0$ año. Al respecto, se indica que la longitud asintótica resultó en un valor inferior a los estimados para la especie en la zona norte y centro sur, aunque la tasa de crecimiento fue similar. El estudio advierte además que el parámetro t_0 , fuera de estar alejado de su definición conceptual, presentó diferencias importantes respecto de los otros stocks. Al respecto, Canales y Leal (2009) re-estiman los parámetros de crecimiento para la especie en el área de estudio, corrigiendo el parámetro t_0 a través de la longitud de eclosión larval según lo indicado por López-Veiga (1979). Los parámetros de crecimiento re-estimados para anchoveta en la III y IV regiones presentaron valores de: **$L_{\infty}=18.75$ cm, $k=0.91$ año⁻¹ y $t_0=-0.01$ años**. Los parámetros re-estimados se usan en el modelo de evaluación del recurso a partir del año 2009.

Mortalidad natural

Canales (2007), estima la mortalidad natural (M) para anchoveta de la III y IV región, asumiendo un valor compromiso para este parámetro de 0.87 año⁻¹, entre distintos métodos. Este valor de M fue usado en las evaluaciones 2007 y 2008. Sin embargo, a partir del año 2009, se utiliza en la evaluación del stock, el valor de M reportado por Canales y Leal (2009) que fue estimado en **1.3 año⁻¹** usando los parámetros de crecimiento re-estimados.

3.3 Estructura de tallas

La **Figura 4**, muestra las estructuras de tallas mensuales desde enero de 2005 a diciembre de 2012. Se aprecia el ingreso a la pesquería de la fracción recluta persistentemente durante el mes de enero y/o febrero de cada año, con desplazamiento de la longitud modal durante los meses siguientes. El año 2009, la falta de muestras en el mes de febrero, no permitió corroborar el reclutamiento de individuos. El año 2010 en tanto, el proceso se observó según lo esperado durante el mes de enero y una fracción en febrero. El año 2011 se observó un alto reclutamiento exclusivamente durante el mes de enero, aunque luego, el crucero de evaluación directa confirmó que el proceso se extendió hasta febrero. Durante el año 2012, aunque no se contó con muestras para el mes de enero, se apreció la entrada de una fracción recluta en febrero.

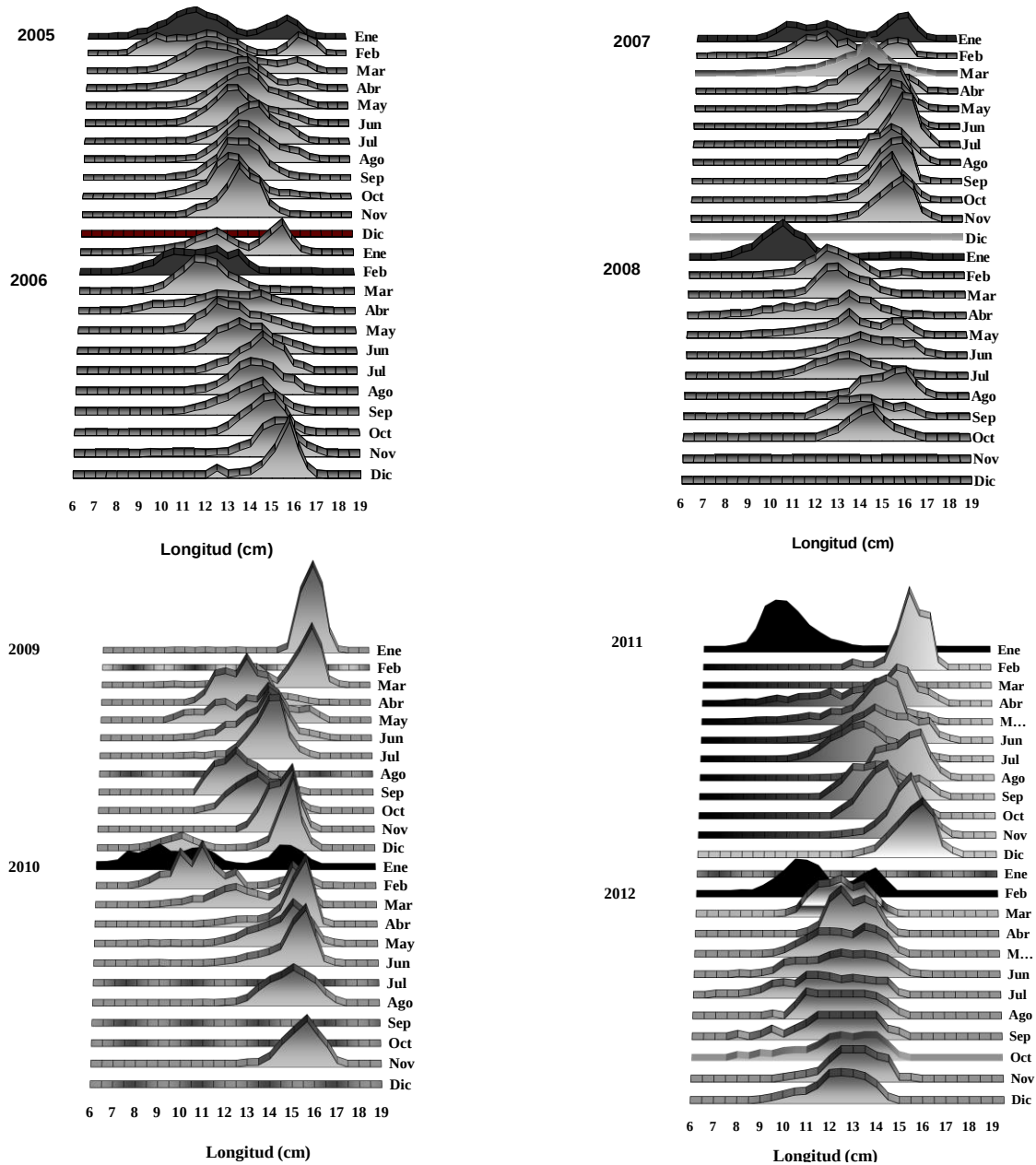


Figura 4. Estructura de tallas mensual de las capturas anchoveta III y IV Región (enero 2005 – diciembre 2012). Se destaca en negro el ingreso de reclutas cada año (excepto el 2009).



Durante los años 2013 y 2014, la estructura de longitudes mensual (**Figura 5**), muestra una escasa presencia de ejemplares pequeños, no advirtiendo el pulso de reclutamiento observado los años previos durante los primeros meses del año. En Noviembre y diciembre (como en años anteriores) la escaza actividad pesquera impidió obtener muestras para la estructura de longitudes. Durante los primeros meses del año 2015, se apreciaron ejemplares de pequeño tamaño, solo durante el mes de febrero.

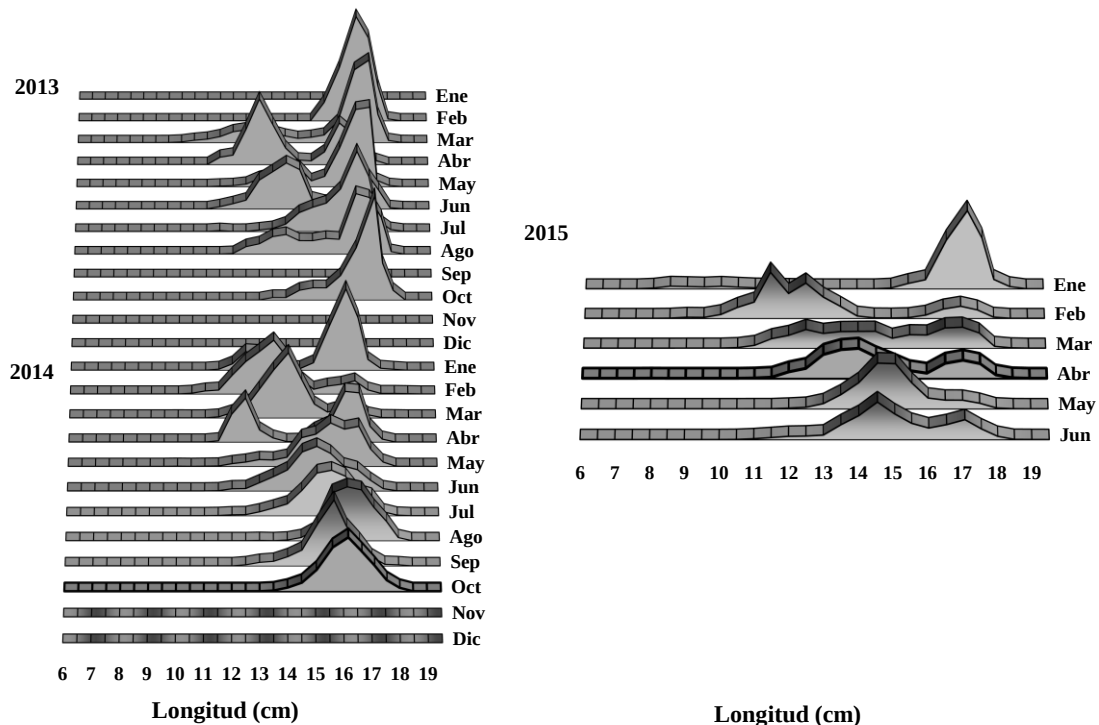


Figura 5. Estructura de tallas mensual de anchoveta obtenida desde la flota durante los años 2013, 2014 y primer semestre de 2015.

La **Figura 6** muestra la información de la estructura de longitudes de la flota observada en febrero de los años 2014 y 2015, comparado con el crucero de evaluación directa realizado cada año el mismo mes. En ambos casos se aprecian diferencias importantes en la estructura de longitudes de cada fuente de información. La información de la flota revela una escasa presencia de individuos bajos los 11 cm Lt. El crucero del año 2015, complementa la información de la pesquería, revelando una fracción de ejemplares bajo los 11 cm Lt, superior al crucero del año previo.

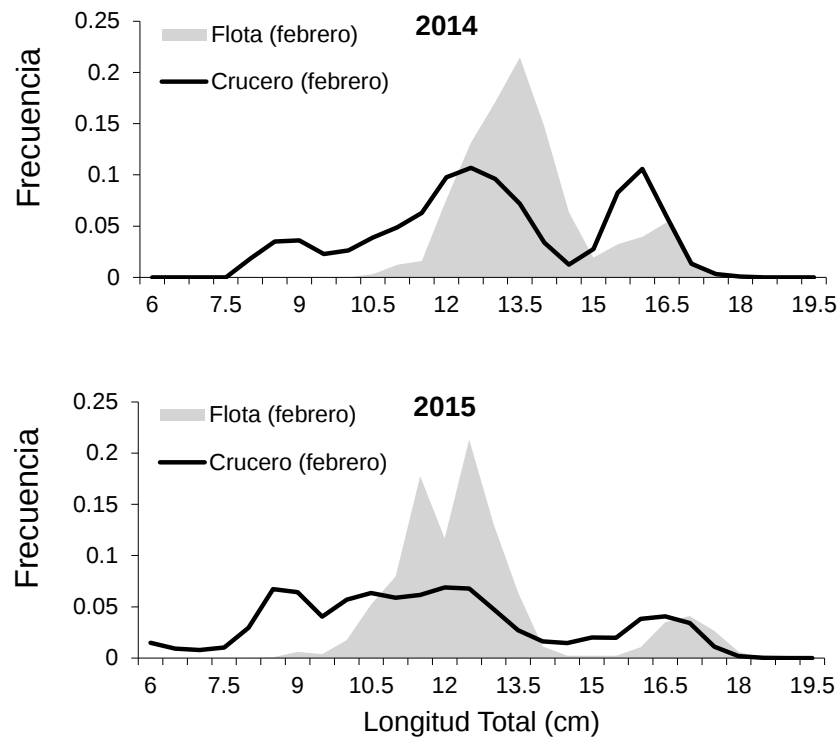


Figura 6. Estructura de tallas de anchoveta obtenida desde la flota en el mes de febrero de 2014 y 2015 y la observada por el crucero de evaluación directa durante el mismo mes en la zona costera de la III-IV Regiones.



3.4 Análisis de las Tasas de Capturas (CPUE)

La informaci3n utilizada en este análisis corresponderá a los registros de bitácoras recopiladas entre 1986 y diciembre de 2014. Se realizará la estimaci3n de tasas de capturas globales. Es decir, se incluyen en los análisis las naves industriales que participan de la pesquería como otro nivel dentro del factor: categoría de capacidad de bodega.

Se utilizan en la estandarizaci3n de las tasas de capturas de anchoveta de la flota industrial y artesanal, modelos lineales generalizados (GLM; McCullagh & Nelder, 1989). Bajo este enfoque, la CPUE es predicha como una combinaci3n lineal de variables explicatorias y el principal objetivo es estimar el efecto anual. Se evaluarán los modelos Log-normal y Gamma (Pennington, 1983; Ortiz & Arocha, 2004). Se evalúan únicamente los viajes que efectivamente obtuvieron capturas (viajes con pesca), ya que en esta pesquería en particular, es difícil realizar un seguimiento eficaz o confiable de los viajes con captura cero (*Bh3m com pers*).

El porcentaje de desviianza explicado y el análisis de distribuci3n de los residuos son utilizados como criterio para la selecci3n del mejor modelo en el análisis de las tasas de capturas.

Los efectos considerados en la estandarizaci3n de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE), son: ańo, trimestre, capacidad de bodega (CB) y zona de pesca.

El modelo de regresi3n general para las tasas de captura de anchoveta tiene la siguiente forma:

$$\ln(CPUE)_{i,j,k,l} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + t_l + \varepsilon_{i,j,k,l}, \text{ (log-normal)}$$

$$CPUE_{i,j,k,l} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + t_l + \varepsilon_{i,j,k,l} \text{ (Binomial, Gamma)}$$

Donde,

- μ : media general o intercepto
- α_i : corresponde al factor ańo
- β_j : factor trimestre
- γ_k : factor zona
- t_l : factor capacidad de bodega CTG
- $\varepsilon_{i,j,k}$: error aleatorio

La zona de estudio fue dividida en regi3n norte=1 (Caldera) y regi3n sur=2 (Coquimbo) de manera de incorporar el factor espacial en la estandarizaci3n de las tasas de captura. Para modelar el tamańo de las embarcaciones como fuente de variabilidad, se utilizaron de manera arbitraria, 10 categorías de capacidad de bodega (CTG): 1-20, 21-30, 31-40, 41-50, 51-60, 61-70, 71-80, 81-90, 91-100 y >100 (m3). Antes de elegir el trimestre, se analiz3 el semestre como otro factor temporal.



Dentro de cada modelo se seleccion3 aquel factor con mayor porcentaje de desviianza explicada y menor AIC (Criterio de informaci3n Akaike). El factor trimestre fue seleccionado, dado que present3 laq mayor devianza explicada, adem3s de presentar los menores 3ndices AIC (Leal *et al.*, 2014)

La **Figura 7**, muestra el n3mero de registros con el cual se construye en 3ndice de CPUE en la pesquer3a de anchoveta en la Unidad de Pesquer3a centro- norte, el que muestra amplias variaciones. Sin embargo, puede considerarse suficiente para generar un 3ndice robusto desde el punto de vista del n3mero de muestras, excepto los a3os 1992 y 2001.

Desde 1980 hasta el 2000 el desembarque de anchoveta en los puertos de la III y IV regiones fue a consecuencias de capturas realizadas por la flota industrial, sin embargo y desde mediados de los a3os noventa este comenz3 a disminuir en forma muy importante, debido por un lado al colapso de la pesquer3a de sardina espa3ola, que trajo consigo una reducci3n del esfuerzo de pesca industrial en ambas regiones (Mart3nez *et al.*, 2004). Posteriormente, a partir del a3o 2002, con la entrada en vigencia de la Ley que limita la actividad de pesca industrial en las primeras 5 millas, la actividad de pesca es realizada mayoritariamente por naves consideradas artesanales. Lo anterior se refleja en el n3mero de registros por categor3a de capacidad de bodega con el cual se lleva a cabo el an3lisis de las tasas de captura (**Tabla 2**).

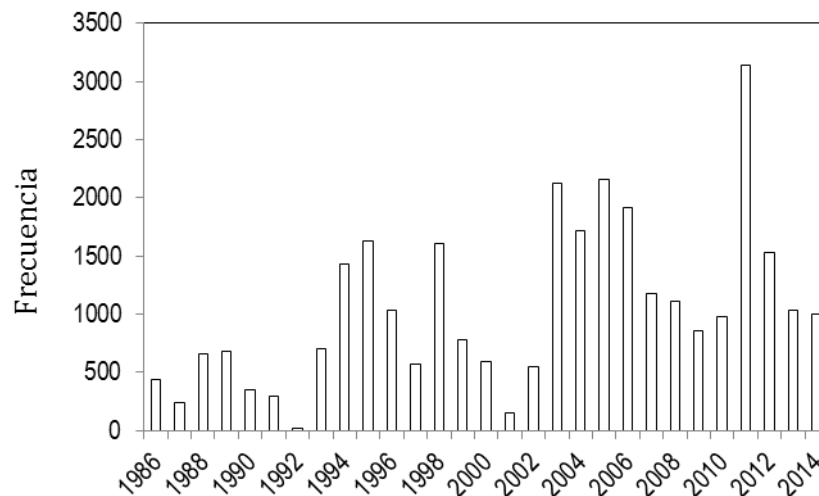


Figura 7. Variabilidad en el n3mero de viajes totales registrados, en la pesquer3a de anchoveta de la III y IV Regi3n entre los a3os 1986 y 2014, con el cual se construye en 3ndice de CPUE.

**Tabla 2.**

Número de registros por categoría de capacidad de bodega de las naves que operaron en la pesquería de anchoveta en la III y IV Regiones entre los años 1986 y 2014.

Año	Categoría de capacidad de bodega (m³)									
	1-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100	>100
1986	0	0	0	0	0	0	0	0	0	436
1987	0	0	0	0	0	0	0	0	15	226
1988	0	0	0	0	0	0	0	0	175	487
1989	0	0	0	0	0	0	0	0	50	633
1990	0	0	0	0	0	0	0	0	8	339
1991	0	0	0	0	0	0	0	0	23	274
1992	0	0	0	0	0	0	0	0	1	18
1993	0	0	0	0	0	0	0	0	0	703
1994	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1432
1995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1629
1996	0	0	0	4	0	0	0	0	22	1009
1997	0	0	0	0	0	0	0	0	0	569
1998	3	0	23	2	2	0	0	0	0	1582
1999	4	9	46	8	50	7	2	0	14	643
2000	0	3	6	2	14	1	0	0	3	559
2001	2	7	24	27	23	15	0	0	3	55
2002	47	100	63	47	96	78	31	24	44	18
2003	190	215	191	106	366	323	115	102	135	385
2004	0	38	146	237	273	223	94	110	289	311
2005	39	34	167	243	308	278	206	203	483	201
2006	26	7	77	179	218	611	62	261	241	234
2007	16	1	37	136	39	393	133	122	187	111
2008	10	15	19	38	61	427	409	87	0	44
2009	84	3	20	71	26	143	216	47	139	108
2010	39	53	48	35	204	207	213	59	64	56
2011	122	21	90	186	0	439	1542	470	173	100
2012	46	9	35	68	0	318	721	213	100	23
2013	18	1	46	28	0	203	527	155	60	0
2014	23	0	72	19	0	184	504	123	76	0

En cuanto a su variabilidad intra-anual, el análisis de la informaci3n agrupada en escala mensual, indica que los viajes se concentran entre enero y julio, disminuyendo de manera importante a partir de agosto (**Figura 8**). Esta puede asociada al agotamiento de la cuota, disminuci3n de la disponibilidad del recurso a la flota, al cambio de la especie objetivo (jurel por ejemplo).

El análisis de los rendimientos de pesca nominales, muestra tres periodos que pueden ser identificados a partir de la **Figura 9**. Un primer periodo entre 1986 y 1994 con rendimientos altos y ampliamente variables, luego se aprecia una reducci3n en los rendimientos de pesca hasta el año



2001, aunque con una menor variabilidad. Finalmente, a partir del a1o 2004 se aprecia una estabilizaci3n en los rendimientos de pesca, en torno a los valores medios observados en el segundo periodo.

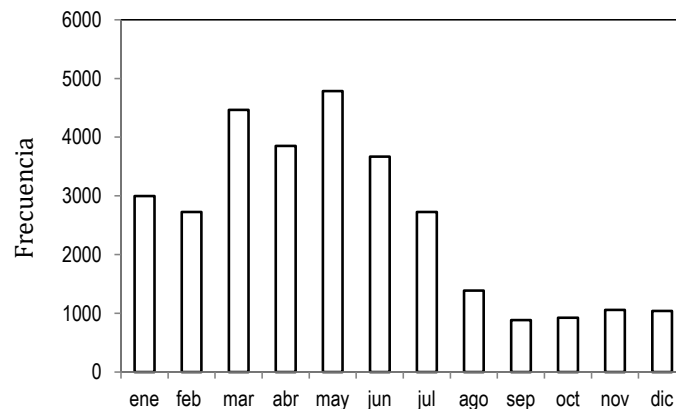


Figura 8. El n1mero de viajes totales por mes registrados en la actividad pesquera de anchoveta en la Unidad de pesquer1a centro norte, entre los a1os 1986 y 2014.

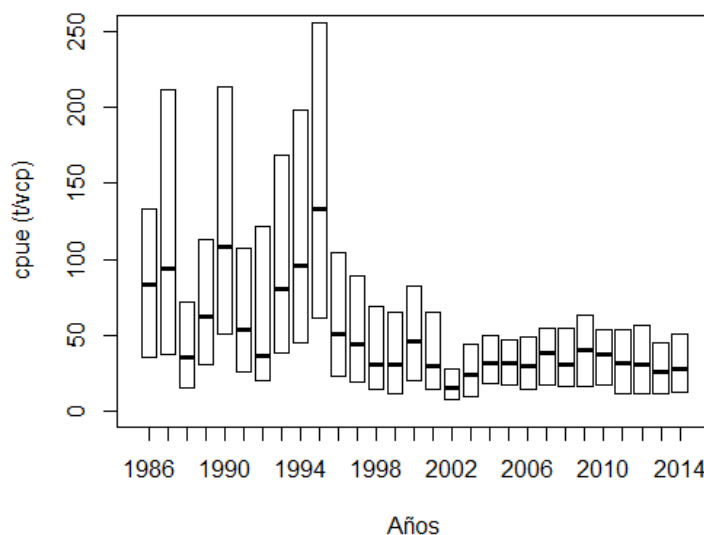


Figura 9. Variabilidad de los rendimientos de pesca nominales obtenidos por la flota que oper3 sobre anchoveta en la Unidad de pesquer1a centro norte, entre los a1os 1986 y 2014.



Resultados de la estandarización de las tasas de capturas (CPUE)

El análisis gráfico preliminar, realizado para establecer el tipo de distribución de la variable respuesta, indica que al transformar la CPUE de los viajes con pesca a escala logarítmica, esta adquiere una distribución normal (*Pearson*, $p < 0,001$) (**Figura 10**). Este supuesto debe cumplirse para la modelación de la CPUE a través de GLM con aproximación log-normal. En el caso de la distribución Gamma, su estructura, ofrece mayor independencia del tipo de distribución de la variable respuesta. Al respecto, McCullagh & Nelder (1989) y Gunnar (1996), indican como requisito para utilizar la función gamma en la modelación de la variable respuesta, que el valor de la pendiente entre el log de la media y al varianza de la CPUE, sea cercana a 2. Esta condición se confirma a través de un modelo lineal, cuyo valor de la pendiente, en este caso, resultó en un valor de 1.95 (**Figura 11**).

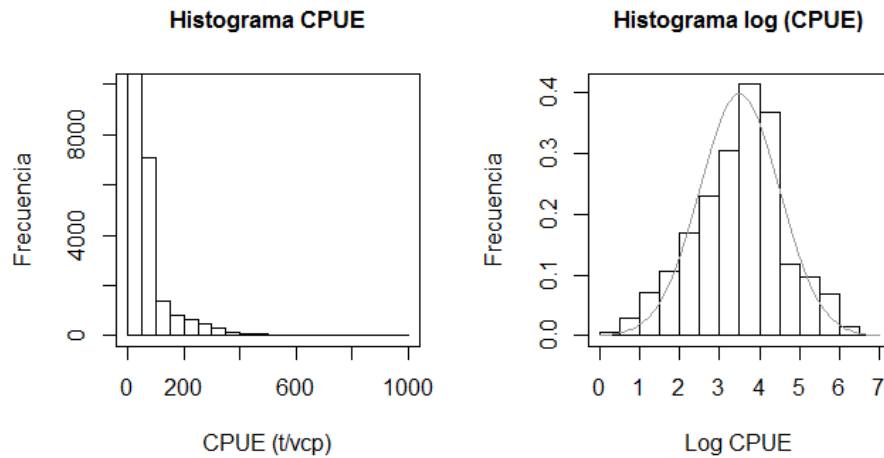


Figura 10. Distribución de frecuencia de la CPUE en escala real y logarítmica.

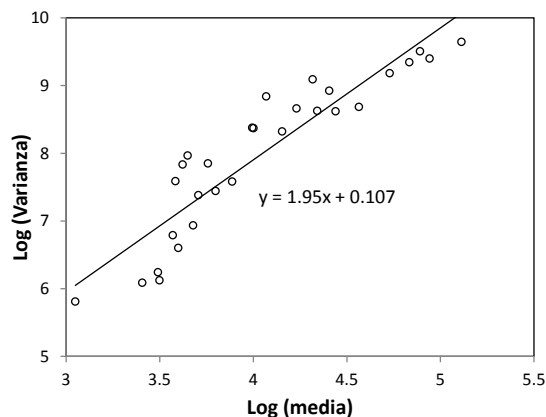


Figura 11. Análisis gráfico para el uso del modelo Gamma en la estandarización de la CPUE.

El análisis de la distribución de los residuos, muestra en ambos modelos (log-Normal y Gamma) un buen nivel de convergencia entre la distribución esperada y la observada (**Figura 12**). De esta manera, el modelo que mejor describe la variabilidad de la CPUE debe ser seleccionado en base al valor de devianza total explicada (**Tabla 3**). En este caso, el modelo Gamma con 35,4%, explica un porcentaje significativamente mayor al modelo Log-normal (26,7%) y por lo tanto debería ser seleccionado.

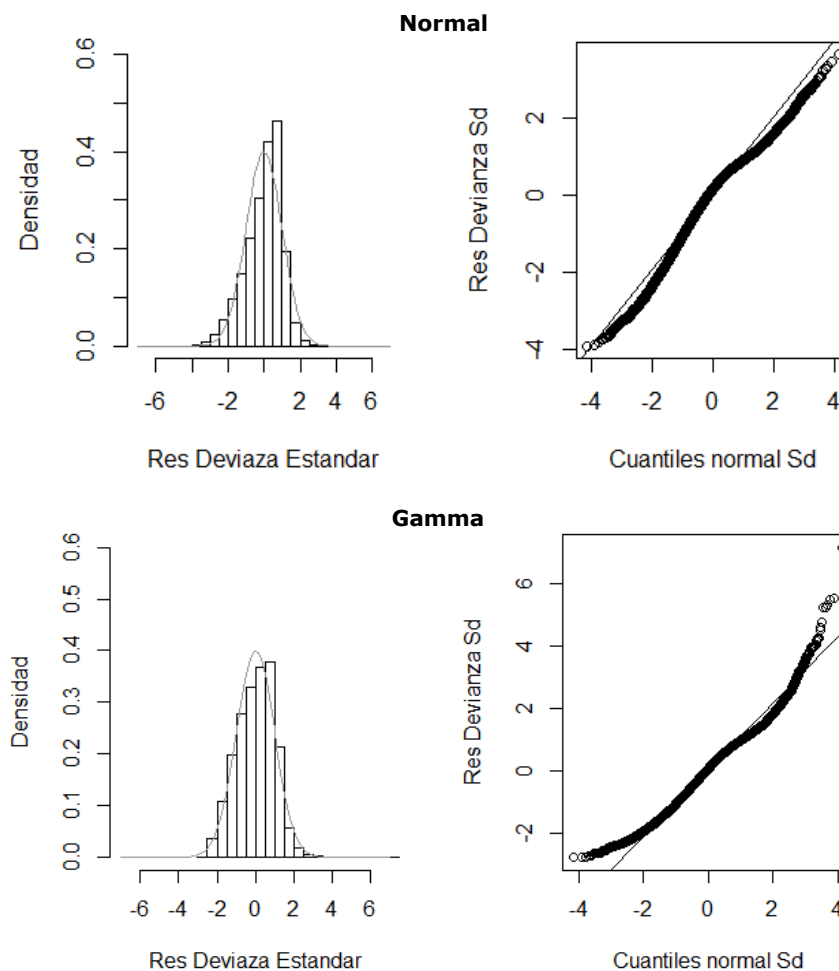


Figura 12. Análisis de bondad del ajuste a través de los residuos en la estandarización de la CPUE para los modelos Log-normal y Gamma.



Tabla 3.
Resumen del porcentaje de desviianza total explicada y de los factores usados en cada modelo de estandarizaci3n.

Factor	Modelo de Distribuci3n	
	Gamma	Log-Normal
Dev.Total	35.4%	26.7%
Año	26.1%	19.6%
Trim	0.8%	1.1%
CatBod	8.0%	5.2%
Regi3n	0.5%	0.8%

El índice estandarizado (**Figura 13**) muestra una alta variabilidad al principio de la serie, con valores oscilaron entre 18 t/vcp (1998) hasta cerca de 50 t/vcp (1995). En este periodo (1986 y 1997), la captura fue realizada íntegramente por naves industriales. A partir del año 2002, cuando la flota artesanal comienza a dominar las capturas, la CPUE incrementa desde 18 t/vcp hasta las 32 t/cvp el año 2007. Entre los años 2009 y 2013, el índice muestra una tendencia a la disminuci3n y un leve incremento el año 2014.

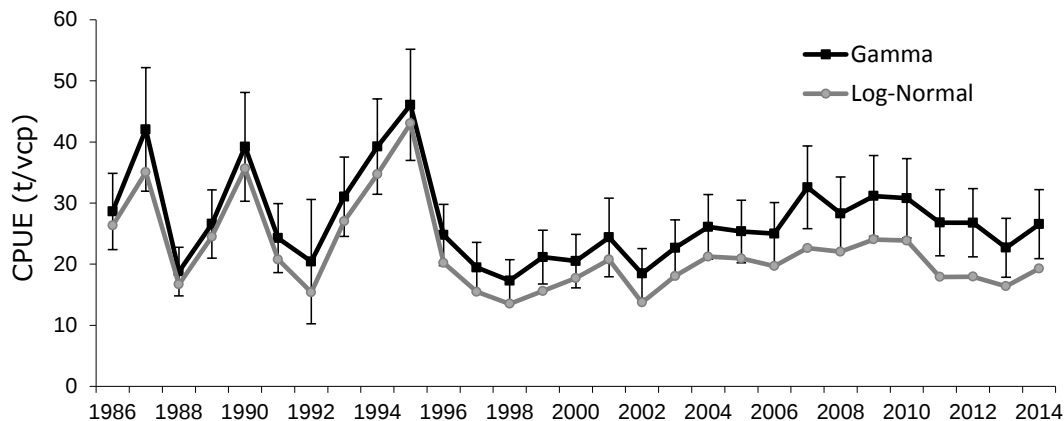


Figura 13. Índice estandarizado de la CPUE de la pesquería de anchoveta III-IV Regiones entre los años 1986 y 2014 usando dos aproximaciones para modelar la variable respuesta. Las líneas verticales corresponden al error estándar del modelo Gamma.



3.5 Crucero de evaluaci3n directa

Desde el a3o 2006 se realiza anualmente la evaluaci3n hidroac3stica de anchoveta en la III y IV regiones. Este estudio tiene como objetivo principal evaluar el reclutamiento de anchoveta en el 3rea comprendida entre Punta Grande (24°55'S) en la II Regi3n y caleta Maitencillo de Coquimbo (31°55'S) en la IV Regi3n, entre la costa y las 20 mn. El estudio se ha llevado a cabo durante el mes de febrero, excepto el 2007 (febrero-marzo), a bordo del Buque de investigaci3n Científica "Abate Molina".

El 3ndice de biomasa ac3stica que es usado para calibrar el modelo de evaluaci3n de stock, ha mostrado importantes fluctuaciones. El a3o 2006 registra el mayor valor con 350 mil t., disminuyendo hasta un m3nimo de 80 mil t. el a3o 2009. Luego incrementa hasta valores promedio de 250 mil t. entre los a3os 2011 y 2013. El a3o 2014, el 3ndice vuelve a disminuir, evidenciando el segundo valor m3s bajo de la serie despu3s del 2009, con 107 mil t. En la 3ltima evaluaci3n en tanto, realizada en febrero de 2015, la biomasa estimada por el crucero alcanz3 el valor m3s bajo registrado desde que comenz3 a ser evaluada, llegando a un valor m3nimo de 75 mil t. (**Figura 14**).

Durante el a3o 2013, las 262 mil t. estimadas por el crucero ac3stico, no difieren significativamente de las 247 t. reportadas en el estudio del a3o previo. Sin embargo se aprecia una diferencia importante en la estructura de longitudes (**Figura 15**). Mientras el 2012, el 43% de los individuos correspondi3 a ejemplares reclutas, el a3o 2013 este indicador correspondi3 al 23%. Durante febrero del a3o 2014, los resultados muestran una proporci3n de reclutas que alcanz3 el 38%. Durante el 3ltimo crucero realizado en febrero de 2015, aunque la biomasa fue la menor registrada, el porcentaje de recluta alcanz3 un 62%.

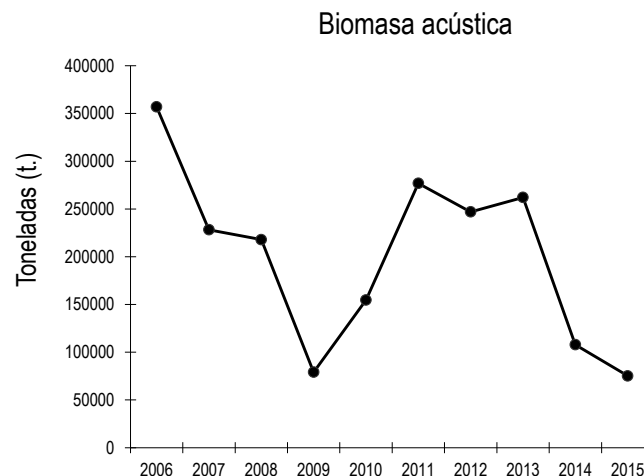


Figura 14. Biomasa total estimada en los cruceros de evaluaci3n directa en la zona costera de la III y IV Regiones.

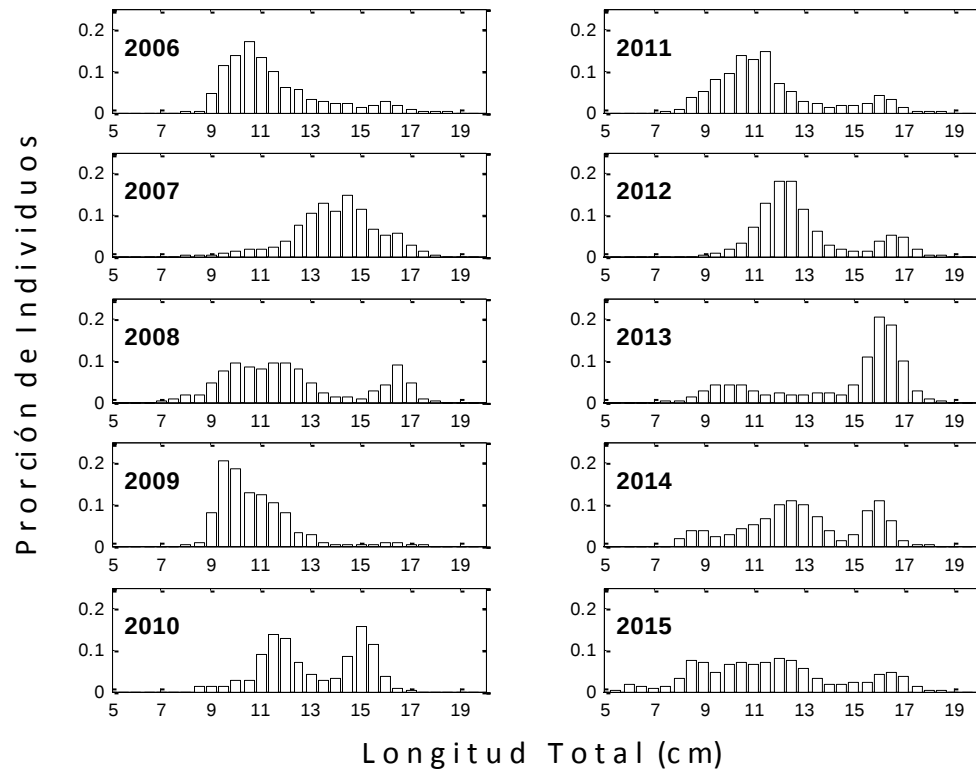


Figura 15. Estructura de longitudes de anchoveta III–IV Regiones obtenidas cada año durante los cruceros de prospección acústica del mes de febrero, entre los años 2006 y 2015.

La no realización del sesgo de orilla sugiere la posibilidad de una subestimación de la señal acústica al no cubrir toda la distribución de un recurso principalmente costero. Sin embargo, la variación de la biomasa estimada en el crucero, muestra, en general, alta consistencia con la tendencia de los desembarques totales anuales (**Figura 16**). El coeficiente de determinación ($R^2 = 0.55$) indica un nivel de correlación significativo entre ambos índices (**Figura 17**).

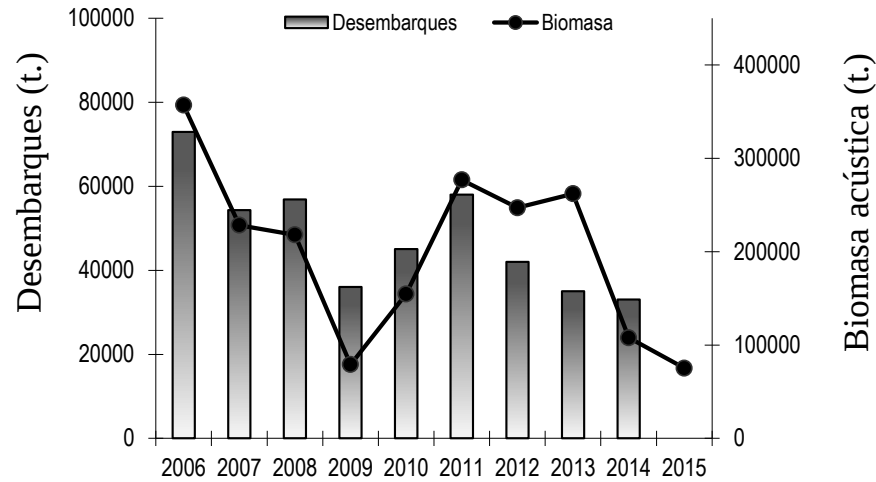


Figura 16. Biomasa total estimada en los cruceros de evaluaci3n directa y desembarques anuales (2006-2015) en la unidad de pesquería de anchoveta III-IV Regiones.

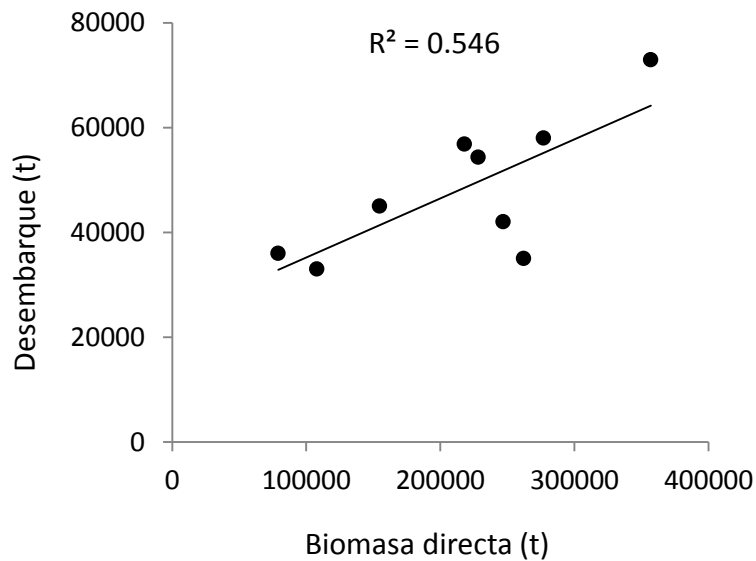


Figura 17. Nivel de correlaci3n entre biomasa total estimada en los cruceros de evaluaci3n directa en el mes de febrero de cada aío y los desembarques totales anuales (2006-2015) en la unidad de pesquería de anchoveta III-IV Regiones.



4. METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1 Modelo de evaluación

Para la evaluación del stock de anchoveta explotada en la III-IV región, se utilizó información biológica-pesquera de la longitud y pesos medios de los individuos actualizada a junio de 2015, la CPUE en el periodo 1986- 2014, el índice biomasa directo (Reclan) en el periodo 2006 -2015 y el desembarque desde 1985 a 2015. Se considera que el desembarque total del año 2015 será igual al promedio de los últimos 2 años, es decir, 34 mil t.

El modelo de evaluación es usado para realizar el diagnóstico del recurso, cálculo de indicadores y Captura Biológicamente Sustentable de la anchoveta en la Unidad de Pesquería centro norte para el año 2015. Se estiman además los Puntos Biológicos de Referencia (PBR) que generan niveles de reducción de la Biomasa desovante virginal de 65, 60 y 55%. Estos PBRs son propuestos como proxy para el manejo de anchoveta por Canales *et al.* (2013).

En este estudio, el enfoque de evaluación corresponde al propuesto por Sullivan *et al.* (1990) quien modela la abundancia anual en función de la probabilidad de crecer de una talla a otra, de la mortalidad por pesca y natural, de la distribución en tallas de los reclutas y la magnitud de los reclutamientos. Se utiliza como plataforma de estimación la herramienta estadística ADMB (Automatic Differentiation Model Builder) (Furnier *et al.* 2012).

La información recogida por los cruceros de evaluación (2006-2014), es incorporada a la evaluación de stock de anchoveta III y IV regiones como otra fuente de información y se utiliza como un índice relativo de la biomasa total de anchoveta al 1 de marzo de cada año.

Se utiliza para describir la dinámica del recurso, un modelo estadístico con un patrón de explotación logístico único para toda la serie. Este enfoque se basa en el supuesto que luego del cambio de la flota que vulnera mayoritariamente el recurso (año 2002) no se produjo una variación significativa en el patrón de explotación.

De la misma forma, para los cruceros acústicos se utiliza un patrón de explotación logístico constante para toda la serie.

Los modelos de los procesos que describen la dinámica de la población de anchoveta en la III y IV Regiones, observaciones y errores, así como su codificación en ADMB, se resumen en el **Anexo 1**, y ellos se sustentan en los siguientes supuestos generales:

- La población de anchoveta entre la III y IV Región constituye una unidad de stock.
- La población es cerrada y por lo tanto las pérdidas se explican por captura y mortalidad natural.



- El crecimiento de los individuos es del tipo von Bertalanffy.
- El crecimiento es estocástico, es decir, basado en la probabilidad de que los individuos crezcan de una longitud a otra.
- La distribución de tallas del reclutamiento es estocástica y constante entre años.
- La mortalidad por pesca es el producto de un coeficiente talla específico y de la mortalidad por pesca anual.
- La mortalidad natural es constante entre años y entre clases de tallas.
- La CPUE corresponde a un índice relativo de la biomasa media vulnerable.
- La biomasa estimada por el crucero Reclan es proporcional a la Biomasa total a inicios de cada año.

La estimación de parámetros se realiza mediante máxima verosimilitud de los datos observados dados los parámetros. La función de minimización corresponde al negativo del logaritmo de la verosimilitud según:

$$-\ln L(\theta / x) = -\sum_i L(i)$$

Donde, θ es el vector de parámetros a estimar dado los datos observados (x), $L(i)$ corresponde a los estimadores máximo verosímiles.



4.2 Definici3n del peso relativo de la informaci3n

4.2.1. Coeficientes de Variaci3n (CV)

Los coeficientes de variaci3n empleados en los distintos 3ndices de abundancia reflejan el nivel de desviaci3n que el investigador supone tienen los datos respecto del valor central observado como parte del error de observaci3n. Com3nmente se asignan menores niveles de incertidumbre a la informaci3n de los desembarques y mayores a la CPUE y cruceros, esto por el hecho que los desembarques son mediciones “observables” directas y no as3 la CPUE y biomasa del crucero, debido a que los 3ltimos 3ndices est3n sujetos a variados criterios y consideraciones en sus estimaciones, llevando a suponer entonces que ellos tienen mayor incertidumbre. En las evaluaciones previas se usaron valores de 10%, 20% y 20% para los desembarques, CPUE e 3ndice ac3stico respectivamente.

Francis (2011) propone la idea de aproximarse de manera gradual a una medida del error, comenzando con un suavizador de los datos, que considere un coeficiente de variaci3n te3rico en torno a la tendencia central a las observaciones. Este primer procedimiento no depende del modelo de evaluaci3n de stock sino de la variabilidad de los datos.

En el caso de la anchoveta III-IV Regiones, se contin3a utilizando un cv de 10% para la informaci3n de los desembarques y se realizaron an3lisis para estimar el valor te3rico de los cv de la CPUE e 3ndice ac3stico ajustando un polinomio de orden 3 en cada caso. Los resultados arrojaron valores te3ricos de 22% como cv para la CPUE y de 29% para el 3ndice ac3stico (**Figura 18**). Esto sugiere que ambos 3ndices poseen un cv similar y por lo tanto deber3an ser usados con igual ponderaci3n dentro del modelo. Estos resultados corresponden a valores referenciales y no necesariamente son utilizados para calibrar el modelo. En este caso, considerando el alto nivel de proporcionalidad entre el 3ndice de biomasa ac3stico y el desembarque total observado a fin de cada a3o, en el presente enfoque de modelaci3n se asign3 una mayor ponderaci3n al 3ndice ac3stico (cv=15%) por sobre la CPUE (cv=20%).

Con los coeficientes de variaci3n se3alados previamente para cada 3ndice, se obtuvieron los mejores resultados en t3rminos de ajuste del modelo y son utilizados para la evaluaci3n del stock de anchoveta en la Unidad de Pesquer3a centro-norte.

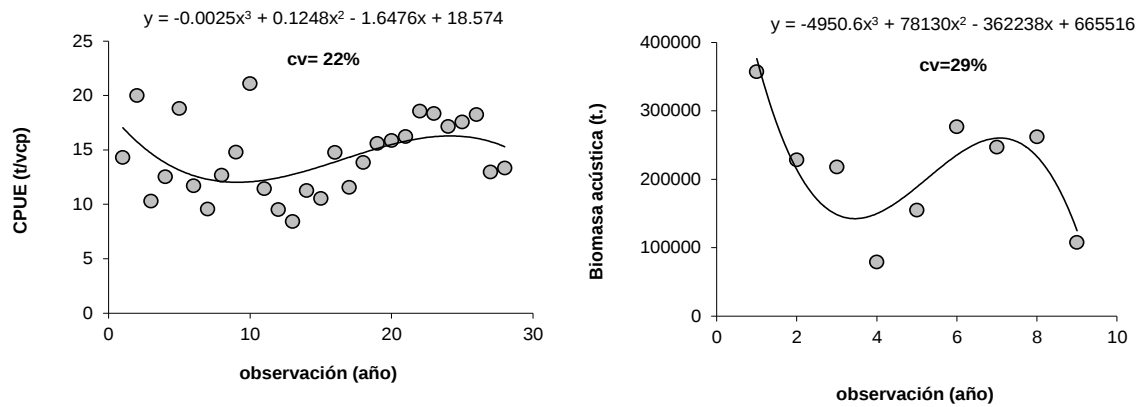


Figura 18. Polinomio de orden 3 y 2 ajustado a los datos de CPUE y cruceros acústicos respectivamente para la estimación del coeficiente de variación teórico inicial de ambos índices.

4.2.2 Tamaños de muestra efectivo

Otro factor relevante a emplear en la evaluación de stock es el ponderador asociado con las composiciones de tallas de las capturas y los cruceros. Estos ponderadores son asociados con el tamaño de muestra efectivo dado que la función de probabilidad empleada es multinomial. El procedimiento empleado para estimar un tamaño de muestra corresponde a un cómputo iterativo según lo señala Francis (2009) y Maunder (2011) y el cual comenzó con los valores empleados por defecto en el estudio del año 2012, $n=60$ para la composición de flota y $n=30$ para crucero (**Tabla 4**). Como estimador se empleó el propuesto por Gavaris y Ianelli (2002):

$$nm^* = \frac{\sum_l \hat{p}_l (1 - \hat{p}_l)}{\sum_l (p_l - \hat{p}_l)^2}$$

Tabla 4.

Coefficientes de variación ajustados (inicial), supuestos (prior) y estimados (posterior) para cada índice de abundancia relativa.

Composición	Inicial	Final
nm Cruceros	25	44
nm Flota	40	69



Los valores anteriores corresponden al promedio geométrico de los tamaños de muestra estimados para un número significativo de años. Un mayor tamaño de muestra teórico, indica mayor peso estadístico de la información dentro del modelo. Debido al número de años en cada fuente de información, la composición de tallas proveniente de la flota, es considerada más informativa que la composición de tallas de los cruceros. Es importante señalar, que en ningún caso, este análisis obliga a usar los valores exactos de los tamaños de muestra obtenidos. Los resultados deben ser considerados como una aproximación, usando finalmente los valores que después de sucesivos ensayos, converjan en los mejores resultados en términos de ajuste. Se debe buscar un apropiado balance entre todas las piezas de información. En este caso, para el escenario base del presente estudio, se utilizó un tamaño de muestras de $n=60$ para la información de la flota y de $n=30$ para los cruceros.



5. RESULTADOS

5.1 Escenario de Modelación

Los análisis de sensibilidad del modelo a diferentes hipótesis para los tamaños de muestras (flota, crucero), patrones de selectividad, q del crucero y coeficientes de variación de los índices, indicaron que los mejores resultados se logran con el escenario presentado en la **Tabla 5**. Este escenario es utilizado para establecer el estatus, cálculos de indicadores, proyecciones y estimaciones de capturas sustentables del stock de anchoveta en la Unidad de Pesquería III-IV Regiones.

Tabla 5.
Coeficientes de variación e hipótesis para la evaluación del stock de anchoveta en la Unidad de Pesquería III-IV Regiones.

	Variable	Base 2015
Número muestral	nm_f	60
	nm_c	30
cv	cv_desemb	0,1
	cv_cpue	0,2
	cv_acus	0,15
Selectividad	Flota	logist
	crucero	logist
Capturabilidad (q)	priori crucero	0,65

Se utilizó un valor de entrada (priori) para el coeficiente de capturabilidad (q) del crucero acústico de 0,65. Es decir, se asumió como hipótesis, que el crucero de evaluación directa de anchoveta en la III y IV regiones, observa un 65% del stock en la zona evaluada. Luego del ajuste, el modelo estadístico resuelve como valor más probable (máxima verosimilitud) un valor de 0,90 para este parámetro. Los parámetros estimados en el proceso de optimización del modelo de evaluación de stock se presentan en la **Tabla 6**.



Tabla 6.
Principales parámetros estimados en el modelo de evaluación de stock de anchoveta III-IV Regiones.

Number of parameters = 73 Objective function value = 4068 Maximum gradient															
l50_flota:															
	12.48														
Δ_flota															
	2.33														
l50_crucero															
	9.09														
Δ_crucero															
	1.5														
Rmed:															
	16490														
log_desv_No:															
	-4.3943	-5.6855	0.0803	9.9995											
log_desv_Rt:															
	-0.0007	0.4832	-0.4247	-0.3721	0.5165	0.0025	-0.2597	-0.0631	1.1580	1.0795	-0.4826	0.1945	-1.2486	0.5811	-0.1917
	-0.5569	-0.9782	-0.0986	0.4381	-0.0834	0.1545	0.7577	-0.2558	-0.1760	0.1985	-0.2871	0.6906	-0.0050	-0.1168	-0.6539
log_F:															
	-1.1368	-0.5410	-1.1327	-0.3698	-0.0582	-0.0139	0.0237	-0.6056	-0.2209	-0.7701	0.1695	0.4839	0.7307	1.0649	-0.0944
	0.0550	-0.7628	-1.3408	0.2479	0.2467	0.4411	-0.1035	-0.6876	-0.0626	-0.6370	-0.5682	-0.5162	-1.1315	-1.0382	-0.5193
M															
	1.3														
qCrucero:															
	0.90														
qCPUE:															
	0.0001														
Lr															
	10.4														
sr															
	0.8														
k															
	0.5														
bp															
	0.1														



5.2 Desempeño del modelo

Los resultados indican que en términos generales el enfoque de modelación muestra un ajuste satisfactorio a las señales poblacionales sugeridas por la información empleada. Debido al peso relativo asignado a cada fuente de información el modelo reproduce de mejor manera la serie de desembarques por sobre la CPUE e índice de biomasa acústico (**Figura 19**).

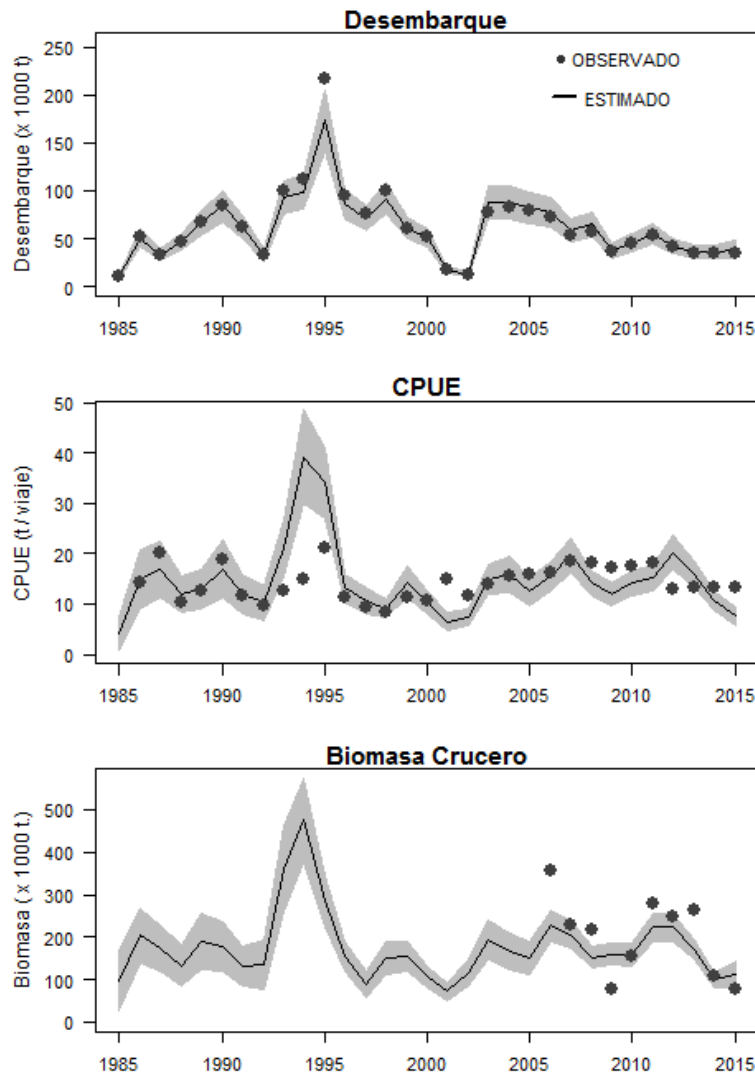


Figura 19. Ajuste de los desembarques, Biomasa acústica y CPUE de anchoveta III y IV Regiones. Los círculos representan los datos observados y las líneas las predicciones del modelo estadístico. La zona sombreada es el intervalo de confianza de los ajustes.

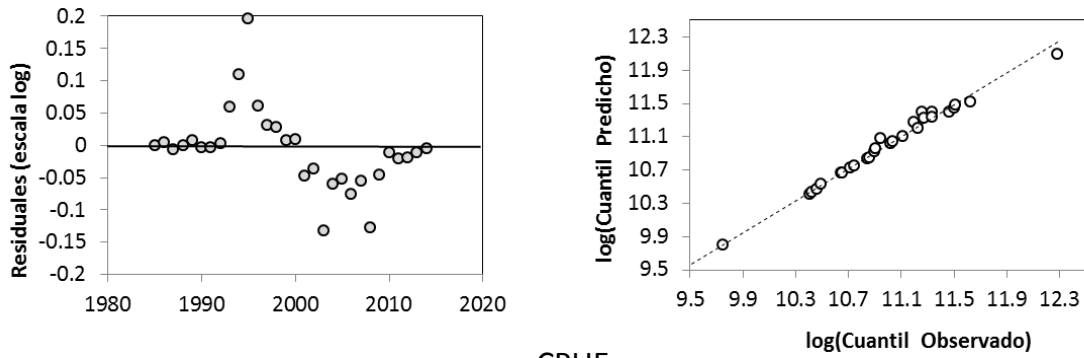


Una forma gráfica de evaluar la bondad/calidad del ajuste del modelo es a través de los gráficos quantil-quantil (qqplot). Estas figuras permiten evaluar dos distribuciones de probabilidades, que en este caso corresponden a la teórica (modelo) versus la empírica (los datos). Si el set de datos proviene de la distribución teórica, entonces los puntos debieran ubicarse en las proximidades de una línea recta. Esto significa, que el supuesto de normalidad y varianza es adecuado para los datos analizados. En la **Figura 20**, se entrega junto a los residuales del modelo, el diagrama QQ de los valores observados y predichos.

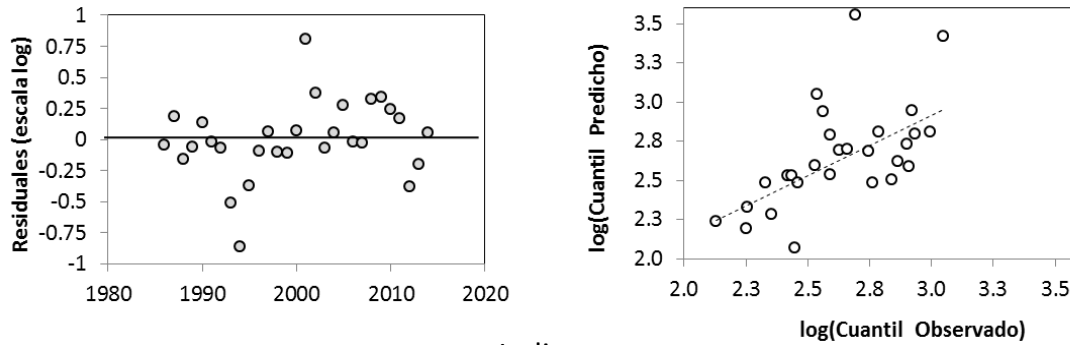
El análisis de los residuales del modelo no sugiere tendencias en su distribución. En las tres fuentes de información, los residuos se encuentran distribuidos en torno al valor cero. El diagrama QQ en tanto, indica una linealidad general en escala log de los tres índices. Sin embargo, se aprecia en las series de CPUE e índice acústico una mayor variabilidad y lejanía relativa respecto del valor teórico, dejando de manifiesto el menor nivel de ajuste en comparación con el desembarque. Esto se relaciona directamente con valor del coeficiente de variación (cv) asignado a cada índice.



Desembarques



CPUE



Índice acústico

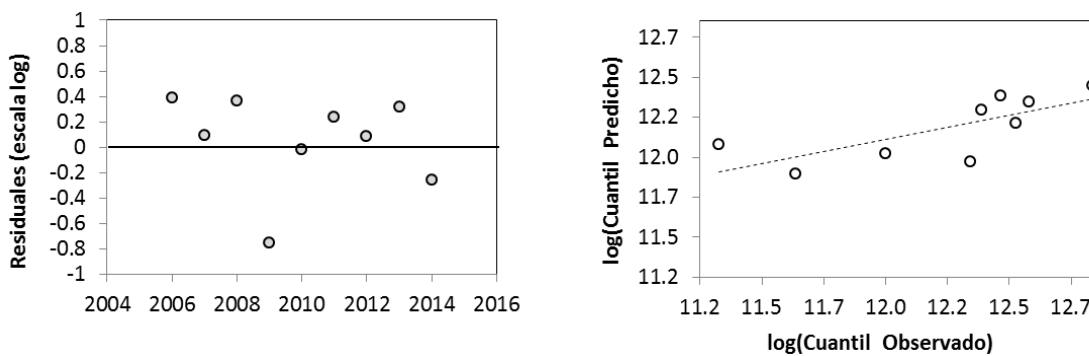


Figura 20. Análisis de residuales y diagramas qq-plot de los índices de desembarques, biomasa directa y CPUE ajustados por el modelo de evaluación de stock de anchoveta III-IV Regiones.



El desempeño del modelo, también resultó satisfactorio a la información de estructura de longitudes de la pesquería (**Figura 21**), reproduciendo favorablemente su variabilidad general, excepto algunos años, donde se aprecian desviaciones importantes entre los datos observados y las estimaciones del modelo. Por ejemplo, los años 2002 y 2003, las observaciones, muestran una estructura de longitudes truncada en los 15 cm., en cambio el modelo predice que los individuos sobre esta longitud deberían estar presentes para explicar los cambios en los estimados poblacionales de biomasa y reclutamientos.

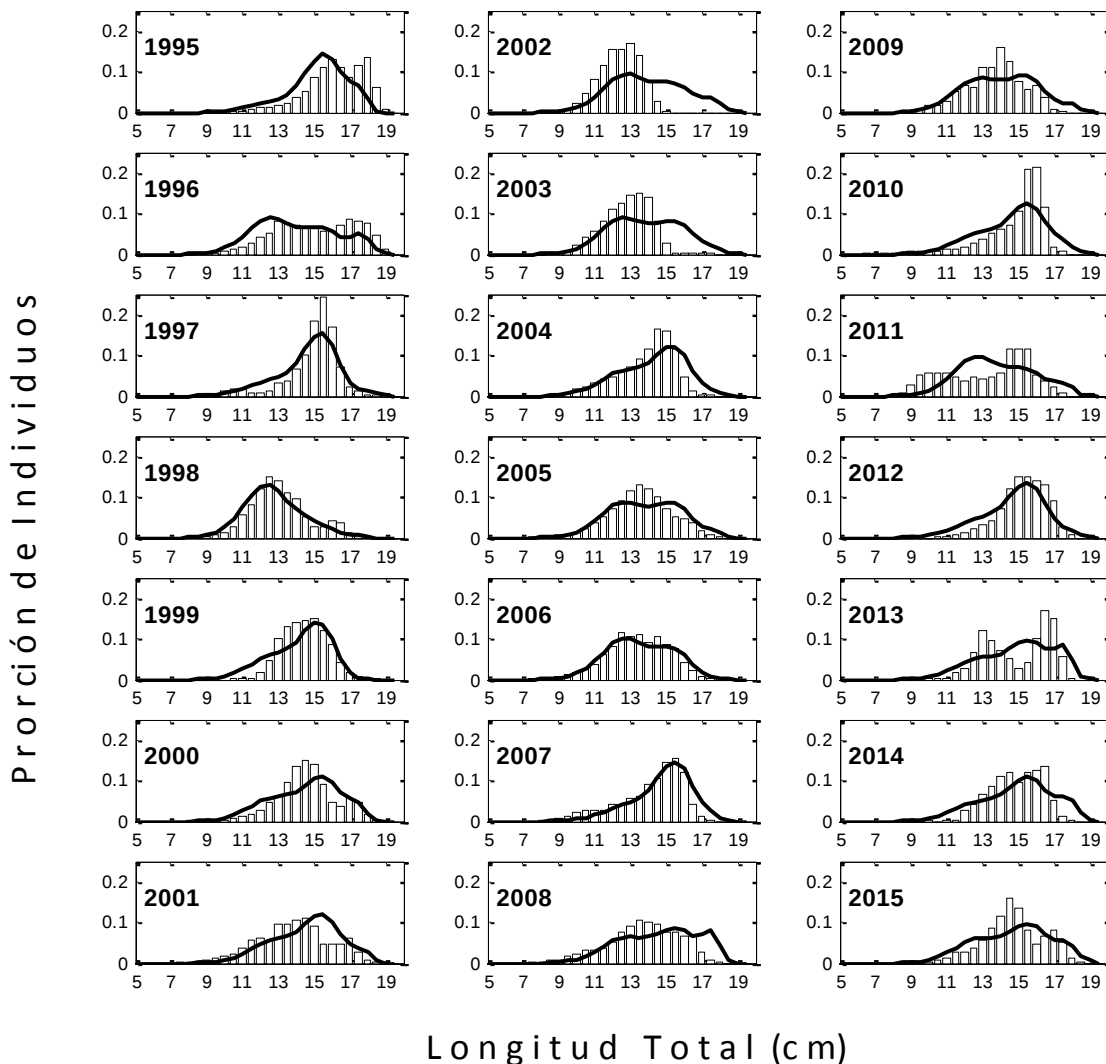


Figura 21. Estructura de tallas de las capturas de anchoveta III y IV Regiones (1995 – 2015). Barras (datos observados) y líneas (ajustes del modelo).



En términos de la bondad de ajuste (**Figura 22**), el diagrama qq-plot muestra una evidente linealidad. Sin embargo, el comportamiento de los residuales sugiere, ciertos patrones que reflejan una tendencia a la subestimación en el rango de longitudes de 13 y 14 cm. También refleja los menores niveles de ajustes observados los años 2002-2003, 2010-2011 y 2013. La posibilidad de una correlación que indicaría el gráfico de residuales, podría ser revisada en los próximos reportes. Una posibilidad que ha sido sugerida en algunos informes técnicos, es asumir patrones de explotación variables, aunque esta opción resta valor relativo a las otras piezas de información.

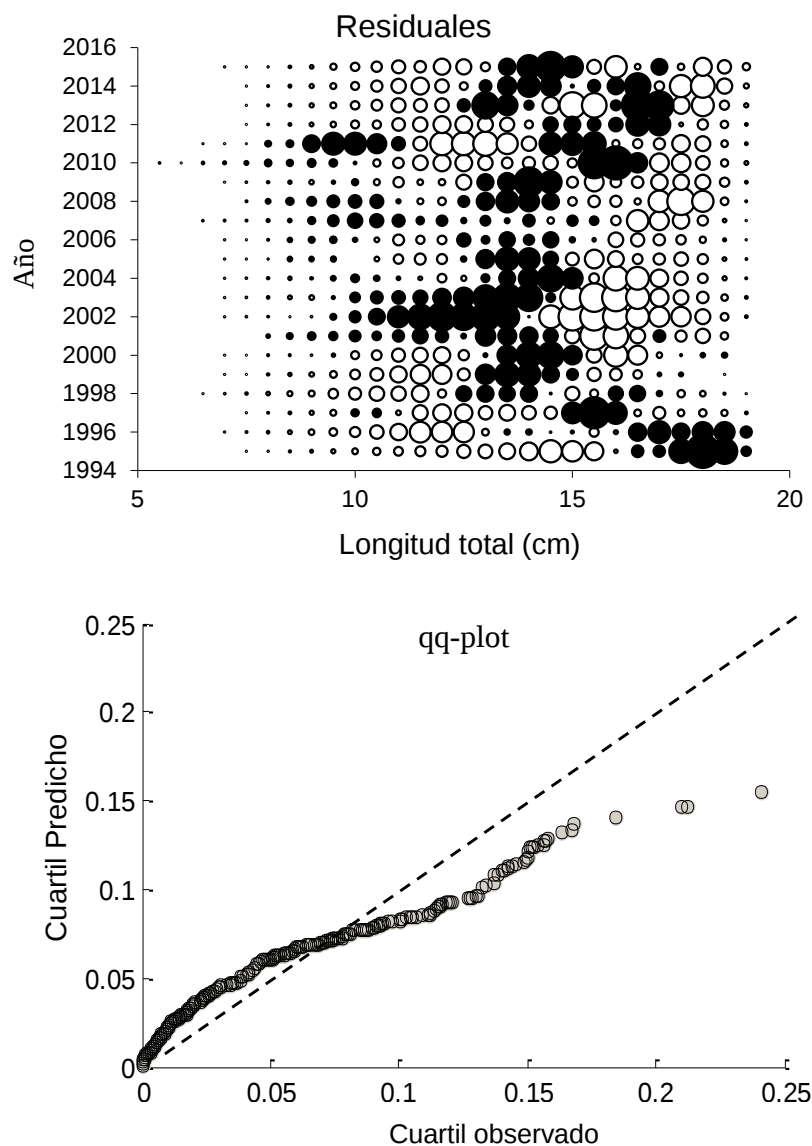


Figura 22. Residuales y diagrama Q-Q del modelo a las composiciones de longitudes de la flota.



La estructura de longitudes de los cruceros, también es reproducida de manera general, mostrando un mayor nivel de ajuste los años 2006, 2008 y 2011 (**Figura 23**). La **Figura 24**, representa el análisis de residuales y qq-plot para esta fuente de información.

A pesar de no lograr aún ajustes totalmente satisfactorios en las composiciones de longitudes, el nivel de convergencia del modelo a todas las piezas de información empleadas, sugiere que los indicadores poblacionales de biomasa, abundancia y reclutamientos, así como la mortalidad por pesca del stock estarían siendo estimados adecuadamente.

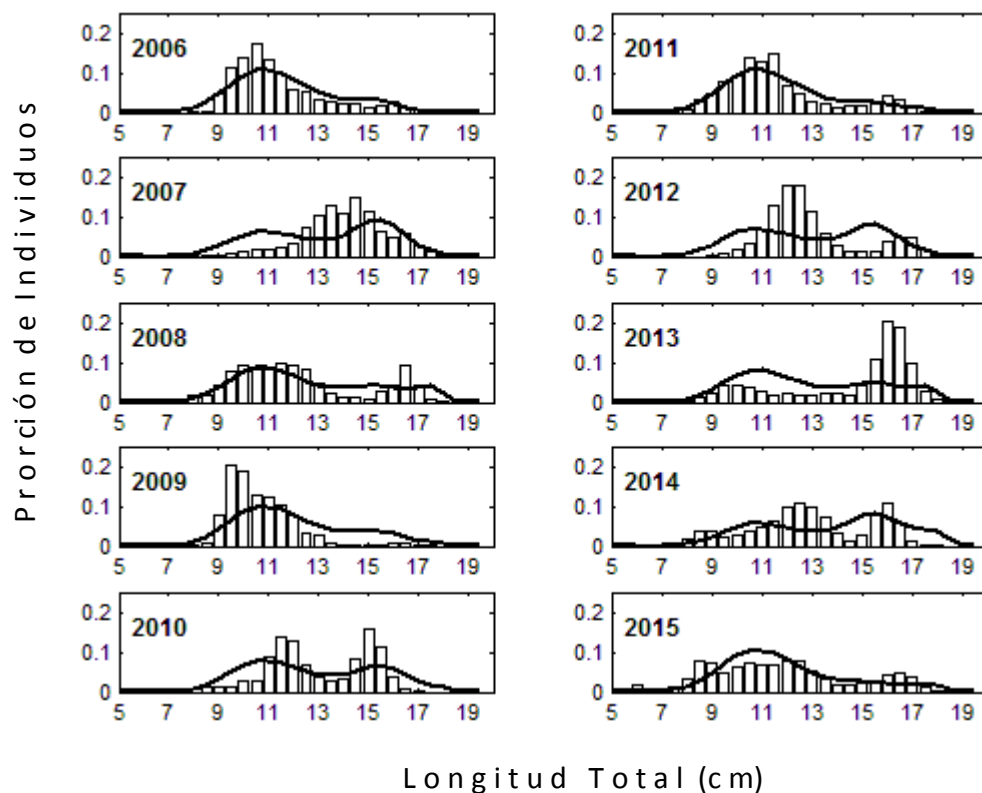


Figura 23. Estructura de tallas de los cruceros de evaluación directa de anchoveta en III y IV regiones (2006 – 2015). Barras (datos observados), líneas (ajustes del modelo).

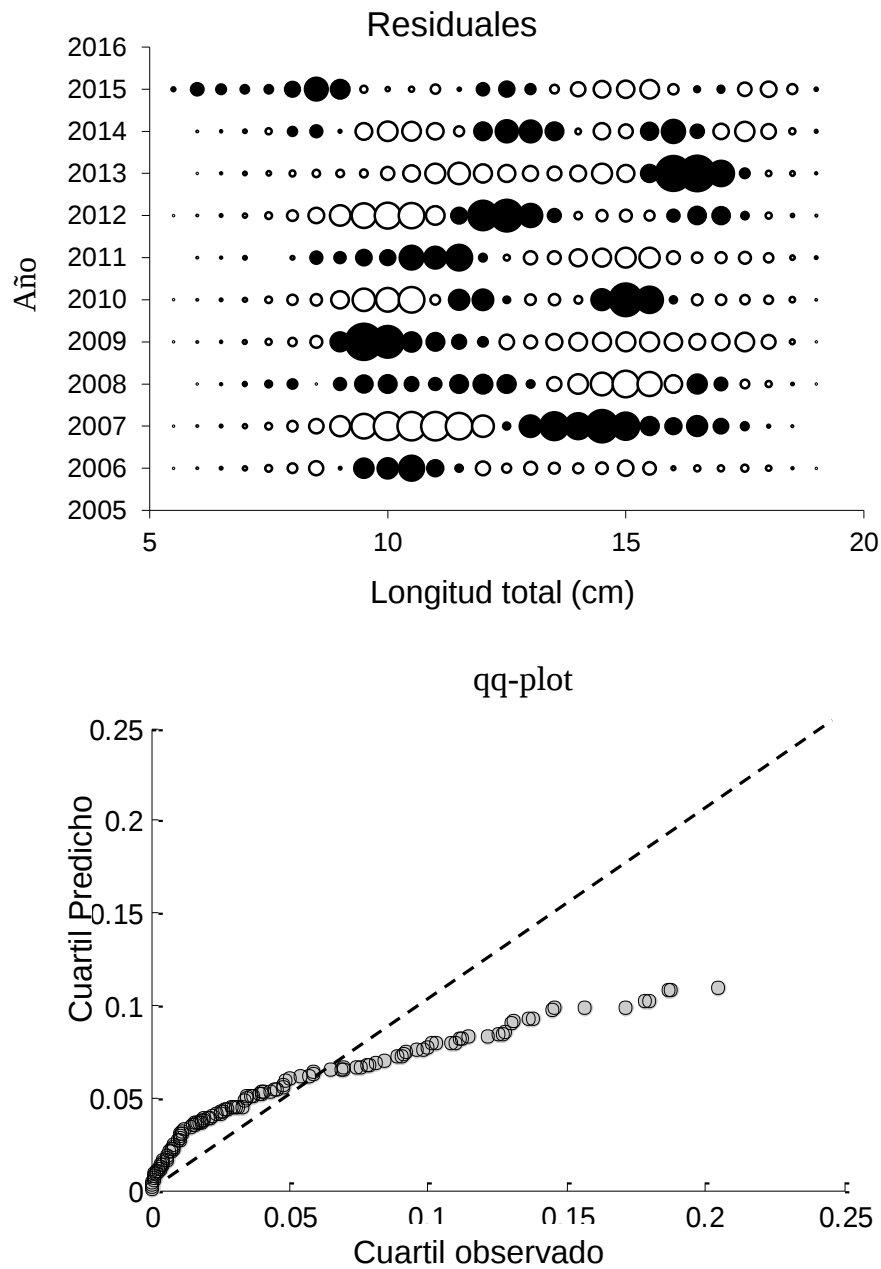


Figura 24. Residuales y diagrama Q-Q del modelo a las composiciones de longitudes del crucero de evaluación directa.



La **Figura 25**, muestra el patr3n de explotaci3n estimados en el modelo de evaluaci3n, para la flota y crucero respectivamente, los que se asumen constantes para todo el periodo analizado. Se muestra adem3s la distribuci3n de tallas de los reclutas. Se aprecia como es habitual un patr3n de explotaci3n de la flota desplazado a los individuos de mayor tama1o en comparaci3n al patr3n del crucero. La flota vulnera el 50% de los ejemplares en torno a los 13 cm LT, cambio en crucero alrededor de los 9 cm LT.

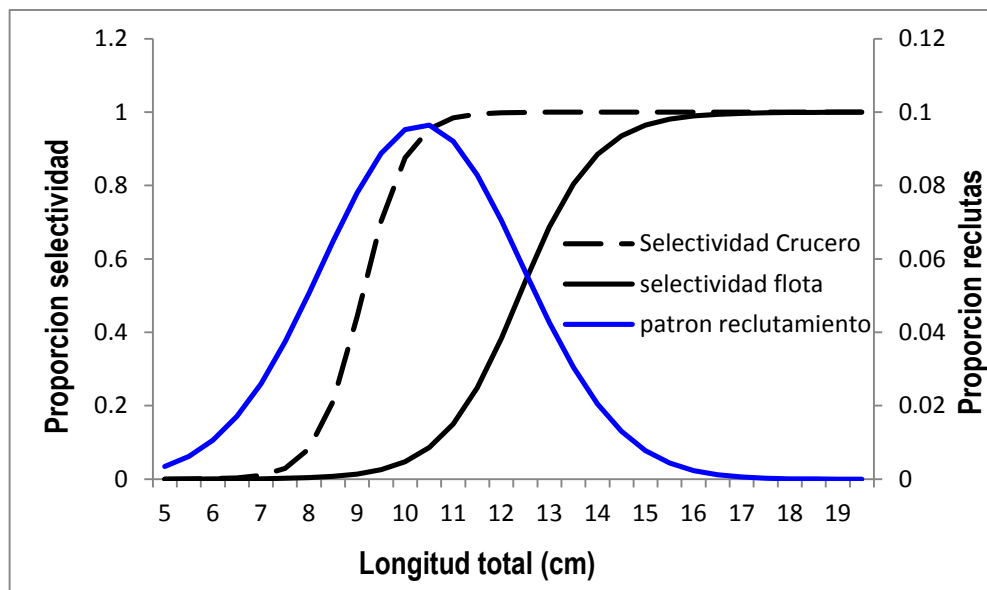


Figura 25. Patrones del reclutamiento y selectividad de la flota y cruceros de evaluaci3n directa.

An3lisis Retrospectivo

El an3lisis retrospectivo permite evaluar la consistencia del modelo y el nivel de sobre o sub estimaci3n de las variables poblacionales, conforme se incorpora nueva informaci3n al modelo de evaluaci3n. En este an3lisis, se fue excluyendo sistem3ticamente el 3ltimo a1o de la evaluaci3n hasta llegar al a1o 2011. El resultado gr3fico se muestra en la **Figura 26**. Se advierte que el modelo muestra alta consistencia. Los niveles de sobre y sub-estimaciones son bajos y se encuentran contenidos dentro del error de estimaci3n. As3, las diferencias observadas no son significativas y se sit3an dentro del intervalo de confianza del 3ndice.

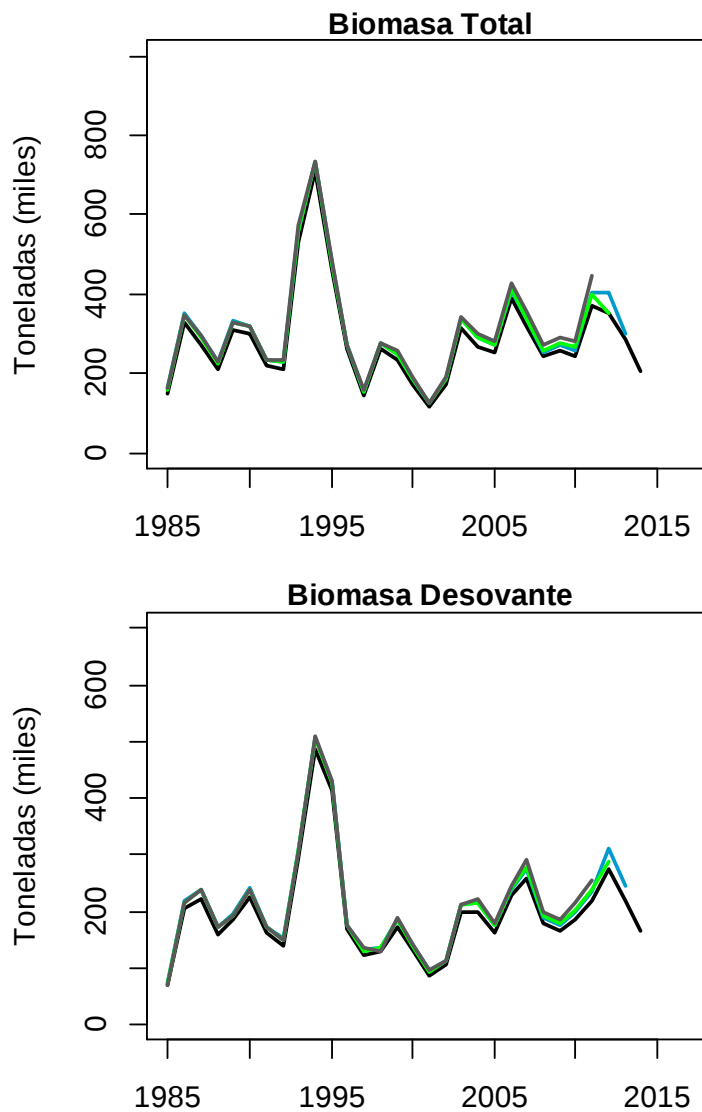


Figura 26. Análisis retrospectivo de la biomasa total y desovante de anchoveta en la Unidad de Pesquería centro-norte.



5.3 Evaluación de stock

En la **Figura 27** se muestran los indicadores poblacionales junto a su incertidumbre, obtenidos con el actual escenario de modelación. Los resultados más relevantes están relacionados a la disminución en los reclutamientos a partir del año 2011. Durante el año 2015, la estructura de longitudes de la flota (enero-junio), muestran un descenso en la proporción de reclutas respecto del año 2014. Dicho valor, se encuentra por debajo del promedio de los últimos diez años. Los valores de biomasa de los años 2014 y 2015, se encuentran por debajo de los niveles medios observados entre los años 2003 y 2013. A partir del año 2006 la variación de la biomasa es consistente con el desembarque y el crucero de evaluación directa.

De acuerdo a los resultados del presente estudio, la anchoveta III y IV Región presentaría durante el año 2015 un valor central de biomasa total y desovante de 152 mil y 36,5 mil toneladas, respectivamente. Tales valores son los más bajos de la serie analizada, después del año 2002. La mortalidad por pesca, permaneció dentro de sus niveles más bajos los años 2012 y 2013. Sin embargo, los años 2014 y 2015 muestran un incremento importante en relación a los años previos.

Considerando la actual configuración del modelo y la base de datos hasta el presente informe, la biomasa desovante virginal (BDo) es estimada en un valor de 102,3 mil t. Así, la biomasa desovante objetivo (Bmrs), se estima en 56,3 mil t. Esto, considerando como objetivo de manejo el 55%BDo, presentado en la sección 5.4 sobre los Puntos biológicos de referencia.

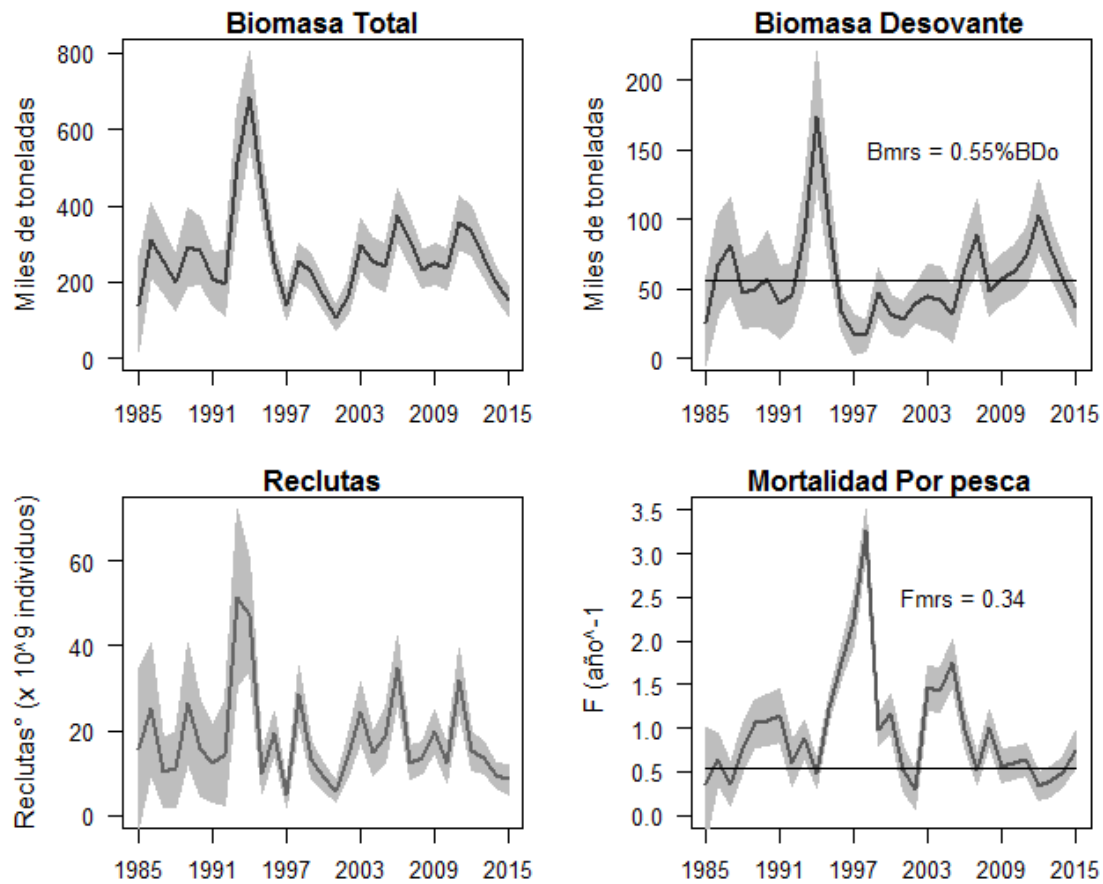


Figura 27. Variación histórica de las Biomاسas, mortalidad por pesca y reclutamientos estimados en el modelo de evaluación y su incertidumbre, entre los años 1985 y 2015. Para el caso de la BD y F, se presentan en línea horizontal los referentes B_{Drms} y F_{rms} .



5.4 Estatus del recurso

Puntos Biológicos de Referencia (PBR)

Es importante señalar en relación a los PBRs, en el marco de la nueva Ley de Pesca que se han realizado esfuerzos paralelos a nivel del Departamento de Evaluación de Recursos (DER) para estimar los niveles de referencia para el manejo de los recursos pesqueros en Chile.

La Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA) establece que las pesquerías deberán alcanzar o mantenerse en torno del rendimiento máximo sostenido RMS considerando las características biológicas de los recursos explotados, para lo cual exige, se estimen los niveles de biomasa y mortalidad por pesca (o tasa de explotación) en el RMS, así como también, los niveles límite que definen el agotamiento o colapso. Por lo tanto, la estimación de puntos biológicos de referencia límite y aquellos basados en el RMS cobran importancia fundamental en la asesoría científica y en el proceso de toma de decisiones para el manejo.

Canales *et al.* (2013), proponen los referentes, límites y objetivos que serán considerados para definir la condición de explotación durante el 2014. Los análisis exploratorios indican como puntos biológicos de referencias en peces pelágicos pequeños, niveles de reducción de la biomasa desovante virginal en torno al 55% como límite y del 60% como objetivo.

Al respecto, en el informe sobre: “Revisión de los puntos biológicos de referencia (Rendimiento Máximo Sostenido) en las pesquerías Nacionales” (**Anexo 2**), se propone usar, como **objetivo**, el nivel de mortalidad por pesca que genera un 55% (F55) de reducción en la biomasa desovante virginal (55%BD₀) de anchoveta en la Unidad de Pesquería centro norte. Tal nivel de Reducción corresponde a un 60% en la Biomasa desovante por recluta (60%BDPR₀).

Respecto de la región o área donde se define la **plena-explotación**, en reuniones de trabajo realizadas en el marco de los comités científicos nacionales (Acta N°5/2014), existió acuerdo que esta debería ser referida considerando los siguientes límites:

- **Límite bajo** el objetivo de manejo = 10% Bajo Brms
Este criterio tiene como objetivo establecer una banda estrecha en torno al MRS de tal manera que este, sea considerado como un punto biológico de referencia límite y no objetivo, conforme a las recomendaciones de manejo señaladas en la literatura.
- **Límite sobre** el objetivo de manejo = 75% B0 (o 35% sobre Brms).

Este criterio rescata el enfoque ecosistémico asociado a especies de forraje planteado recientemente por Pickitch, *et al.* (2012).

El Comité aplicó para la definición de los rangos de CBA año 2015 en las pesquerías de pequeños pelágicos, los PBRs que se presentan en la **Tabla 7**.



Tabla 7
Puntos de Referencia objetivo y límites para recursos pelágicos
que definen su estado y criterio de explotaci3n.

RECURSO	Fmrs proxy	Bmrs proxy	Blim
Anchoveta XV-II Regiones.	F55% BDR	55% BDR (3 50%B0)	25% B0
Anchoveta III y IV Regiones.	F60% BDR	60% BDR (3 55 %B0)	27,5% B0
Anchoveta V a X Regiones.	F60% BDR	60% BDR (3 55 %B0)	27,5% B0
Sardina Común V a X Regiones.	F60% BDR	60% BDR (3 55 %B0)	27,5% B0
Sardina Austral X Regi3n.	F60% BDR	60% BDR (3 55 %B0)	27,5% B0

Considerando los parámetros de crecimiento y mortalidad natural reportados para la especie, los Puntos Biol3gicos de Referencia (PBR) para la pesquería de anchoveta en la Unidad de Pesquería centro norte, fueron estimados a partir de un modelo de Biomasa Desovante Por Recluta (BDR). Se utiliza el vector de pesos promedios hist3ricos y la selectividad estimada en la evaluaci3n de stock. La distribuci3n de tallas del reclutamiento (estimada en el modelo) es proyectada en el tiempo sujeto a valores constantes de mortalidad total y considerando el crecimiento contenido en la matriz de transici3n.

Se estimaron los valores de F que generan niveles de reducci3n de la BPDR del 80, 60 y 50%. Estos niveles de reducci3n definen el PBR objetivo ($60\%BDPR_0 = 55\%BD_0$) y la zona de plena explotaci3n. Tales niveles de F, resultaron en valores de 0.22, 0.54 y 0.77 año-1 respectivamente (**Tabla 8, Figura 28**). Hasta el presente análisis, se utiliza el F60 (0.54) como un proxy del MRS y es utilizado para el análisis de recomendaci3n de la Captura Biol3gicamente Aceptable (CBA) para el año siguiente y las proyecciones del stock de anchoveta en la Unidad de Pesquería centro-norte.



Tabla 8.
Puntos biol3gicos de referencia anchoveta III y IV Regiones.

PBR	F (1/año)
F₂₀₁₅	0.75
F ₇₅	0,22
F ₅₅	0,54
F ₄₅	0,77

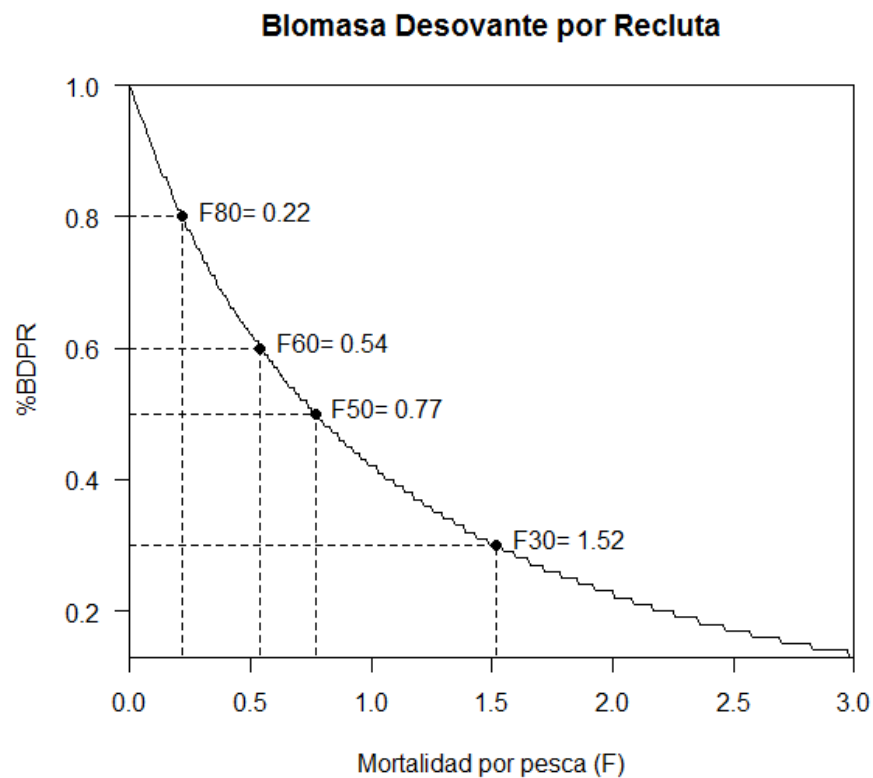


Figura 28. Reducci3n de la Biomasa Desovante Por Recluta (BDPR) de anchoveta III-IV Regiones, para distintos niveles de mortalidad por pesca (F).



Raz3n del Potencial Reproductivo (RPR)

Se analiza la variabilidad de dos indicadores de reducci3n poblacional. El primero, la reducci3n de la biomasa desovante potencial o Reducci3n del Potencial Reproductivo ("RPR dinámico"), que corresponde a la biomasa desovante que se habría observado cada a3o en ausencia de pesca. El segundo indicador, corresponde a la reducci3n en el tiempo de la biomasa desovante virginal ("RPR equilibrio"). La Biomasa desovante virginal (BDo), es estimada dentro del modelo en funci3n de los reclutamientos medios observados en la serie analizada. Las estimaciones de la dinámico DB respecto de BDo, se han utilizado predominantemente para los stocks de anchoveta y sardina para la presentaci3n del estado del stock en diagramas de fase.

Las ecuaciones que describen ambos índices se resumen de la siguiente manera:

$$RPR_{dinámico} = \frac{BD_t}{BD_{t,F=0}}, \quad RPR_{equilibrio} = \frac{BD_t}{BD_0}$$

La variaci3n de cada índice, se muestra en la **Figura 29**. Se observa, que aunque las tendencias y magnitudes son similares, el RPR en equilibrio (RPR eq), muestra mayores fluctuaciones que el RPR dinámico (RPR din). Los valores por sobre 1 que muestra el RPR eq, corresponde a un periodo de expansi3n del stock, en que los valores biomasa excedieron al valor estimado de BDo.

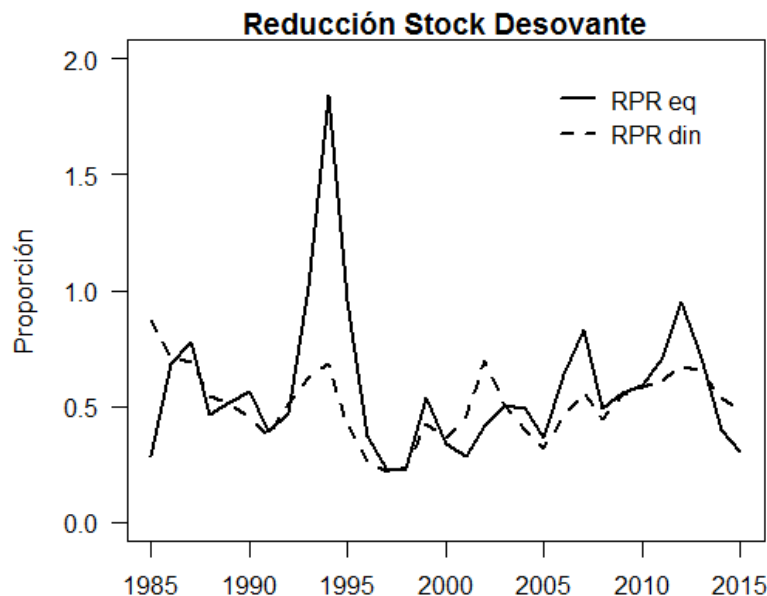


Figura 29. Reducci3n del Potencial Reproductivo en equilibrio (RPR eq) y dinámico (RPR din) en el stock de anchoveta III-IV Regiones.



En los talleres para las estimación de los Puntos Biológicos de Referencia (PBR) en las pesquerías nacionales (**Anexo 2**), se consideró que un punto de referencia de biomasa “estático” (RPR eq) es más apropiado, ya que cualquier medida BD_t/Bob_j , reflejará la dinámica de la BD observada en el stock. Se enfatiza en el hecho que Bob_j es el punto de referencia de biomasa desovante, que en general, será una aproximación más que provenir de un cálculo formal. Las elecciones específicas para los stocks pueden depender del nivel de incertidumbre, del valor asignado en los servicios de los ecosistemas y del nivel de riesgo que los administradores y la sociedad deseen correr (Payá *et al.*, 2014).

La Razón del Potencial Reproductivo (BD/BDo) muestra una variación inversa y consistente con los niveles de mortalidad por pesca aplicados sobre la pesquería (**Figura 30**). La disminución de la mortalidad por pesca, permitió al stock de anchoveta de la III y IV región, incrementar el valor del índice entre los años 2008 y 2012, luego muestra una importante reducción. En la **Tabla 9**, se presentan los indicadores de la condición del stock, biomاسas, reclutamientos y mortalidad. A partir de éstos, se presentan otros índices como la reducción anual de la BD respecto de BDo (BD/BDo) y respecto de la Biomasa del máximo rendimiento sostenible ($BD/Bmrs$). Esto mismo se muestra en términos de la mortalidad por pesca ($F/Fmrs$). Además se indican los niveles de tasa explotación anual referidos a la biomasa (Y/BT) y a la abundancia estimada (C/N).

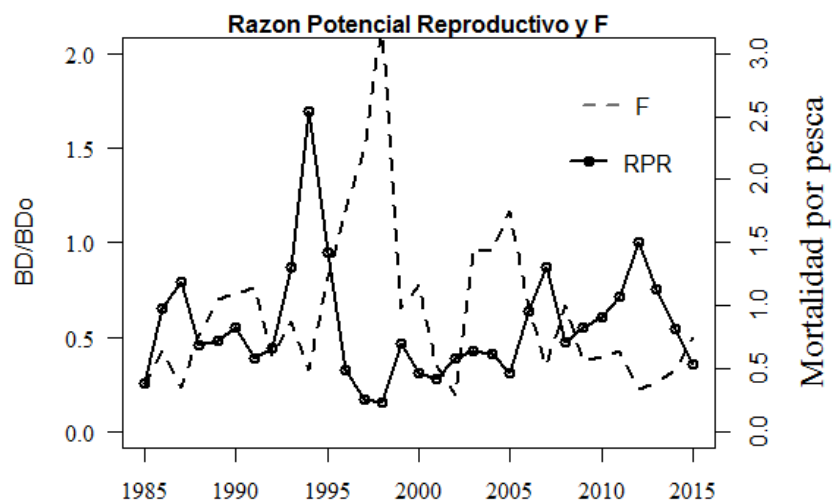


Figura 30. Variación anual de la Mortalidad por pesca F y Reducción del Potencial Reproductivo (RPR) en el stock de anchoveta III-IV Regiones.

En la **Figura 31**, se muestra la variabilidad de la RPR en relación a la zona definida como objetivo de manejo en la pesquería de anchoveta en la UP centro-norte. Entre los años 2006 y 2014 el índice se mantuvo dentro de la plena explotación (75% - 45% BD_0), excepto los años 2007 y 2012, donde se observaron valores por sobre ese rango. El año 2015, el índice muestra un valor por debajo del objetivo de manejo, llegando hasta un nivel de reducción de un 36% de BD_0 .

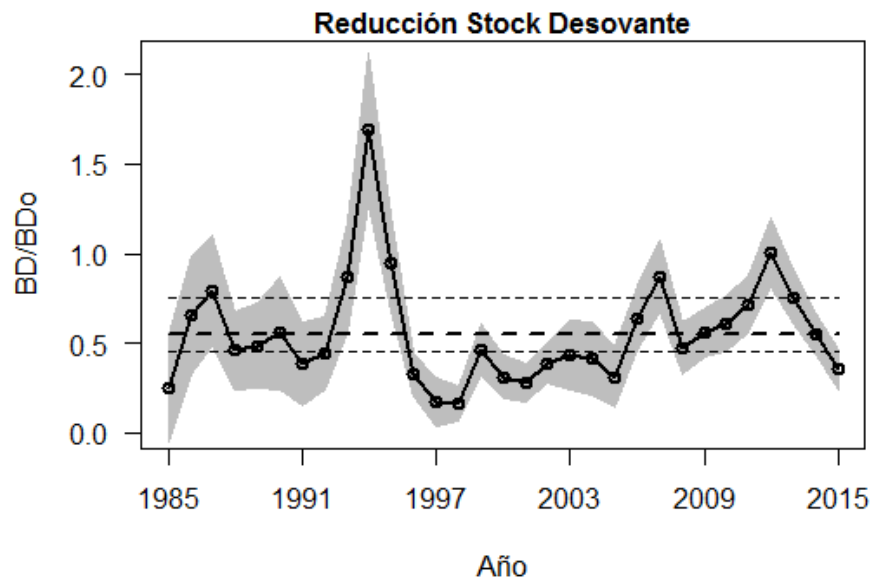


Figura 31. Razón de potencial reproductivo de la anchoveta III-IV región y sus respectivos intervalos de confianza. Las líneas segmentadas horizontales definen la zona de plena explotación. Los límites superior (0.75) e inferior (0.45) son definidos en el documento sobre PBR del comité científico (Acta N°5/2014).



Tabla 9.
Indicadores poblacionales de anchoveta III y IV Regiones 1985 – 2015.

Año	Y (t)	BT (t)	BD (t)	R (x10 ⁴)	F (año ⁻¹)	BD/BDo	F /Fmrs	BD/Bmrs	Y/BT	C/N.
1985	9841	141080	26027	15599	0.36	0.25	0.67	0.46	0.07	
1986	51192	308460	66799	25348	0.64	0.65	1.19	1.19	0.17	
1987	33627	253930	80998	10125	0.35	0.79	0.65	1.44	0.13	
1988	46441	198890	47147	10916	0.77	0.46	1.42	0.84	0.23	
1989	66976	292550	49758	26462	1.06	0.49	1.95	0.88	0.23	
1990	83730	282320	56841	15749	1.09	0.56	2.03	1.01	0.30	
1991	62028	206620	39631	12337	1.15	0.39	2.13	0.70	0.30	
1992	33103	196920	45605	14588	0.60	0.45	1.12	0.81	0.17	
1993	99139	513020	88939	51454	0.87	0.87	1.62	1.58	0.19	
1994	111778	685550	173440	47342	0.49	1.70	0.90	3.08	0.16	
1995	216424	446910	96799	9996	1.23	0.95	2.28	1.72	0.48	0.34
1996	95185	252030	33310	19479	1.75	0.33	3.24	0.59	0.38	0.21
1997	75264	140710	17459	4672	2.24	0.17	4.14	0.31	0.53	0.41
1998	99877	254310	16422	28642	3.27	0.16	6.05	0.29	0.39	0.26
1999	61210	225400	47703	13066	0.98	0.47	1.82	0.85	0.27	0.17
2000	52217	164180	32030	8916	1.17	0.31	2.16	0.57	0.32	0.22
2001	17172	106090	28599	5775	0.53	0.28	0.97	0.51	0.16	0.14
2002	12411	161440	39660	14147	0.29	0.39	0.54	0.70	0.08	0.07
2003	77558	297890	44091	24463	1.46	0.43	2.71	0.78	0.26	0.22
2004	83521	253290	42652	14696	1.44	0.42	2.66	0.76	0.33	0.26
2005	78660	239200	31754	18721	1.75	0.31	3.24	0.56	0.33	0.25
2006	72918	374800	65406	34630	0.98	0.64	1.81	1.16	0.19	0.14
2007	54326	308470	89507	12472	0.53	0.87	0.98	1.59	0.18	0.16
2008	56845	233580	48408	13506	1.00	0.47	1.86	0.86	0.24	0.22
2009	36000	248940	56949	19688	0.57	0.56	1.05	1.01	0.14	0.10
2010	45000	235840	62297	12155	0.60	0.61	1.10	1.11	0.19	0.14
2011	54000	356500	73637	31900	0.64	0.72	1.18	1.31	0.15	0.13
2012	42000	332530	102890	15415	0.34	1.01	0.64	1.83	0.13	0.08
2013	35000	264550	77577	13583	0.39	0.76	0.73	1.38	0.13	0.09
2014	34000	198490	56146	9374	0.50	0.55	0.93	1.00	0.17	0.12
2015	34500	152700	36484	8469	0.75	0.36	1.39	0.65	0.23	0.15



Diagrama de Fases

En este informe se utiliza como marco de referencia biol3gica los PBRs definidos en el marco de los comit3s cient3ficos, es decir, 55%BD_o como proxy de B_{RMS}, F_{55%BD_o} como proxy de F_{RMS} y B_{l3mite} = 27.5%BD_o (Tabla 10).

Tabla 10.

Marco de referencia para el establecimiento de las fases en el diagrama que define el estado de la pesquer3a.

PBR	valor	Definici3n
BD obj superior	75% BD _o	
BD objetivo	55% BD_o	Plena explotaci3n
BD obj inferior	45% BD _o	
BD Limite	27.5% BD_o	Agotamiento

El diagrama de fases (**Figura 32**), muestra una alta variabilidad interanual, t3pica de los cambios que se observan en los peces pel3gicos peque1os. El a1o 2014, el stock habr3a encontrado en el objetivo de manejo, con una reducci3n hasta el 55% de BD_o. Por el contrario, el a1o 2015, muestra reducci3n hasta un 36%. Considerando la incertidumbre de la evaluaci3n de stock, durante el a1o 2015, existe una probabilidad de un 99% que el recurso se encuentre dentro del 3rea definida como de Sobre-explotaci3n ($p(BD < BD_{obj})$). En t3rminos de mortalidad (F), la probabilidad de situarse en la regi3n de sobrepesca ($p(F > F_{rms})$), llega a un 91%. De esta manera, existe una alta probabilidad que durante el a1o 2015 la pesquer3a de anchoveta de la III-IV regiones, se encuentre en estado de sobre-explotaci3n y sobrepesca. Esto deja de manifiesto los amplios cambios interanuales que pueden experimentar las poblaciones de peces pel3gicos peque1os, dependientes del 3xito en los reclutamientos.

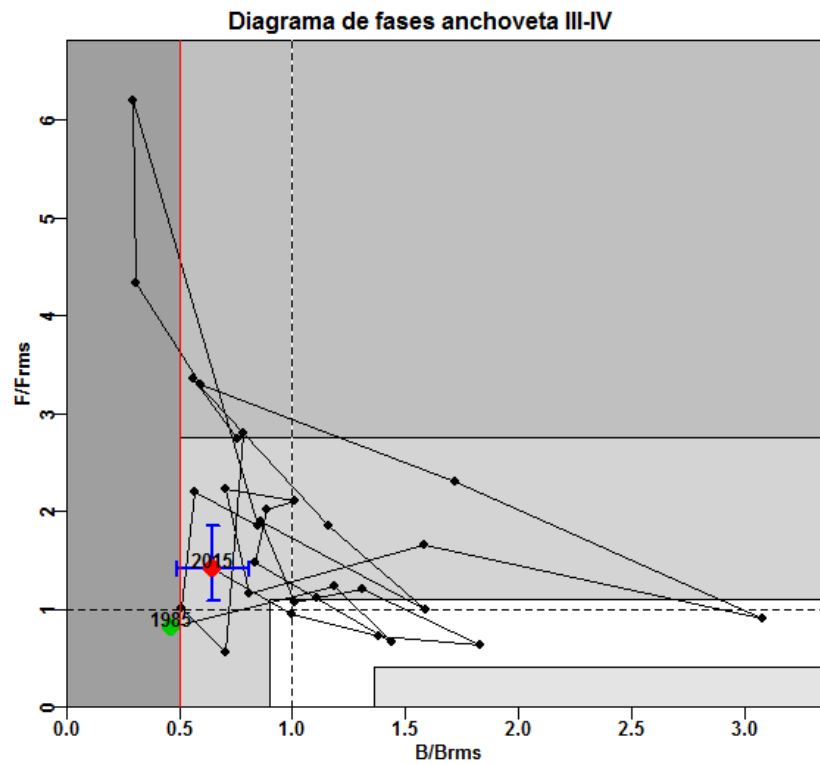


Figura 32. Diagrama de fases de explotación de anchoveta en la Unidad de Pesquería Centro-norte. Basado en la mortalidad por pesca (F) y la reducción de la Biomasa desovante (BD/BDo). La cruz azul con el círculo rojo representa en valor central del último año y su probabilidad de distribución en ambos ejes.



6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

6.1 Resultados de la evaluación

El análisis de residuales, qq-plot y retrospectivos, reflejan un buen desempeño del modelo frente a las fuentes de información. A pesar de no lograr aún ajustes totalmente satisfactorios en las composiciones de longitudes, el nivel de convergencia del modelo a las piezas de información empleadas, sugiere que los indicadores poblacionales de biomasa, abundancia y reclutamientos, así como la mortalidad por pesca del stock estarían siendo estimados adecuadamente.

En relación a los índices usados para calibrar el modelo de evaluación, los desembarques han disminuido desde 54 mil t el año 2011 hasta 35 y 34 mil t los años 2013 y 2014 respectivamente. El valor del último año, es similar a las 36 mil t de desembarque total registradas el año 2009. Este bajo nivel, coincide con el menor valor de biomasa estimado en el crucero de evaluación directa. La biomasa del último crucero (febrero de 2015), corresponde al menor de la serie, estimando un valor de 75 mil t., comparables a las 79 mil t. del año 2009. En tanto que los reclutamientos permanecen en una proporción baja durante los 2 últimos años. Las expectativas del desembarque para el año 2015, considerando los resultados del crucero de evaluación directa, es que estos permanezcan en valores bajos, cercanos y menores a los niveles observados los años 2013 y 2014.

La captura por unidad de esfuerzo (CPUE), aunque con un retardo, concuerda medianamente con la tendencia del índice acústico y desembarques. El índice evidenció una tendencia al incremento entre los años 2000 y 2010 y luego una reducción los años siguientes. Se consideró para el modelo de evaluación de stock el índice de CPUE que presentó un mayor valor de desviación explicada junto a un adecuado comportamiento de los residuos en relación a la distribución esperada. En este caso correspondió al modelo tipo *Delta-Gamma*. Este índice será revisado y actualizado en el transcurso del siguiente estudio.

De acuerdo a los resultados del análisis estadístico usado para modelar la dinámica de la anchoveta en la Unidad de Pesquería Centro-norte, a partir del año 2002, la biomasa total y desovante ha fluctuado en torno a valores promedio de 270 mil y 55 mil t, respectivamente. La biomasa desovante presentó una tendencia al incremento entre los años 2009 y 2013, luego, disminuye alcanzando los mínimos valores de la serie los años 2014 y 2015, con registros de 56 y 36 mil t. respectivamente. Tales niveles son similares a los estimados los años 2003 y 2004. La disminución en la biomasa, se explica principalmente por la significativa reducción en el índice acústico y los bajos desembarques de los últimos 2 años.

La mortalidad por pesca se mantuvo en valores cercanos al PBR F60 entre los años 2007 y 2014. Esta situación permitió al stock incrementar la Razón del Potencial Reproductivo (RPR) desde una condición cercana al 40% el 2005, hasta valores por sobre el objetivo los años 2012 y 2013. Durante



el año 2015, el índice muestra un valor por debajo del objetivo de manejo ($60\%BD_o$), alcanzando un nivel de reducción hasta el 36% de BD_o respectivamente.

La RPR presentó una relación inversa y proporcional a los niveles de mortalidad por pesca (F) aplicados sobre la pesquería. Los valores estimados en ambos indicadores durante los últimos dos años, señalan que el stock de anchoveta en la Unidad de Pesquería Centro-norte, se encontraría con una probabilidad de 99% de situarse en la zona de sobre-explotación ($p(BD < BD_{obj})$). En términos de mortalidad (F) la probabilidad de encontrarse en sobrepesca ($p(F_{2015} > F_{obj})$) es un 91%. El estatus recurso debe ser revisado y actualizado considerando los resultados del crucero de evaluación directa del mes de febrero del año 2016.

El F_{60} es propuesto como objetivo de manejo como un proxy del Máximo Rendimiento Sostenible (F_{obj}), considerando las recomendaciones del comité científico y basado en el trabajo sobre PBRs de Paya *et al.* (2014)

6.2 Biología, ecología y estrategias de explotación

Las poblaciones de peces pelágicos que habitan ecosistemas de surgencia se caracterizan por presentar amplias variaciones en sus niveles de abundancia (Bakun & Parrish, 1982; Cushing, 1990; Cubillos, *et al.* 2002). Estas fluctuaciones se asocian fundamentalmente al éxito del reclutamiento, cuyo proceso, aunque depende del stock parental, serían los factores ambientales a través de mecanismos denso-independientes los que determinarían en gran medida la variabilidad en la fuerza de la clase anual reclutada (Cole & MacGlade, 1998; Rothschild, 2000). Es decir, estas poblaciones, poseen una amplia incertidumbre en la relación stock-recluta y por lo tanto en las proyecciones que se realizan a partir del stock desovante. En este tipo de pesquerías, donde existe un alto grado de incertidumbre en algunos procesos biológicos (relación stock-recluta), es recomendable el uso del Enfoque Precautorio para el manejo del recurso, evitando alcanzar los Puntos Biológicos de Referencia Límites (Caddy & Mahon 1995).

Por otro lado, está ampliamente documentado que las especies forrajeras, como sardinas y anchovetas, cumplen un rol clave en el ecosistema marino, transfiriendo la energía desde el plancton hacia predadores mayores, como mamíferos, aves y peces de mayor tamaño (Pikitch *et al.*, 2012).

Los antecedentes asociados a la incertidumbre en los procesos que gobiernan la dinámica las poblaciones de peces pelágicos pequeños, junto a los errores de observación y proceso propios de la evaluación de stock y la importancia ecológica de las especies forrajeras, sugieren que las políticas de manejo deberían apuntar hacia objetivos conservadores, disminuyendo el riesgo de afectar la sustentabilidad del ecosistema.

Los antecedentes sobre las condiciones ambientales en la zona costera comprendida entre los 24° y 32° S, indican bajos niveles de producción primaria y altos niveles de transporte mar afuera en comparación a la zona norte y centro-sur (Yuras *et al.*, 2005, Correa *et al.*, 2007). Dichas



condiciones serían menos favorables para la alimentación y retención de los estadios planctónicos de los peces dentro de áreas apropiadas para su desarrollo. Así, las condiciones oceanográficas dominantes en la unidad de pesquería centro-norte, solo permiten el desarrollo de una pesquería de anchoveta de pequeña escala, en relación a lo observado en la zona norte y centro-sur. Estos antecedentes, refuerzan la idea que la pesquería de anchoveta en la III-IV regiones, debería ser administrada bajo objetivos de manejo conservadores, como el F60 o F65. Para ello, es necesario continuar con una explotación regulada a través de cuotas y mantener los objetivos de manejo dentro de la zona de sustentabilidad, definidos en este reporte como la zona de plena explotación.

Para peces pelágicos de pequeño tamaño, con nivel de conocimiento e información pesquera intermedia, Pikitch *et al.* (2012), sugieren como regla de control, niveles de F menores a la mitad de M ($F_{obj} < 0.5 \cdot M$). Esto concuerda con el objetivo sugerido en el presente estudio ($F_{obj} = 0.54 \text{ año}^{-1}$), ya que M ha sido estimada en 1.3 años^{-1} (Canales & Leal 2009).

6.3 Datos e índices usados en la evaluación

Uno de los supuestos sobre los cuales se sustentan los modelos de evaluación de stock, es que la población es cerrada y por lo tanto las pérdidas se explican por captura y mortalidad natural. Este supuesto, muchas veces es escasamente contrastable. En el caso de la Unidad de pesquería de anchoveta III-IV regiones, Canales & Leal (2009), enumeran algunos antecedentes que sugieren cierto nivel de independencia de la unidad poblacional ubicada al norte de los 25°S . Sin embargo, también se ha sugerido que bajo condiciones ambientales favorables, el stock de anchoveta del norte Chile y Sur del Perú expande su área de desove hasta la zona de Caldera y Coquimbo (III-IV regiones). Estos antecedentes debilitan el supuesto de una población cerrada, incorporando una fuente de incertidumbre en la modelación de los procesos que gobiernan su dinámica.

De los índices que calibran el modelo de evaluación, la CPUE es utilizada con el coeficiente de variación más alto debido a las documentadas complejidades para su uso en pesquerías de pequeños pelágicos. Maunder *et al.* (2006), indica que el índice de abundancia relativo basado en el análisis de la CPUE debe ser usado con cautela, ya que podría no reflejar eficazmente los cambios de abundancia en el tiempo y en un espacio determinado. Por ejemplo, la agregación del stock de peces por distintos factores (preferencia por un determinado hábitat, reproducción) podría incrementar su capturabilidad aun cuando la abundancia total dentro de un área es la misma o incluso menor. De esta manera la CPUE es incorporada con un peso estadístico relativo menor a los desembarques e índice acústico.

En cuanto a los parámetros de historia de vida usados en el modelo de evaluación, recientemente Plaza *et al.* (2012), realizando análisis de microincrementos, sugieren una dinámica mucho más alta, de la reconocida hasta ahora, en las tasas de crecimiento de la anchoveta del norte de Chile. Esto también podría ser válido para la anchoveta en las otras zonas del país, incluida la unidad de pesquería centro-norte. A pesar que esto puede ser relevante en términos de la evaluación de stock,



este aspecto debe ser estudiado y sus implicancias analizadas en el marco de un estudio específico para este fin.

Otra fuente de incertidumbre, tiene que ver con la ojiva de madurez utilizada para separar la fracción madura de la población. Hasta el actual proyecto, al no disponer de una estimación para la anchoveta de la III-IV regiones basada en histología del ovario, se utiliza la ojiva de madurez descrita para la anchoveta del norte de Chile (Martínez *et al.*, 2009). Las estimaciones basadas en estados histológicos de desarrollo, suponen mayor precisión y por lo tanto son seleccionadas por sobre las aproximaciones macroscópicas. El modelo supone entonces que el proceso de madurez gonadal en relación a la longitud de la anchoveta de la III-IV región es idéntica al stock del norte de Chile.

En síntesis, a pesar de contar de un adecuado volumen de datos para ser incorporados en un modelo de evaluación de stock, la falta de mayor conocimiento de algunos procesos dinámicos espacio-temporales, se traduce en datos e indicadores poblacionales sujetos a una considerable incertidumbre. De esta manera, el estándar de la información para establecer el diagnóstico del recurso puede ser considerado como incompleto.

A pesar de la incertidumbre en la evaluación y las continuas mejoras que puedan ser incorporadas cada año al modelo estadístico, los resultados de la evaluación de stock pueden ser utilizados como un proxy para el manejo de la pesquería.



7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alheit J. & M. Ñiquen. 2004. Regime shift in the Humboldt Current ecosystem. Progress in Oceanography 60: 201- 202.
- Bakun, A. & R.H. Parrish. 1982. Turbulence, transport, and pelagic fish in the California and Peru current systems. Rep. Calif. coop. oceanic Fish. Invest. 123: 99-112.
- Caddy J. & R. Mahon. 1995. Reference points for fisheries management. FAO Fish.Tech. Pap., 347, 83 p
- Canales C., I. Payá, R. Tascheri, C. Contreras, M.J. Zúñiga, M. Canales, J.C. Quiroz, E. Leal, F. Espíndola, C. Montenegro & D. Bucarey. 2013. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2014. PBR y Marco Biológico de Referencia 2014. Informe de Avance. Convenio II. pp 17.
- Canales C. 2012. Sobre el uso de modelos operativos para la validación de modelos de evaluación de stock. 24 PP.
- Canales C., A. Sepúlveda, M. Arteaga, C. Gatica, M.J. Zúñiga, R. Serra, R. Cubillos, V. Espejo & A. Órdenes. 2012. Evaluación de Stock y Estrategias de Explotación Recursos Pelágicos. Comité Científico Pequeños Pelágicos. Reporte 1era reunión. 12 pp.
- Canales, T. M. 2007. Investigación Evaluación de stock de anchoveta y sardina española 2007. Informe Final. 33 pp. + Anexos.
- Canales, T. M. & E. Leal. 2009. Parámetros de historia de vida de la anchoveta *Engraulis ringens* Jenyns, 1842, distribuida en la zona centro norte de Chile. Revista de Biología Marina y Oceanografía. 44(1): 173-179.
- Castillo, J. M. San Martin, H. Reyes, F. Leiva y R. Bahamonde. 2010. Evaluación hidroacústica del recurso anchoveta entre la III y IV Regiones. Informe Final Proyecto FIP 2009-03. 75 pp. + Anexos.
- Castillo, J. M. San Martin, H. Reyes, V. Catasti y R. Bahamonde. 2011. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta entre la III y IV Regiones, año 2011. En Informe de Avance Proyecto FIP 2010-03. 58 pp. + Anexos.
- Cole, J. & J. McGlade. 1998. Clupeoid population variability, the environment and satellite imagery in coastal upwelling systems. Rev. Fish Biol. Fish. 8, 445-471.



- Correa, M., S. Hormazabal & G. Yuras. 2005. Mesoscale eddies and high chlorophyll concentrations off central Chile (29°–39°S). *Geophysical research letters*. 34, 1-5.
- Cubillos, L.A., D.F. Arcos, D.A. Bucarey & M.T. Canales. 2002. Seasonal growth of small pelagic fish off Talcahuano, Chile (37°S, 73°W): a consequence of their reproductive strategy to seasonal upwelling?. *Aquat. Living Resour.* 14: 115-124.
- Cushing, D.H. 1990. Plankton production and yearclass strength in fish populations: an update of the match/mismatch hypothesis. *Adv. Mar. Biol.*, 26: 249-293.
- Cushing, D.H. 1990. Plankton production and year class strength in fish populations: an update of the match/mismatch hypothesis. *Adv. Mar. Biol.*, 26: 249-293.
- Dunn, P. K. and G. K. Smyth. 2005. Series evaluation of Tweedie exponential dispersion model densities. *Statistics and Computing*. 15: 267-280.
- Francis R.I.C.C. 2011. Data weighting in statistical fisheries stock assessment models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 68:1124 -1138.
- Fournier, D.A., H.J. Skaug, J. Ancheta, J. Ianelli, A. Magnusson, M.N. Maunder, A. Nielsen, and J. Sibert. 2012. AD Model Builder: using automatic differentiation for statistical inference of highly parameterized complex nonlinear models. *Optim. Methods Softw.* 27:233-249.
- Gavaris, S. and Ianelli, J.N. 2002. Statistical Issues in fisheries' stock assessments. *Scand. J. Statist.* 29: 245-271.
- Leal E. & C Canales. 2014. Investigaci3n del estatus y posibilidades de explotaci3n biol3gicamente sustentables en anchoveta y sardina espa1ola, regiones III a IV, a1o 2014. Informe Final. Convenio II. pp 52 + Anexos.
- L3pez-Veiga EC. 1979. Fitting von Bertalanffy growth curves in short-lived fish species. A new approach. *Investigaciones Pesqueras* 43: 179-186.
- McCullagh, P. and Nelder, J. 1989. Generalized linear models. Chapman and hall. London. 511 pp.
- Maunder. M., J. Sibert, A. Fonteneau, J. Hampton, P. Kleiber y S. Harley. 2006. Interpreting catch per unit effort data to assess the status of individual stocks and communities. *Journal of Marine Science*, 63: 1373-1385.
- Maunder MN. 2011. Review and evaluation of likelihood functions for composition data in stock-assessment models: Estimating the effective sample size. *Fisheries Research*. 169:311-319.



- Ortiz, M. and F. Arocha. 2004. Alternative error distribution models for the standardization of catch rates of non-target species from a pelagic longline fishery: billfish species in the Venezuelan tuna longline fishery. *Fisheries Research*. 70: 275-297.
- Payá I, C. Canales, D. Bucare, M. Canales, F. Contreras, F. Espíndola, E. Leal, C. Montenegro, J. Quiroz, R. Tascheri, M.J. Zúñiga. 2014. Revisión de los puntos biológicos de referencia (Rendimiento Máximo Sostenible) en las pesquerías nacionales.” Primer Taller internacional. Informe de Avance 1. Subsecretaría de Economía - IFOP. 32 pp.+ 4 Anexos.
- Pennington. M. 1983. Efficient estimators of abundance for fish and plankton surveys. *Biometrics* 39:281-286.
- Plaza, G., F 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 p.
- Pikitch E., P. Boersma, I. Boyd, O. Conover, P. Cury, T. Essington, S. Heppell, E. Houde, M. Mangel, D. Pauly, E. Plagányi, K. Sainsbury y R. Steneck. 2012. Little Fish, Big Impact: Managing a Crucial Link in Ocean Food Webs. Lenfest Ocean Program. Washington, DC. 108 pp.
- Punt, A. y R.B. Kennedy. 1997. Population modelling of Tasmanian rock lobster, *Jasus edwardsii*, resources. *Mar. Freshwater Res.*, 48: 967-980.
- Rothschild, P. Fréon, and C. D. van der Lingen. 2000. An empirical model of anchovy recruitment variability in the southern Benguela. Pages 52–54 in C. D. van der Lingen, C. Roy, P. Fréon, M. Barange, L. Castro, M. Gutiérrez, L. Nykjaer, and F. Shillington, eds. Report of a GLOBEC-SPACC/IDYLE/ENVIFISH Workshop on Spatial Approaches to the Dynamics of Coastal Pelagic Resources and Their Environment in Upwelling Areas. GLOBEC Report 16.
- Tascheri, R., J.C. Saavedra-Nievas, R. Roa-Ureta. 2010. Statistical models to standardize catch rates in the multi-species trawl fishery for Patagonian grenadier (*Macrurus magellanicus*) off Southern Chile. *Fish. Res.* 105, 200–214.
- SERNAPESCA. 2009. Anuario Estadístico de Pesca 2009. Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción, Santiago, Chile. 291 pp
- Shono, H., 2008a. Application of the Tweedie distribution to zero-catch data in CPUE analysis. *Fish. Res.* 93, 154–162.



- Stefansson, G. 1996. Analysis of ground fish survey abundance data: combining the glm y delta approaches. *Ices Journal of Marine Science*, 53: 577 – 588 p.
- Sullivan, P. J., Lai, H.L. & Gallucci, V.F. 1990. A catch-at-length analysis that incorporates a stochastic model of growth. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47: 184-198.
- Yuras, G., O. Ulloa & S. Hormazabal. 2005. On the annual cycle of coastal and open ocean satellite chlorophyll off Chile (18°–40°S). *Geophysical research letters*. 32: 1-4.

A N E X O S

A N E X O 1

Modelos Procesos–Observaciones–Errores.
Modelo talla estructurado



MODELOS PROCESOS – OBSERVACIONES - ERRORES

Modelo de los Procesos

El crecimiento medio es descrito por el modelo von Bertalanffy (VB) puede ser expresado segun:

$$\bar{\Delta}_l = (L_\infty - l^*)(1 - e^{-k})$$

Donde, L_∞ y k son parámetros de la función VB, l^* corresponde al punto medio del intervalo de talla l .

La distribución gamma es utilizada para representar la variación en el crecimiento, ya que permite describir de mejor forma los patrones de crecimiento para peces de tallas muy pequeñas y muy grandes. La distribución gamma puede ser expresada en términos de dos parámetros α_l y β_p , los cuales se relacionan entre si segun:

$$\alpha_l = \frac{\bar{\Delta}_l}{\beta_p},$$

Donde, α_l corresponde a la varianza (es función de L_∞ y k) proporcional a la media, β_p corresponde al coeficiente de variación el que permite incorporar la variabilidad de los individuos en la población. Con ello la proporción de ejemplares que crecen o se mueven de un intervalo a otro queda descrito por:

$$T_{ll'} = \int_l^{l'} \frac{(l' - l)^\alpha \exp\left(-\frac{l' - l}{\beta_p}\right)}{\beta_p} dl$$

Donde, $T_{ll'}$ corresponde a la matriz de transición que modela el crecimiento entre l y l' (Sullivan *et al.*, 1990).

El reclutamiento se plantea separable en un componente anual y uno talla-especifico que se expresa segun:

$$Pr_l = R \int_l^{l+1} \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{(l - \mu)^2}{\sigma^2}\right] dl$$

Donde, μ y σ corresponden a la media y desviación de una distribución normal constante entre años.

La abundancia $N_{l,t}$ de los ejemplares de talla l , a comienzos del año t , queda entonces representada por:

$$N_{l,t} = T_{ll'} N_{l,t-1} \exp(-Z_{l,t-1}) + Pr_l R_t,$$



Donde, $N_{l,t-1}$ corresponde al número de peces de talla l , en el año $t-1$, $Z_{l,t}$ es mortalidad total para peces de talla l en el año $t-1$; $T_{ll'}$ es la matriz de transición de crecimiento entre la talla l y l' , Pr_l es el vector de distribución de reclutamiento y R_t corresponde al reclutamiento anual.

Siguiendo la hipótesis Doubleday's (1976), la mortalidad por pesca se descompone en el producto de un coeficiente talla específico s_l y una tasa de mortalidad por pesca anual F_t según:

$$F_{l,t} = s_l F_t$$

Donde, el coeficiente de selectividad (s_l), se construye dependiendo del modelo considerado, en este caso se utiliza una función logística utilizando la re-parametrización de Punt & Kennedy (1997) como sigue:

$$S_l = \left(1 + \exp \left[- \ln 19 \frac{(l - l_{50\%})}{\Delta} \right] \right)^{-1},$$

l = marca de clase de cada intervalo de longitud.

$l_{50\%}$ = posición (longitud en que el 50% de los peces son retenidos)

Δ = dispersión (pendiente de la curva).



Modelos de las observaciones

Variable	Forma	Notación
Captura comercial	$\hat{Y}_t = \sum_{l=\min}^{l=\max} N_{l,t} w_l \frac{s_{l,t} F_t (1 - \exp(-Z_{l,t}))}{Z_{l,t}}$	$N_{l,t}$: Abundancia en la talla l, y año t. w_l : peso de un individuo de talla l $s_{l,t}$: patrón de explotación de la flota para individuos de talla l en el año t F_t : mortalidad por pesca para individuos reclutados en el año t $Z_{l,t}$: mortalidad total para individuos reclutados de talla l en el año t.
CPUE	$CPUE_t = q \left[\sum_{l=\min}^{l=\max} s_{l,t} N_{l,t} w_l \frac{(1 - \exp(-Z_{l,t}))}{Z_{l,t}} \right]$	q : coeficiente de capturabilidad
Estructura de tallas en las capturas	$C_{l,t} = N_{l,t} \frac{F_{l,t} (1 - \exp(-Z_{l,t}))}{Z_{l,t}}$	$C_{l,t}$: captura de los individuos de talla l, en el año t



Modelos de los errores

Variable	Forma	Notación
Proporción de tallas de la captura	$L = -n \sum_l \sum_t p_{l,t} * \ln(\hat{p}_{l,t})$ $\hat{p}_{l,t} = \frac{\hat{C}_{l,t}}{\sum_l \hat{C}_{l,t}}$	$\hat{p}_{l,t}$, proporción predicha a la talla l y año t . $p_{l,t}$: Proporción estimada a la talla l y año t . $\hat{C}_{l,t}$: Captura predicha a la talla l y año t .
Desembarques históricos	$L = -\frac{0.5}{\sigma_y^2} \sum_t \left(\ln \frac{Y_t}{\hat{Y}_t} \right)^2$	Y_t : captura estimada en el año t $\hat{Y}_t$: captura predicho para el año t
CPUE	$L = -\frac{0.5}{\sigma_{cpue}^2} \sum_t \left(\ln \frac{CPUE_t}{\hat{CPUE}_t} \right)^2$	$CPUE_t$: Captura por unidad de esfuerzo estandarizada. $\hat{CPUE}_t$: Captura por unidad de esfuerzo predicha.

A continuación se presentan los códigos utilizados en la plataforma de análisis estadísticos ADMB para llevar a cabo la evaluación de stock de anchoveta en la Unidad de Pesquería centro-norte (Canales, 2012).



TOP_OF_MAIN_SECTION

```
arrmbldsize=300000; //  
gradient_structure::set_GRADSTACK_BUFFER_SIZE(30000000);  
gradient_structure::set_CMPDIF_BUFFER_SIZE(50000000);  
gradient_structure::set_MAX_NVAR_OFFSET(1000);  
gradient_structure::set_NUM_DEPENDENT_VARIABLES(1000);
```

DATA_SECTION

```
// se leen los datos contenidos en *.dat. Se define si es matriz, vector,  
// entero o numero
```

```
init_int nanos  
init_int ntallas  
init_matrix indices(1,nanos,1,7)  
init_vector Tallas(1,ntallas)  
init_matrix CI(1,nanos,1,ntallas)  
init_matrix Nlcruceros(1,nanos,1,ntallas)  
init_vector Wmed(1,ntallas)  
init_vector msex(1,ntallas)
```

```
// ahora leo controles y opciones desde el archivo _opt.dat
```

```
!! ad_comm::change_datafile_name("model_anch34.ctf");
```

```
init_vector cvar(1,4)  
init_vector nmus(1,2)  
init_int opt_qCrucero  
init_int opt_qCPUE  
init_int opt_Sel1  
init_int opt_Sel2  
init_int opt_Sel3  
init_int opt_Sel4  
init_int opt_Sel5
```

```
init_vector parbiol(1,7)  
init_int opt_VB1  
init_int opt_VB2  
init_int opt_VB3  
init_int opt_VB4  
init_int opt_M
```

```
init_int opt_Rmed  
init_int opt_devR  
init_int opt_F  
init_int nanos_proy  
init_int npbr
```

```
init_vector Fpbr(1,npbr)
```



INITIALIZATION_SECTION

```
// defino un valor inicial de log_reclutamiento promedio (factor de escala)
log_Rmed 10.30
log_A50f_one 2.3
log_A50R_one 2.3
log_Df_one 0
log_F -0.69
dev_log_A50f 0
dev_log_Df 0
log_sf -0.69
log_sr -0.22
log_Lr 2.07
log_bp -2.41
```

PARAMETER_SECTION

```
//Se acota el dominio de cada parametro
```

```
// Parametric selectivities
```

```
// parametros selectividad
```

```
init_bounded_number log_A50f_one(1.6,2.7,opt_Sel1)
init_bounded_number log_Df_one(0,1.6,opt_Sel1)
```

```
// desvios de los parametros selectividad flota
```

```
init_bounded_vector dev_log_A50f(1,nanos,-5,5,opt_Sel2)
init_bounded_vector dev_log_Df(1,nanos,-5,5,opt_Sel2)
```

```
// parametros selectividad doble normal
```

```
init_bounded_number log_muf(1.6,2.7,opt_Sel3)
init_bounded_vector log_sf(1,2,-0.7,10,opt_Sel3)
```

```
// parametros selectividad Cruceros
```

```
init_bounded_number log_A50R_one(1.6,2.7,opt_Sel4)
init_bounded_number log_DR_one(0,1.6,opt_Sel4)
```

```
// Recruits and F mortalities
```

```
// parametros reclutamientos y mortalidades)
```

```
init_number log_Rmed(opt_Rmed)
init_bounded_dev_vector log_desv_No(1,4,-10,10,opt_Rmed)
init_bounded_dev_vector log_desv_Rt(1,nanos,-10,10,opt_devR)
init_bounded_vector log_F(1,nanos,-10,1.39,opt_F) // log mortalidad por pesca por flota
init_bounded_number log_M(-2.3,0.69,opt_M)
```



```
// capturabilidades
init_number log_qCrucero(opt_qCrucero)
init_number log_qCPUE(opt_qCPUE)

// crecimiento
init_bounded_number log_Lr(1.6,3,opt_VB1)
init_bounded_number log_sr(-2.3,1,opt_VB2)
init_bounded_number log_k(-1.6,0.18,opt_VB3)
init_bounded_number log_bp(-3,0.5,opt_VB4)

//Defino las variables de estado
vector sem(1,nanos)
vector Desemb(1,nanos)
vector Desemb_pred(1,nanos);
vector Bcrucero(1,nanos)
vector Bcrucero_pred(1,nanos);

vector CPUE(1,nanos)
vector cv1(1,nanos)
vector cv2(1,nanos)
vector cv3(1,nanos)
vector Unos_tallas(1,ntallas)
vector Unos_sem(1,nanos)
vector Reclutas(1,nanos)

vector Bsem(1,nanos);
vector Bv(1,nanos);
vector Bcru(1,nanos);
vector prior(1,7);
vector CPUE_pred(1,nanos);

vector Neq(1,ntallas);
matrix No(1,5,1,ntallas);
vector likeval(1,10);
vector SDo(1,nanos);
vector Scru_1(1,ntallas);
vector Scru_2(1,ntallas);
vector log_A50f(1,nanos)

vector log_Df(1,nanos)
vector log_A50R2(1,nanos)

vector log_DR2(1,nanos)
```



```
vector Lesp(1,ntallas)
vector sigmaL(1,ntallas)
matrix Sflo(1,nanos,1,ntallas)
matrix Scru(1,nanos,1,ntallas)
matrix F(1,nanos,1,ntallas)
matrix Z(1,nanos,1,ntallas)
matrix S(1,nanos,1,ntallas)
matrix N(1,nanos,1,ntallas)
matrix Nv(1,nanos,1,ntallas)
matrix Cl_pred(1,nanos,1,ntallas)
matrix Nlcruceros_pred(1,nanos,1,ntallas)
matrix pobs(1,nanos,1,ntallas)
matrix ppred(1,nanos,1,ntallas)
matrix pobs_cru(1,nanos,1,ntallas)
matrix ppred_cru(1,nanos,1,ntallas)
matrix T(1,ntallas,1,ntallas)

number suma1
number suma2
number suma3
number suma4

number Linf
number k
number Lr
number sr
number M
number qprior

vector pre(1,ntallas)
vector delta(1,ntallas)
vector alfa(1,ntallas)
number bp
vector dL(1,ntallas);

sdreport_vector SD(1,nanos) //
vector SA(1,nanos) //Biomasa adultos (desovantes al principio)
sdreport_vector RPR(1,nanos) //
sdreport_vector RPRlp(1,nanos)
sdreport_number SSBo
number q_cru

// los arreglos usados en la proyeccion
vector Np(1,ntallas)
```



```
vector Sp(1,ntallas)
vector Fp(1,ntallas)
vector Zp(1,ntallas)
vector CTP(1,ntallas)
sdreport_matrix YTP(1,nanos_proy,1,npbr)
sdreport_matrix Bp(1,nanos_proy,1,npbr)
sdreport_matrix BPA(1,nanos_proy,1,npbr)
matrix nproy(1,nanos_proy,1,ntallas)
```

```
objective_function_value f
```

PRELIMINARY_CALCS_SECTION

```
// leo la matriz de indices
```

```
sem=column(indices,1);// asigno la 1 columna de indices a "semestres"
Bcrucero=column(indices,2);
cv1=column(indices,3);
CPUE=column(indices,4);
cv2=column(indices,5);
Desemb=column(indices,6);
cv3=column(indices,7);
T=0;
```

```
Unos_sem=1;// lo uso en operaciones matriciales con el año
Unos_tallas=1;// lo uso en operaciones matriciales con el año
```

RUNTIME_SECTION

```
maximum_function_evaluations 200,1000,5000
convergence_criteria 1e-3,1e-5,1e-6
```

PROCEDURE_SECTION

```
// para comentar mas de una linea /*.....*/
```

```
Eval_Trans_talla_talla();
Eval_selectividad();
Eval_mortalidades();
Eval_abundancia();
Eval_capturas_predichas();
Eval_deinteres();
Eval_logverosim();
Eval_funcion_objetivo();
```



```
if(last_phase){
    Eval_CTP();}

FUNCTION Eval_Trans_talla_talla

    Linf=parbiol(1);
    k=parbiol(2);
    bp=parbiol(5);

    if(active(log_k)){k=mfexp(log_k);}
    if(active(log_bp)){bp=mfexp(log_bp);}

    int i, j;

    // matriz de transicion modelo normal

    delta=(Linf-Tallas)*(1-mfexp(-k)); // incremento en tallas
    Lesp=Tallas+delta; // talla esperada luego del crecimiento
    sigmaL=delta*bp;

    for (i=1;i<=ntallas;i++){
        T(i)=exp(-0.5*square((Lesp(i)-Tallas)/sigmaL(i)));
        T(i)(1,i)=0;
    }

    for (j=1;j<=ntallas;j++){

        if(delta(j)<0){
            T(j)=0;
            T(j,j)=1;}
    }

    T(ntallas,ntallas)=1;

    for (j=1;j<=ntallas;j++){
        T(j)/=sum(T(j));
    }

FUNCTION Eval_selectividad
    int i;

    log_A50f=log_A50f_one+dev_log_A50f;
    log_Df=log_Df_one+dev_log_Df;

    // Selectividad logística flota
```



```
if (opt_Sel1>0){
  for (i=1;i<=nanos;i++){
    {Sflo(i)=elem_div(Unos_tallas,(1+exp(-1.0*log(19)*(Tallas-exp(log_A50f(i)))/exp(log_Df(i)))));
    }
  }
}
// parametros selectividad doble normal

if (opt_Sel3>0){
  // selectividad doble_normal unica
  for (i=1;i<=nanos;i++){
    Sflo(i)=mfexp(-1/(2*square(exp(log_sf(1))))*square((Tallas-exp(log_muf))));
    for (int j=1;j<=ntallas;j++){
      if(Tallas(j)>exp(log_muf)){
        Sflo(i,j)=mfexp(-1/(2*square(exp(log_sf(2))))*square(-1.*(Tallas(j)-exp(log_muf))));}
      }}}
}

// Selectividad cruceros

if (opt_Sel4>0){//
  for (i=1;i<=nanos;i++){
    {Scru(i)=elem_div(Unos_tallas,(1+exp(-1.0*log(19)*(Tallas-exp(log_A50R_one))/exp(log_DR_one))));
    }}
}

if(opt_Sel5<0){
  Scru=1;}

FUNCTION Eval_mortalidades

M=parbiol(6);
if (active(log_M)){M=mfexp(log_M);}

F=elem_prod(outer_prod(mfexp(log_F),Unos_tallas),Sflo);
Z=F+M;
S=mfexp(-1.0*Z);

FUNCTION Eval_abundancia
int i, j;

Lr=parbiol(3);
sr=parbiol(4);
```



```
if (active(log_Lr)){Lr=mfexp(log_Lr);}
if (active(log_sr)){sr=mfexp(log_sr);}

// genero la composicion de tallas del reclutamiento
pre=exp(-0.5*square((Tallas-Lr)/sr));
pre/=sum(pre);

// genero una estructura inicial de equilibrio en torno a Z del primer año;
Reclutas=mfexp(log_Rmed+log_desv_Rt);
Neq=pre*Reclutas(1);

for (j=1;j<=3;j++)
{Neq=elem_prod(Neq,exp(-1.*Z(1)))*T+pre*exp(log_Rmed+log_desv_No(j));}

// genero la poblacion en equilibrio virginal de LP;
No(1)=pre*mfexp(log_Rmed);
for (j=2;j<=5;j++)
{No(j)=(No(j-1)*exp(-1.*M))*T;}

// dinamica anual

N(1)=Neq;// primer año

for (i=2;i<=nanos;i++)
{N(i)=elem_prod(N(i-1),S(i-1))*T+pre*Reclutas(i);} //

FUNCTION Eval_capturas_predichas

// matrices de capturas predichas por talla y año
Cl_pred=elem_prod(elem_div(F,Z),elem_prod(1.-S,N));

// matrices de cruceros predichas por talla y año
Nlcruceros_pred=elem_prod(elem_prod(N,exp(-0.167*Z)),Scru);

// matrices de proporcion de capturas por talla y año
pobs=elem_div(Cl,outer_prod(rowsum(Cl),Unos_tallas)+1e-5);
ppred=elem_div(Cl_pred,outer_prod(rowsum(Cl_pred),Unos_tallas));

// Cruceros
pobs_cru=elem_div(Nlcruceros,outer_prod(rowsum(Nlcruceros),Unos_tallas)+1e-5);
ppred_cru=elem_div(Nlcruceros_pred,outer_prod(rowsum(Nlcruceros_pred),Unos_tallas)+1e-5);
```



```
// vectores de desembarques predichos por año
Desemb_pred=rowsum((elem_prod(CI_pred,outer_prod(Unos_sem,Wmed))));

FUNCTION Eval_deinteres

// Rutina para calcular RPR
Nv(1)=N(1);// solo para empezar los calculos

for (int i=2;i<=nanos;i++)
{Nv(i)=(Nv(i-1)*mfexp(-1.*M))*T+pre*Reclutas(i);}

Bsem=rowsum((elem_prod(N,outer_prod(Unos_sem,Wmed))));
Bcru=rowsum((elem_prod(Nlcruceros_pred,outer_prod(Unos_sem,Wmed))));// biomasas al crucero
RECLAS a inicio de cada semestre
Bv=rowsum(elem_prod(elem_prod(N,Sflo),outer_prod(Unos_sem,Wmed)));

q_cru=parbiol(7);
if(active(log_qCrucero)){
q_cru=mfexp(log_qCrucero);}
Bcrucero_pred=q_cru*Bcru;

CPUE_pred=mfexp(log_qCPUE)*Bv;
// Original

SD=rowsum(elem_prod(elem_prod(N,exp(-0.58*Z)),outer_prod(Unos_sem,elem_prod(Wmed,msex))));
SDo=rowsum(elem_prod(Nv*exp(-0.58*M),outer_prod(Unos_sem,elem_prod(Wmed,msex))));
SSBo=sum(elem_prod(colsum(No)*exp(-0.58*M),elem_prod(Wmed,msex)));
SA=rowsum(elem_prod(N,outer_prod(Unos_sem,elem_prod(Wmed,msex))));

/*
SD=rowsum(elem_prod(N,outer_prod(Unos_sem,elem_prod(Wmed,msex))));
SDo=rowsum(elem_prod(Nv,outer_prod(Unos_sem,elem_prod(Wmed,msex))));
SSBo=sum(elem_prod(colsum(No),elem_prod(Wmed,msex)));
*/

RPR=elem_div(SD,SDo);
RPRlp=SD/SSBo;

FUNCTION Eval_logverosim
// esta funcion evalua el nucleo de las -log-verosimilitudes marginales para
// series con datos 0.
int i;
```



```
suma1=0; suma2=0;
```

```
for (i=1;i<=nanos;i++)  
{  
  if (Bcrucero(i)>0){  
    suma1+=square((log(Bcrucero(i))-log(Bcrucero_pred(i)))/cv1(i));}  
    if (CPUE(i)>0){  
      suma2+=square((log(CPUE(i))-log(CPUE_pred(i)))/cv2(i));}  
    }  
}
```

```
FUNCTION Eval_funcion_objetivo
```

```
int i,j;
```

```
// se calcula la F.O. como la suma de las -logver
```

```
// lognormalgraf
```

```
likeval(1)=0.5*suma1;//Cruceros
```

```
likeval(2)=0.5*suma2;//CPUE
```

```
likeval(3)=0.5*norm2(elem_div(log(Desemb)-log(Desemb_pred),cv3));//Desembarques
```

```
// multinomial flota
```

```
likeval(4)=-1.*nmus(1)*sum(elem_prod(pobs,log(ppred)));
```

```
// multinomial cruceros
```

```
likeval(5)=-1.*nmus(2)*sum(elem_prod(pobs_cru,log(ppred_cru)));
```

```
// Priors
```

```
prior(1)=0.5*norm2(log_desv_Rt/square(cvar(1)));
```

```
if (active(log_k)){// si estima k
```

```
prior(2)=0.5*square((log_k-log(parbiol(2)))/cvar(2));}
```

```
if (active(log_qCrucero)){
```

```
prior(4)=0.5*square((exp(log_qCrucero)-parbiol(7))/cvar(3));}
```

```
if (active(dev_log_A50f)){
```

```
prior(6)=0.5*norm2(dev_log_A50f/square(cvar(4));}
```

```
f=sum(likeval)+sum(prior);
```

```
FUNCTION Eval_CTP
```



```
for (int j=1;j<=npbr;j++){  
  
  Np=N(nanos);  
  Sp=S(nanos);  
  for (int i=1;i<=nanos_proy;i++)  
  {Np=elem_prod(Np,Sp)*T+pre*mfexp(log_Rmed);  
  
  Fp=Sflo(nanos)*Fpbr(j);//  
  Zp=Fp+M;  
  Sp=mfexp(-1.*Zp);  
  Bp(i,j)=sum(elem_prod(elem_prod(Np,exp(-0.58*Zp)),elem_prod(Wmed,msex)));  
  BPA(i,j)=sum(elem_prod(Np,(elem_prod(Wmed,msex))));  
  
  // Bp(i,j)=sum(elem_prod(Np,Wmed));  
  CTP=elem_prod(elem_div(Fp,Zp),elem_prod(Np,(1-Sp)));  
  YTP(i,j)=sum(elem_prod(CTP,Wmed));  
  
  nproy(i)=Np;  
  
  }}
```

REPORT_SECTION

```
// si quiero que este proceso lo haga despues de la hessiana, no tendre IC  
// Bsem=rowsum((elem_prod(N*Prob_talla,outer_prod(Unos_sem,Wmed))));
```

```
report << "$Cruceros obs&pred" << endl;  
report << Bcrucero << endl;  
report << Bcrucero_pred << endl;
```

```
report << "$Y_t obs&pred" << endl;  
report << Desemb << endl;  
report << Desemb_pred << endl;
```

```
report << "$CPUE obs&pred" << endl;  
report << CPUE << endl;  
report << CPUE_pred << endl;
```

```
report << "$Reclutas y desvios" << endl;  
report << Reclutas << endl;  
report << log_desv_Rt << endl;
```

```
report << "$B adultos " << endl;  
report << SA << endl;
```



```
report << "$Btot " << endl;
report << Bsem << endl;

report << "$Bio_desov " << endl;
report << SD << endl;

report << "$RPR dinamico y de largo plazo " << endl;
report << RPR << endl;
report << RPRlp << endl;
report << "$Tallas " << endl;
report << Tallas << endl;

report << "$pre " << endl;
report << pre << endl;

report << "$p_obs " << endl;
report << pobs << endl;
report << "$p_pred " << endl;
report << ppred << endl;
report << "pcruceros_obs " << endl;
report << pobs_cru << endl;
report << "pcruceros_pred " << endl;
report << ppred_cru << endl;

report << "$N " << endl;
report << N << endl;

report << "$F" << endl;
report << F << endl;

report << "$Sflo" << endl;
report << Sflo << endl;

report << "Scruceros " << endl;
report << Scru << endl;

report << "_____ " << endl;
report << "$-log-like " << endl;
report << "Crucero CPUE Desemb Pflota Pcrucero " << endl;
report << likeval << endl;
report << "_____ " << endl;
report << "Parametros poblacionales " << endl;
report << "Loo k Lr Sr Bp q_crucero M Ro"<<endl;
report << "<< Linf << " << k << " << Lr << " << sr << " << bp << " <<q_cru<< " <<M<< "
"<<mfexp(log_Rmed)<<endl;
```



```
report << "_____ " << endl;
report << "$Matriz_T " << endl;
report << T << endl;
report << "_____ " << endl;
report << "Proyecciones Biomasa año/pbr " << endl;
report << Bp << endl;
report << "Proyecciones Biomasa ADULTA año/pbr " << endl;
report << BPA << endl;
report << "Proyecciones Capturas año/pbr " << endl;
report << YTP << endl;
report << "_____ " << endl;
```


A N E X O 2

PBR en el contexto de la LGPA y su
estimación en las pesquerías nacionales.



Sobre la definición de PBR en el contexto de la LGPA.

La nueva Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA) define en el Título I, Artículo 1°B: *“El objetivo de esta ley es la conservación y el uso sustentable de los recursos hidrobiológicos, mediante la aplicación del enfoque precautorio, de un enfoque ecosistémico en la regulación pesquera y la salvaguarda de los ecosistemas marinos en que existan esos recursos”*. Asimismo, en el Artículo 1°C inciso g) se señala como objetivo *“procurar evitar o eliminar la sobreexplotación y la capacidad de pesca excesiva”*. Estos elementos constituyen el marco sobre el cual se elabora el diagnóstico de los recursos y sus pesquerías.

Normas y definiciones internacionales

A nivel internacional el enfoque precautorio fue establecido en el ANEXO II del acuerdo de las Naciones Unidas sobre stocks altamente migratorios y transzonales (Rosemberg y Restrepo 1995), es aplicado seguido por el NMFS de los EEUU (Restrepo *et al.*, 1998) y el ICES de Europa (ICES 2001). Los lineamientos principales del enfoque precautorio son:

Puntos biológicos de referencia:

- *Un punto biológico precautorio es un valor estimado mediante un procedimiento de acuerdo científico, el cual corresponde al estado del recurso y de la pesquería, y el cual puede ser usado como una guía para el manejo de las pesquerías.*
- *Dos tipos de puntos precautorios de referencia deben ser usados: punto de referencia de conservación o límite y punto de referencia de manejo u objetivo. Los puntos de referencia límites están orientados a restringir la pesca a los límites de seguridad biológica, dentro del cual los stocks pueden producir el máximo rendimiento sostenido. Los puntos de referencia objetivos están orientados a alcanzar los objetivos de manejo.*
- *Los puntos de referencia deben ser stock-específicos para dar cuenta, entre otros, de la capacidad reproductiva, la resiliencia de cada stock y las características de la pesquería que explota el stock, así como también de otras fuentes de mortalidad y las mayores fuentes de incertidumbre.*

Cuando la información para determinar los puntos de referencia para una pesquería es escasa o inexistente, se deben establecer puntos de referencia provisionales. Los puntos de referencia provisionales pueden ser establecidos mediante analogía con stocks similares y mejor conocidos. En tales situaciones, la pesquería debería estar orientada a mejorar el monitoreo así como a revisar los puntos de referencia provisionales a medida que aumente la disponibilidad y la calidad de la información.



Acciones de manejo

- *Las acciones de manejo deben buscar mantener o recuperar poblaciones de stocks explotados y donde sea necesario las especies asociadas o dependientes, a niveles consistentes con los puntos de referencia precautorios previamente acordados. Tales puntos de referencia deben ser usados para gatillar acciones de manejo y conservación. Las estrategias de manejo deberían incluir medidas, que puedan ser implementadas cuando el sistema se acerque a un punto de referencia.*
- *Las estrategias de manejo pesquero deberían asegurar que el riesgo de exceder los puntos de referencia límites sea bajo. Si un stock cae por debajo del punto de referencia límite o está en riesgo de caer por debajo del tal punto de referencia, acciones de manejo y conservación deberían iniciarse para facilitar la recuperación del stock. Las estrategias de manejo deberían asegurar que en promedio los puntos de referencia objetivos no sean sobrepasados.*

Rendimiento Máximo sostenido

- *La tasa de mortalidad por pesca que genera el rendimiento máximo sostenido, debería ser considerada como un estándar mínimo para los puntos de referencia límites. Para los stocks que no están sobrepescados, las estrategias de manejo deberían asegurar que la mortalidad por pesca no exceda la que corresponde al rendimiento máximo sostenido, y que la biomasa no caiga por debajo de un umbral pre-definido. Para los stocks sobrepescados, la biomasa, que produce el rendimiento máximo sostenido, puede servir como el objetivo de recuperación.*

No obstante estas definiciones, la nueva LGPA de pesca chilena define el enfoque precautorio de una forma más restringida a través de la letra b del Artículo 1° C, donde se indica que al aplicar el principio precautorio en la administración y conservación de los recursos hidrobiológicos y la protección de sus ecosistemas, se debe entender como tal:

- i) Ser más cauteloso en la administración y conservación de los recursos cuando la información científica sea incierta, no confiable o incompleta, y
- ii) No se deberá utilizar la falta de información científica suficiente, no confiable o incompleta, como motivo para posponer o no adoptar medidas de conservación y administración.

Además establece, en la letra C del artículo 3°, el Rendimiento Máximo Sostenible (RMS) como punto biológico de referencia objetivo empleado para la determinación de la cuota global de captura, entendiéndose así la declaración "Mantener o llevar a la pesquería hacia el rendimiento máximo sostenible considerando las características biológicas de los recursos explotados". Aquí es explícito el hecho que la principal diferencia entre el enfoque precautorio definido en la LGPA y el enfoque



precautorio en ciencia pesquera, es que en la LGPA chilena se considera el RMS como un objetivo de administración y no como un límite, lo cual vuelve menos precautorio el enfoque chileno.

Estados de explotación

Los estados de explotación que han sido acordados por los Comités Científicos en Chile distinguen claramente la diferencia entre sobre-explotado y sobre-pesca. La primera de estas se relaciona con el estado de la biomasa por debajo de una referencia límite, mientras la segunda dice relación con la posición de la mortalidad por pesca por sobre un valor considerado límite. Ambos estados pueden coexistir de manera que un recurso puede estar sobre-explotado con o sin evidencias de sobrepesca, donde esta última se entiende como una situación transitoria mientras no se reduzcan las capturas, en tanto la primera puede tomar muchos años dependiendo de la resiliencia del recurso. Del mismo modo, en la mayoría de los recursos se han considerado valores “proxys” al RMS como objetivos de manejo donde la plena explotación se ubica en torno a este.

En términos analógicos, en la LGPA se pueden identificar cuatro estados de un recurso: sub-explotación, plena explotación, sobre-explotación y colapso y sus alcances se detallan en los puntos 58), 59) y 60) de la misma. Las definiciones corresponden a:

58) Punto biológico: *valor o nivel estandarizado que tiene por objeto evaluar el desempeño de un recurso desde una perspectiva de la conservación biológica de un stock, pudiendo referirse a: a) biomasa, b) mortalidad por pesca, o c) tasa de explotación.*

La determinación de estos puntos se deberá efectuar mediante decreto del Ministerio, según la determinación que efectúe el Comité Científico Técnico.

59) Estado de situación de las pesquerías:

Pesquería subexplotada: *aquella en que el punto biológico actual es mayor en caso de considerar el criterio de la biomasa, o menor en el caso de considerar los criterios de la tasa de explotación o de la mortalidad por pesca, al valor esperado del rendimiento máximo sostenible y respecto de la cual puede obtenerse potencialmente un mayor rendimiento.*

Pesquería en plena explotación: *aquella cuyo punto biológico está en o cerca de su rendimiento máximo sostenible.*

Pesquería sobreexplotada: *aquella en que el punto biológico actual es menor en caso de considerar el criterio de la biomasa o mayor en el caso de considerar los criterios de la tasa de explotación o de la mortalidad por pesca, al valor esperado del rendimiento máximo sostenible, la que no es*



sustentable en el largo plazo, sin potencial para un mayor rendimiento y con riesgo de agotarse o colapsar.

Pesquería agotada o colapsada: aquella en que la biomasa del stock es inferior a la biomasa correspondiente al punto biológico límite que se haya definido para la pesquería, no tiene capacidad de ser sustentable y cuyas capturas están muy por debajo de su nivel histórico, independientemente del esfuerzo de pesca que se ejerza.

60) Rendimiento máximo sostenible: *mayor nivel promedio de remoción por captura que se puede obtener de un stock en forma sostenible en el tiempo y bajo las condiciones ecológicas y ambientales predominantes.*



Revisión de los Puntos Biológicos de Referencia
en las Pesquerías Nacionales

**Informe del Tercer Taller Internacional
realizado en Viña del Mar**
Instituto de Fomento Pesquero
Agosto de 2014

Resumen

En agosto 2014, el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) realizó un taller de una semana, para completar el trabajo del proyecto de estimación de los puntos biológicos de referencia en las principales pesquerías chilenas. En este taller, se escogió un límite superior de la mortalidad por pesca F_{LIM} como la tasa que reduce la biomasa reproductora a B_{LIM} . La incertidumbre en las estimaciones de la condición actual del stock (mortalidad por pesca y la biomasa reproductora o la biomasa total) fueron obtenidas de la evaluación de cada stock (basado en los errores estándar asintóticos de la Hessiana inversa o la salida de simulación MCMC). Los diagramas de fase (i.e. diagramas de estado de los stocks) fueron preparados para todos los stocks. Este informe corresponde al tercero, y último, de una serie de tres talleres; los informes de los tres talleres deben leerse en conjunto (IFOP 2013, IFOP 2014 y el presente informe).

Introducción

El Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), desde el 11 al 15 agosto 2014, convocó a un taller en Viña del Mar, para la estimación de los puntos biológicos de referencia (PBR). Este fue el tercero (y último) de tres talleres, que en conjunto tienen la intención de revisar, definir y calcular los puntos de referencia para las principales pesquerías chilenas en conformidad con la Ley de Pesca de Chile de 2012. La ley prescribe al F_{RMS} (o un proxy) y B_{RMS} (o un proxy) como la tasa de mortalidad por pesca y nivel de biomasa desovante objetivos para la administración.

En el primer taller, se especificaron los métodos para estimar los F_{RMS} y B_{RMS} objetivos para todos los stocks, con el método utilizado en función de la disponibilidad de los datos y de la evaluación de stock para cada población. Los métodos también se adoptaron para el cálculo de un nivel mínimo de biomasa reproductora B_{LIM} . En el segundo taller, se calcularon los valores reales de los objetivos y B_{LIM} . Las principales tareas del tercer taller fueron (i) estimar un límite superior de mortalidad por pesca F_{LIM} para cada población, (ii) elegir los métodos para la determinación de la incertidumbre en las estimaciones de los puntos de referencia y de la situación del stock en relación con ellos, sobre todo para el año más reciente, y (iii) elaborar diagramas de fase (i.e. diagramas de estado de stock) para cada stock, que dé cuenta de los niveles estimados de mortalidad por pesca y biomasa (desovante) en relación con los puntos de referencia objetivos para los años cubiertos por la evaluación del stock, y la incertidumbre del estado actual de la población en relación con los puntos



de referencia objetivos. Los términos de referencia, la agenda y los asistentes al tercer taller se presentan en el Apéndice A.

En el Tercer Taller, científicos chilenos y siete científicos internacionales examinaron e hicieron una recomendación sobre el método de cálculo de F_{LIM} para los diferentes grupos de pesquerías. Luego, se implementaron métodos para calcular F_{LIM} para cada una de los 24 stocks (IFOP, 2013). El taller examinó también diagramas de fase y su aplicación en diversas jurisdicciones de todo el mundo, así como también propuestas de diagramas para representar los requisitos previstos en la legislación chilena. Se analizan distintos métodos para representar la incertidumbre en la biomasa y la mortalidad por pesca del estado del stock en el último año. Se desarrolló un diagrama de fase estándar que muestra la trayectoria histórica de la biomasa y de la mortalidad por pesca relativa a los puntos de referencia objetivos, y se implementaron varios métodos para visualizar la incertidumbre del último año para los diferentes resultados de la evaluación. Se produjeron ejemplos de gráficos de fase para cada una de los 24 stocks, con la expectativa de que los valores cambiarán en el futuro a medida que evolucionen las evaluaciones de stocks e ingresen nuevos datos a los cálculos. Es probable que los métodos persistan en la mayoría de los casos, pero las cifras reales cambien. Los stocks que utilicen un método de nivel inferior pueden ascender a un nivel más alto cuando se disponga de más datos.

Especificación de F_{LIM}

El segundo taller ya había determinado un límite inferior para la biomasa reproductora (B_{LIM}) para cada población, y la primera tarea del tercer taller fue determinar un límite superior a la mortalidad por pesca (F_{LIM}). La biomasa objetivo es generalmente B_{RMS} o un proxy, comúnmente un $B_{40\%}$ (es decir, $0,4 \times B_0$, donde B_0 denota SSB en el equilibrio de largo plazo sin pesca), y B_{LIM} es la mitad del punto de referencia objetivo, es decir, $B_{RMS}/2$ o $B_{20\%}$; para algunos stocks pelágicos, la biomasa objetivo es superior a $B_{40\%}$ pero aun así B_{LIM} se fijó en $B_{20\%}$. Para todas los stocks, la tasa de mortalidad por pesca objetivo es aquella en la cual la biomasa de equilibrio es la biomasa objetivo, es decir F_{RMS} para B_{RMS} y $F_{45\%}$ para $B_{40\%}$. Formalmente, la mortalidad por pesca asociada a un SSB equilibrio igual a $B_{40\%}$ es $F_{B40\%}$, pero su valor depende del tipo y pendiente de la curva de stock-reclutamiento; el uso de $F_{45\%}$ (es decir, $F_{45\% SPR}$) se basa en el hecho de que, para una amplia gama de valores de la pendiente, el rendimiento de equilibrio a largo plazo correspondiente al $F_{45\%}$ es similar a la obtenida bajo una estrategia de captura basado en mantener el SSB en $B_{40\%}$. Esta conclusión fue discutida y acordada en el segundo taller (IFOP, 2014). De acuerdo con el tratamiento de los puntos de referencia objetivos, el grupo decidió establecer F_{LIM} a la tasa de mortalidad por pesca en que la biomasa de equilibrio es B_{LIM} , entonces de $B_{LIM} = B_{20\%}$, se obtiene que $F_{LIM} = F_{B20\%}$.

Al igual que con $F_{B40\%}$, el valor del $F_{B20\%}$ depende de la pendiente de la relación stock-recluta, la cual es desconocida para la gran mayoría de los stocks. El panel central izquierdo de la **Figura 1** muestra el equilibrio relativo de la biomasa reproductora ($pS = S / S_0$) como una función de la pendiente típica del historial en peces bentónicos y una serie de puntos de referencia objetivos de mortalidad por pesca, incluyendo $F_{27\%}$ y $F_{30\%}$. Al considerar una pendiente con rango (0.5, 0.95), manteniendo



igual peso en todos los valores de los resultados de rango en un punto medio de equilibrio SSB de $B_{18\%}$ en $F_{27\%}$ y $B_{21\%}$ en $F_{30\%}$. Cuando los valores de equilibrio SSB se ponderan por la distribución de probabilidad de la pendiente de Shertzer y Conn (2012), los promedios son $B_{19\%}$ en $F_{27\%}$ y $B_{23\%}$ en $F_{30\%}$.

Un método diferente para llegar a $F_{B20\%}$ consistió en extraer muestras de inclinación de la distribución Shertzer-Conn (2012) y calcular los valores correspondientes de $F_{B20\%}$ para obtener una muestra grande de los valores de F_{B20} . Los valores de inclinación extraídos de la distribución Shertzer-Conn (2012) fueron truncados a estar por encima de 0,5 y por debajo de 0,95, esto, en base a la recomendación anterior sobre un rango plausible de inclinación (**Figura 2**). La media de la muestra de valores de $F_{B20\%}$ se produjo a $F_{27\%}$ (**Figura 3**).

El Taller tuvo una extensa discusión para el caso de adoptar $F_{27\%}$ o $F_{30\%}$ como proxy para $F_{B20\%}$. Cabe señalar que el objetivo es obtener un equilibrio SSB que aproxima a $B_{20\%}$ para un amplio rango de valores de inclinación. En favor de $F_{27\%}$ se tiene que, es el mejor punto de estimación en general cuando el resultado promedio se calcula utilizando las probabilidades de inclinación Shertzer-Conn (2012). En cambio $F_{30\%}$ es una mejor estimación cuando se calcula un promedio no ponderado (es decir, cuando todos los valores de inclinación se les asigna el mismo peso), es un número redondo, y no reduce las poblaciones menos resistentes a cerca de cero como lo haría $F_{27\%}$ (véase el panel central izquierda de la **Figura 1**). Como una cuestión práctica no hay razón fuerte para preferir uno sobre el otro. Al final, el grupo optó por $F_{30\%}$.

Para los stocks en donde se ha estimado F_{RMS} , F_{LIM} corresponde a la tasa de mortalidad por pesca en donde la biomasa reproductora de equilibrio es $B_{RMS}/2$. Para estimar F_{RMS} se requiere conocer (o suponer) un valor de pendiente; por lo tanto, F_{LIM} se puede calcular exactamente (no se necesita aproximación).

Hasta ahora la discusión se refiere principalmente a los stocks en el Tier 1 (para lo cual hay un modelo de evaluación estructurado de edad o talla y, por lo tanto, una consideración explícita de reclutamiento). En el Tier 2 y Tier 3 los stocks que utilizan un modelo de dinámica de biomasa, los puntos de referencia derivados es directa, es decir, en el modelo de Schaeffer $B_{RMS} = K / 2$, $F_{RMS} = r / 2$, $B_{LIM} = B_{RMS} / 2$, y $F_{LIM} = 1.5F_{MSY}$.

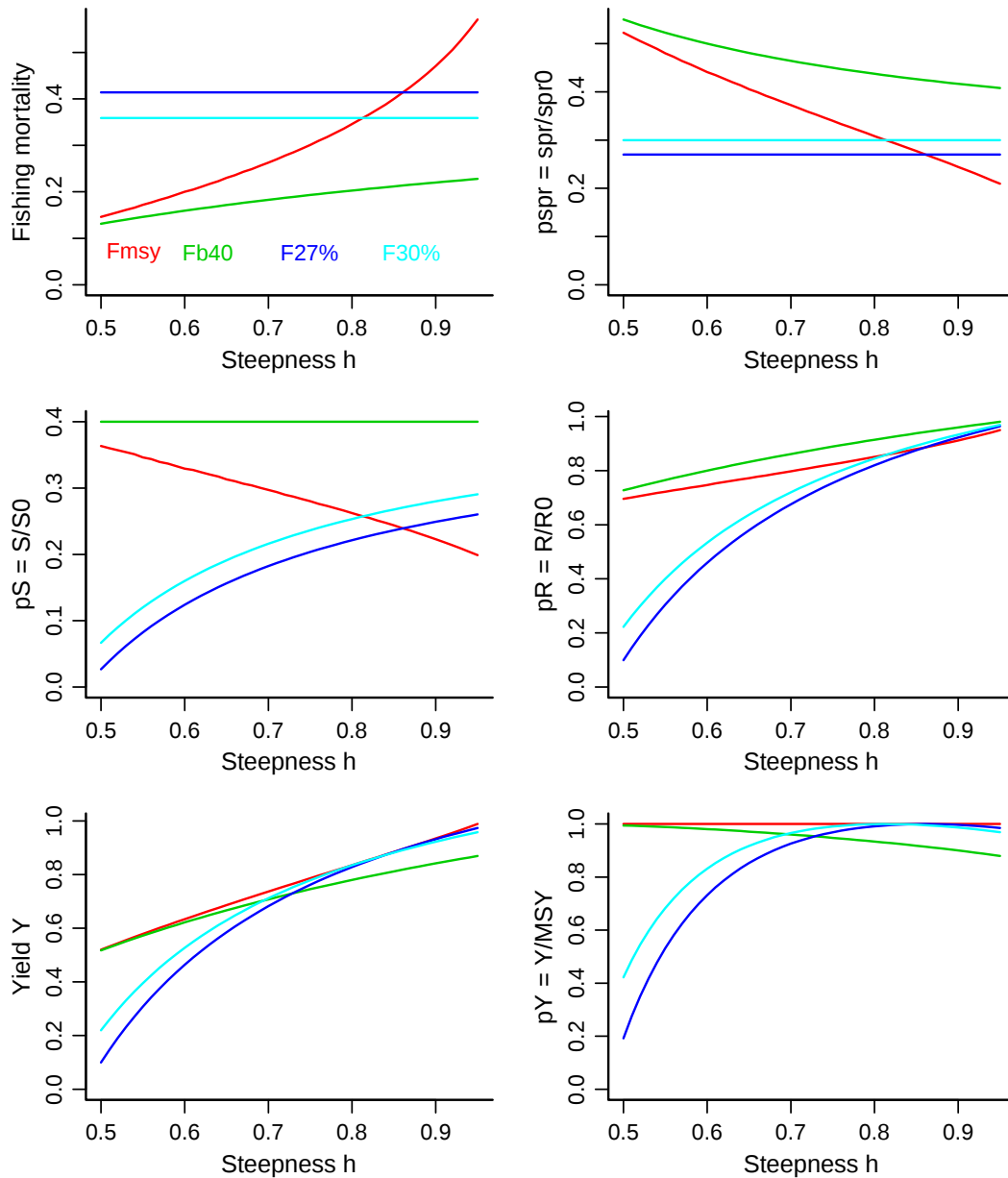


Figura 1. Rendimiento de diversas tasas de mortalidad por pesca objetivo en funci3n de la inclinaci3n (suponiendo una relaci3n poblaci3n-reclutamiento de Beverton-Holt). En particular, el panel central de la izquierda muestra la biomasa reproductora relativa en funci3n de la inclinaci3n de $F_{27\%}$ y $F_{30\%}$.



Steepness prior (Shertzer and Conn, 2012), $\text{beta}(5.94, 1.97)$, truncated $0.5 < h < 0.95$

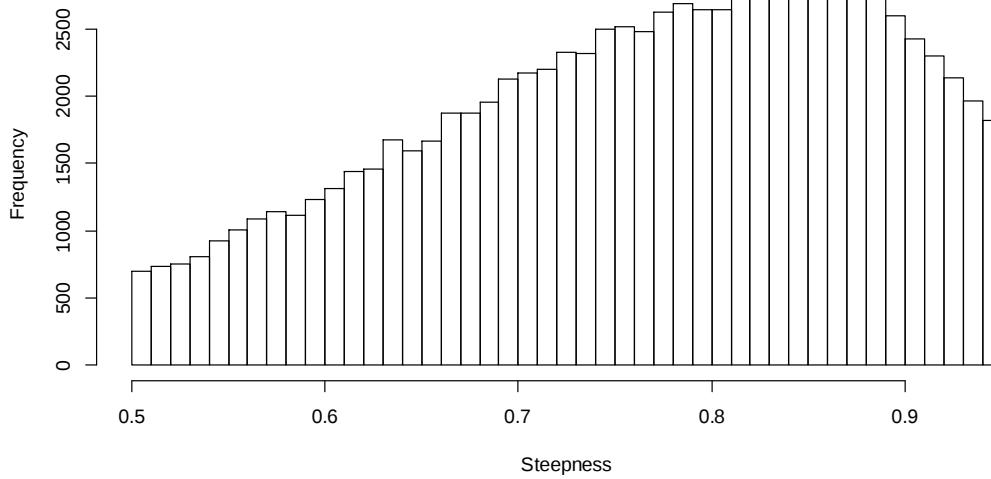


Figura 2. Distribuci3n Shertzer-Conn (2012) truncado de inclinaci3n 0,5-0,95.

SPR at B20% for Beverton-Holt SRR

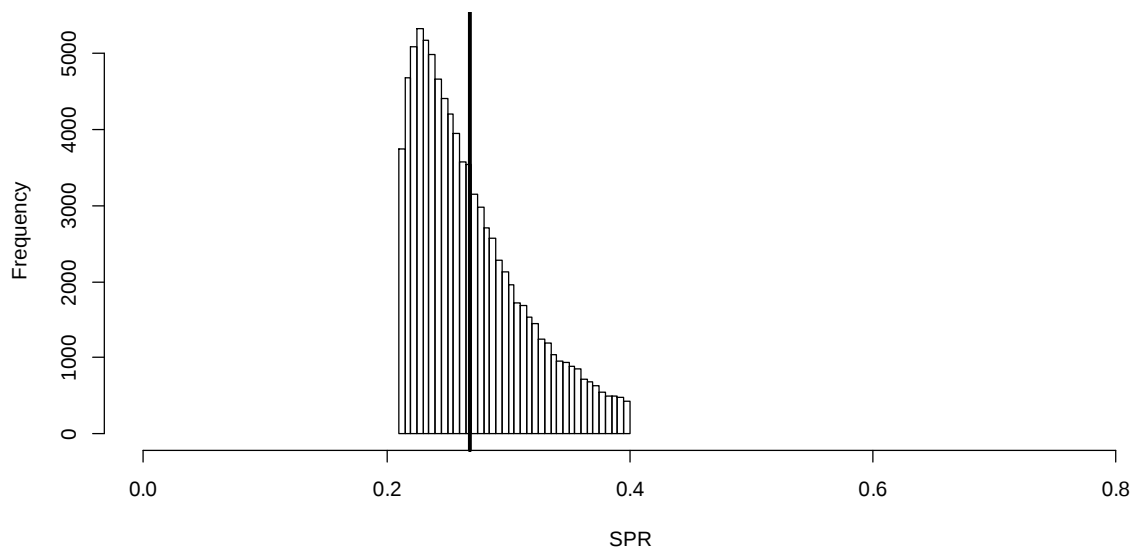


Figura 3. Distribuci3n de SPR correspondiente al $B_{20\%}$, a partir de simulaciones. La lnea vertical continua indica la media de la distribuci3n (= 0,269).



Estimación de la incertidumbre

Las estimaciones de las cantidades elegidas como puntos de referencia biológicos son calculadas en parte de los resultados de evaluación de stocks (por ejemplo, las estimaciones de reclutamiento y selectividad) y en parte de la información fuera de la evaluación (mortalidad natural, tiempos de madurez y crecimiento, que son en la mayoría de los casos tratados como datos de entrada fijos en la evaluación del stock). Todos estos valores contienen incertidumbre (error estadístico), lo que significa que las estimaciones de los puntos de referencia también contienen incertidumbre, la cual necesita ser estimada y mostrada junto con los valores de los puntos. Un objetivo importante es el de estimar la incertidumbre asociada con el par $(F_T / F_{RMS}, SSB_T / B_{RMS})$, donde F_T y SSB_T denotan las estimaciones de F y SSB en el año de evaluación final. Un tratamiento adecuado de la incertidumbre en las estimaciones de los puntos de referencia, junto con la incertidumbre en las estimaciones de la actual condición del stock (mortalidad por pesca y la biomasa reproductora) en relación a los puntos de referencia objetivos, requiere que la evaluación de la población sea configurada para ese propósito. Pocas de las evaluaciones chilenas están en la actualidad configuradas de esta manera (a pesar de que debería ser posible modificar el código de evaluación de la población para hacer esto), por lo que para efectos de este taller, se decidió presentar sólo la incertidumbre de la actual condición del stock en relación con los valores (estimadores) puntuales de los puntos de referencia; en otras palabras, durante el taller, se calculó la incertidumbre en $(F_T / F_{RMS}, SSB_T / B_{RMS})$ suponiendo valores fijos de F_{RMS} y B_{RMS} , mientras que la incertidumbre en (F_T, SSB_T) se obtuvo como una salida de la evaluación del stock. Si bien esto es una simplificación, su impacto no será demasiado grande: muchas de las evaluaciones de stocks suponen como fijos un M conocido, tiempo de madurez y crecimiento, y estiman una selectividad constante a través de los años (lo que implica que la incertidumbre en la selectividad, según las estimaciones de la evaluación de la población, es por lo general pequeña). Teniendo en cuenta este tipo de supuestos, la incertidumbre en torno a la F_{RMS} y B_{RMS} , o aproximados, según las estimaciones de la evaluación del stock, en muchos casos, es probable que sea pequeña. No obstante, esto es, por supuesto, en casos específicos, y la mejor manera de avanzar sería configurar el código de modelo de evaluación de manera que F_{RMS} , B_{RMS} , F_T / F_{RMS} y SSB_T / B_{RMS} sean salidas directas.

La variación de las cantidades estimadas en una evaluación de la población se estima por lo general mediante la inversión de la matriz Hessiana en el punto de máxima verosimilitud. El método inverso Hessiano se basa en una aproximación normal, y en la mayoría de los casos proporciona una caracterización útil de la incertidumbre. Un método alternativo usando MCMC se basa en la distribución posterior y tiene varias ventajas, aunque la verificación de convergencia de la cadena MCMC puede ser difícil. A diferencia del método de Hessiano inverso, el MCMC no se limita a los contornos elípticos para la forma de cualquier distribución bi-variente [e.g. (F_T, SSB_T) o $(\ln(F_T), SSB_T)$], y puede producir salidas más realistas y mejores aproximaciones a la probabilidad de que, por ejemplo, $(F_T / F_{RMS}, SSB_T / B_{RMS})$ se encuentre en una región determinada en un diagrama de fase. Para el informe del taller, las estimaciones MCMC se presentan como un ejemplo para el único stock Tier 1 (merluza de cola) y para los que se dispone actualmente (**Figura 4**), en todos los demás casos de data-ricos, sólo los intervalos de confianza asintóticos fueron incluidos.

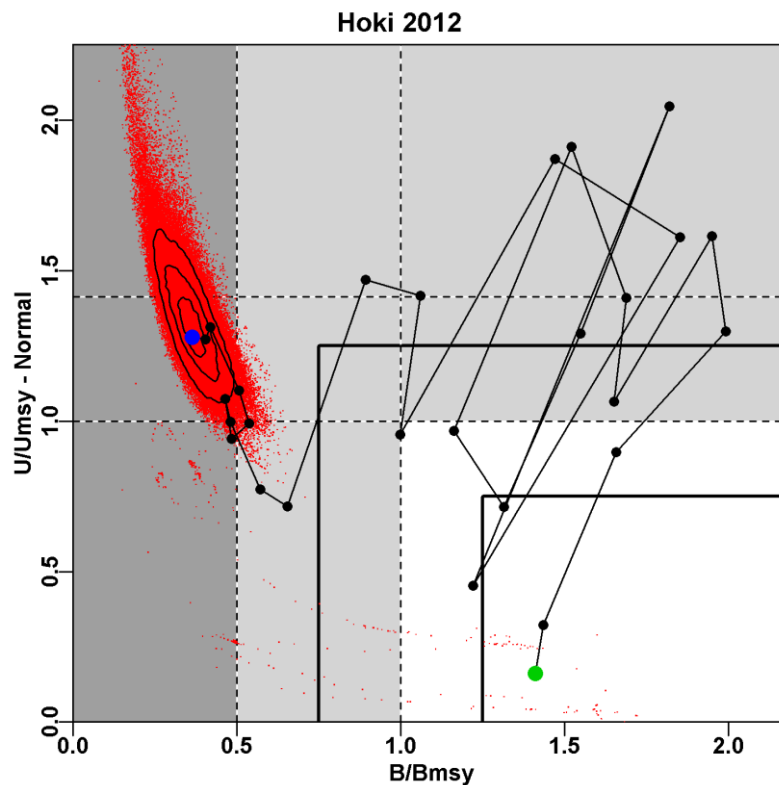


Figura 4. Ejemplo de diagrama de fase para la merluza de cola mostrando muestras MCMC de F y SSB en el año de evaluación final (2012). Las líneas de contorno indican los percentiles 0.2, 0.5, 0.8 de la distribución bivariadas de U / U_{MSY} (tasas de captura anuales) y SSB / B_{RMS} en el año más reciente.

Diagrama de fase

Un diagrama de fase (o diagrama de estatus del stock) es una representación gráfica que resume la situación del stock actual e histórico. Es una trayectoria de dos dimensiones de la biomasa reproductora y la mortalidad por pesca en el tiempo. El stock de biomasa y las estimaciones de mortalidad por pesca de la evaluación del stock se utilizan para calcular, para cada año, la relación de F / F_{RMS} y SSB / B_{RMS} . Estas estimaciones posteriormente se trazan, y los puntos de referencia biológicos se muestran como líneas horizontales y verticales localizadas en 1.

Para la evaluación de stock con selectividad variable en el tiempo, el taller consideró apropiado visualizar F/F_{RMS} en los diagramas de fase basado en valores F_{RMS} -año específico, en el que el F_{RMS} en un año determinado corresponde con el patrón de selectividad de ese año. En unos pocos casos B_{RMS} es específica del año. Esto ocurre con la selectividad variable en el tiempo cuando el B_{RMS} real



(basado en una relación stock-recluta) se utiliza como el punto de referencia de la biomasa en lugar de utilizar un proxy constante para B_{RMS} ; también puede ocurrir cuando se considera un B_0 dinámico. Cuando B_{RMS} es específica del año, el taller consideró que se debía mostrar SSB/B_{RMS} en base a los valores anuales de B_{RMS} . El jurel es un ejemplo de ello (véase la sección pelágicos más adelante en este informe). Cuando F_{RMS} y/o B_{RMS} son año-específico, lo mismo sucede con F_{LIM}/F_{RMS} y B_{LIM}/B_{RMS} . Cuando este es el caso, se optó por calcular estas relaciones para cada año y luego tomar el promedio (de las relaciones) sobre los años y mostrar la media simple como una línea (horizontal o vertical) en el diagrama de fase.

Si bien se muestra el período histórico completo incluido en la evaluación de stock, el enfoque principal del diagrama es el estado en el año en curso. En consecuencia, la incertidumbre en la biomasa del stock y la mortalidad por pesca se muestra sólo para el año más reciente.

La ubicación de los puntos de referencia y las zonas definidas en el diagrama de fase se visualizan en la **Figura 5**. Las líneas verticales indican los puntos de referencia B_{RMS} y B_{LIM} . La línea horizontal muestra el punto de referencia F_{RMS} . La zona blanca es donde el estado de la pesquería se define como subexplotado, el área sombreada de color gris claro sobreexplotado, y el área sombreada de color gris oscuro empobrecido (agotado o colapsado), de acuerdo con la Ley de Pesca (**Tabla 1**).

Tabla 1. Definiciones de estado de la pesca de acuerdo con la Ley de Pesca chilena. Reproducido de IFOP_BRP2013: DOC 2, página 7.

Estado de la pesquería	Definición
Subexplotado	Nivel en el que el punto biológico actual o real es más alto, en el caso en que se considera los criterios de biomasa, o inferior en el caso de que sean considerados los criterios de la tasa de explotación de la mortalidad por pesca, que el valor esperado del rendimiento máximo sostenible, y en relación con lo que potencialmente se puede obtener un mayor rendimiento.
Completamente explotado	Nivel en el que el punto biológico ha alcanzado o está entorno a su máximo rendimiento sostenido.
Sobreexplotado	Nivel en el que el punto biológico actual o real está por debajo, en el caso que se considera los criterios de biomasa, o superior, en el caso en que el criterio del tipo de explotación o la mortalidad por pesca, que el valor esperado del rendimiento máximo sostenible, que no es sostenida en el largo plazo, y no tiene el potencial para un mayor rendimiento, y con el riesgo de agotamiento o colapso.
Agotado o Colapsado	Una pesquería en la que la biomasa de los stocks está bajo la biomasa apropiada al punto límite biológico establecido para la pesquería, que es incapaz de ser sostenible y cuyas capturas están muy por debajo de su nivel histórico, independiente del esfuerzo pesquero aplicado.

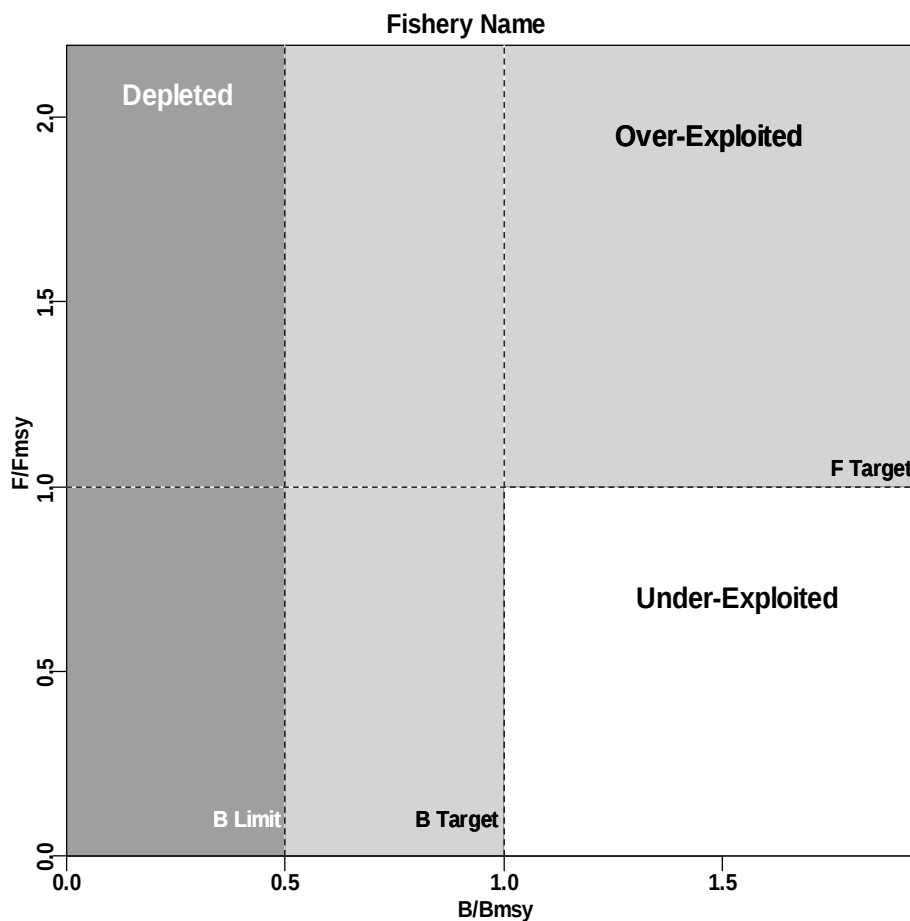


Figura 5. Estructura del diagrama de fase. El cociente de biomasa anual (SSB / B_{RMS}) se representa en el eje horizontal y la tasa de mortalidad por pesca anual (F / F_{RMS}) se representa en el eje vertical. Las líneas verticales indican los puntos de referencia de B_{RMS} (B objetivo) y B_{LIM} . La línea horizontal muestra el punto de referencia F_{RMS} (F objetivo). La zona blanca es donde se define el estado de la pesca como subexplotado, el área sombreada de color gris claro se refiere a sobreexplotadas, y el área sombreada de color gris oscuro se define como agotado o colapsado.

El estado de la pesquería en plena explotación se define en la Ley de Pesca como "un nivel en el que el punto biológico ha alcanzado o está entorno a su máximo rendimiento sostenido". Debido a la variabilidad natural en las condiciones ecológicas y ambientales, un stock capturado en F_{RMS} no será estático, y fluctuará alrededor de B_{RMS} . Para reconocer esta variabilidad, se adopta una definición operativa para la región de plena explotación la cual se extiende a ambos lados de los puntos de referencia de RMS (**Figura 6**).

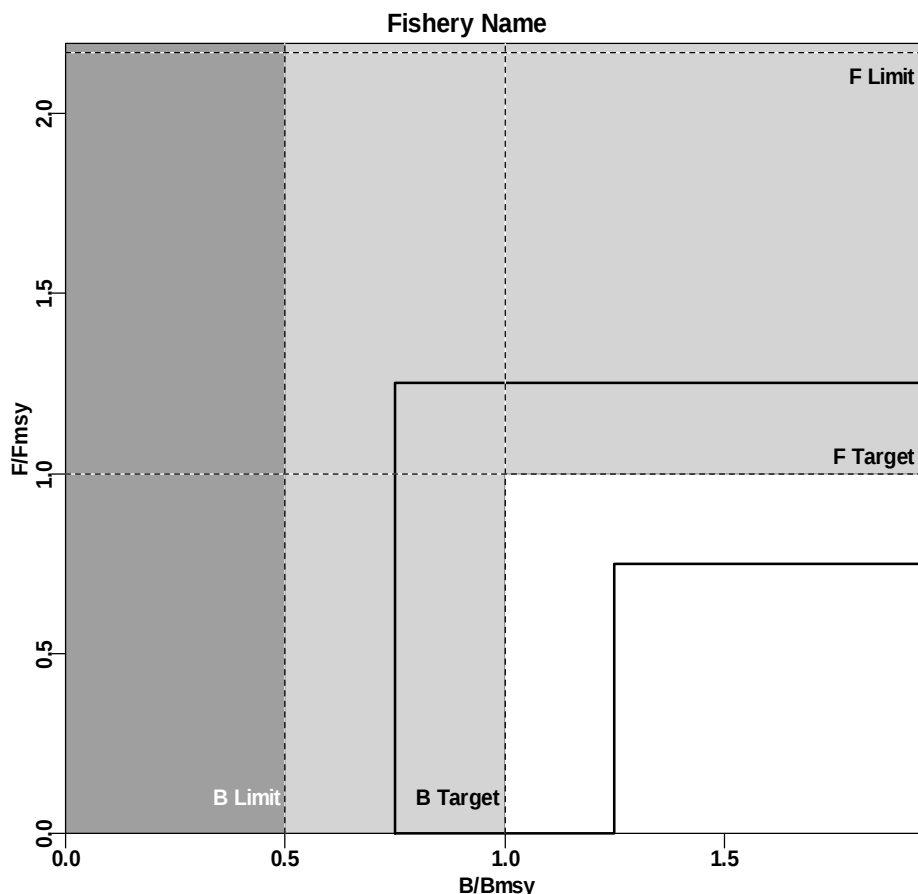


Figura 6. Estructura de diagrama de fase que muestra la definición operativa de la región en plena explotación, que es la región dentro de las líneas continuas en ambos lados del F objetivo (F_{RMS}) y B objetivo (B_{RMS}). En este ejemplo, el límite inferior de la región de la biomasa plenamente explotada se encuentra a medio camino entre la B objetivo (B_{RMS}) y B Límite (B_{LIM}), y la región es simétrica alrededor de B_{RMS} ; en términos de F, la región está entre $0,75 \times F_{RMS}$ y $1,25 \times F_{RMS}$. Una línea horizontal se ha añadido para indicar el límite F.

La región plenamente explotada (o plena explotación) fue ampliamente debatida durante el taller. Una vista general del grupo es que, idealmente, sería stock- específico y tomaría en cuenta la variabilidad natural del stock (debido a las características biológicas y ambientales) y la incertidumbre de la evaluación. Normalmente no tendrá la misma anchura en la dirección F que en la dirección SSB, porque el SSB está sujeto a variabilidad natural (en el reclutamiento y otros parámetros biológicos) y F no (aunque la variabilidad natural también puede hacer que el actual F difiera del F destinado en un pronóstico a corto plazo); es fácil imaginar que las especies de vida corta, en las que la biomasa del stock está estrechamente vinculada (muy variables), el reclutamiento normalmente varía a través de una región más amplia en torno al valor central de B_{RMS} que las especies de vida más larga en donde se esperaría menos variabilidad en SSB. También se



observó que estando “cercano al RMS” (por ejemplo, en la región en la que al menos el 90% o el 95% de equilibrio RMS se puede lograr) podría ser otro posible criterio a tener en cuenta al definir la región en plena explotación. Sin embargo, este concepto sería más fácil de implementar cuando el FRMS real y los valores de B_{RMS} (calculado en base a una relación específica de stock-reclutamiento) son utilizados que cuando estos puntos de referencia se definen basándose en proxies robustos (como se ha propuesto para muchos stocks chilenas).

Si bien el grupo fue capaz de identificar los factores que deben tenerse en cuenta al definir una región en plena explotación, *para proponer una definición técnica defendible apropiado para cada población* es necesario más trabajo de análisis. Este trabajo adicional podría tomar la forma de experimentos de simulación en donde se evalúen los factores que subyacen a la variabilidad en el tamaño del stock, tales como la mortalidad natural, la edad de madurez, variabilidad en los recluta y la auto correlación en el reclutamiento. Además, el análisis podría tener en cuenta la evaluación de la incertidumbre, y, en principio, cualquier otro tipo de incertidumbre que se considere importante.

Los diagramas de fase en este informe utilizan una región en plena explotación que para F va de $0,75 \times F_{RMS}$ a $1,25 \times F_{RMS}$, para SSB va de B_{RMS} a el punto medio entre B_{RMS} y B_{LIM} y es entonces simétrico alrededor de B_{RMS} (como se ilustra en Figura 6). El propósito de estos ejemplos fue escoger una región en plena explotación razonable para el grupo, pero no se recomienda que estos rangos sean adoptados por el comité científico técnico sin antes discutirlo e idealmente con un trabajo adicional de análisis. La **Figura 7** muestra un ejemplo de diagrama de fase.

La incertidumbre en la condición de la población en relación con los puntos de referencia se muestra en el diagrama de fase sólo para el año más reciente. Idealmente, el cálculo de la incertidumbre y la visualización correspondiente dentro del diagrama se basa en muestras MCMC de la distribución posterior. Una alternativa adecuada cuando las muestras MCMC no están disponibles es mostrar intervalos (que contengan 80% de probabilidad) para F / F_{RMS} y SSB / B_{RMS} por separado (sin tomar en cuenta cualquier correlación entre las estimaciones de estas cantidades). El resultado de esto es la cruz azul mostrada en la **Figura 7**, utilizada en la mayoría de los diagramas de stocks en las siguientes secciones. El punto medio de la cruz corresponde a la estimación de un solo punto y es la mediana (es decir, 50% de probabilidad en cada lado) de las distribuciones de F / F_{RMS} y SSB / B_{RMS} . El taller consideró que es más adecuado hacer los gráficos de fase en términos relativos: i.e. F / F_{RMS} y SSB / B_{RMS} , en lugar de trazar el diagrama basado en los valores absolutos de F , SSB , F_{RMS} y B_{RMS} . Los valores absolutos son estimaciones a partir de las evaluaciones de stocks y, como tales, están sujetos a incertidumbre/error de estimación. Por lo general, las estimaciones de los coeficientes de F / F_{RMS} y SSB / B_{RMS} son más robustos y cambiarán menos cuando se lleva a cabo una nueva evaluación de las estimaciones de F , SSB , F_{RMS} y B_{RMS} . Además, la relación de F / F_{RMS} y SSB / B_{RMS} , son las cantidades clave para capturar el estado del stock en relación con los puntos de referencia.

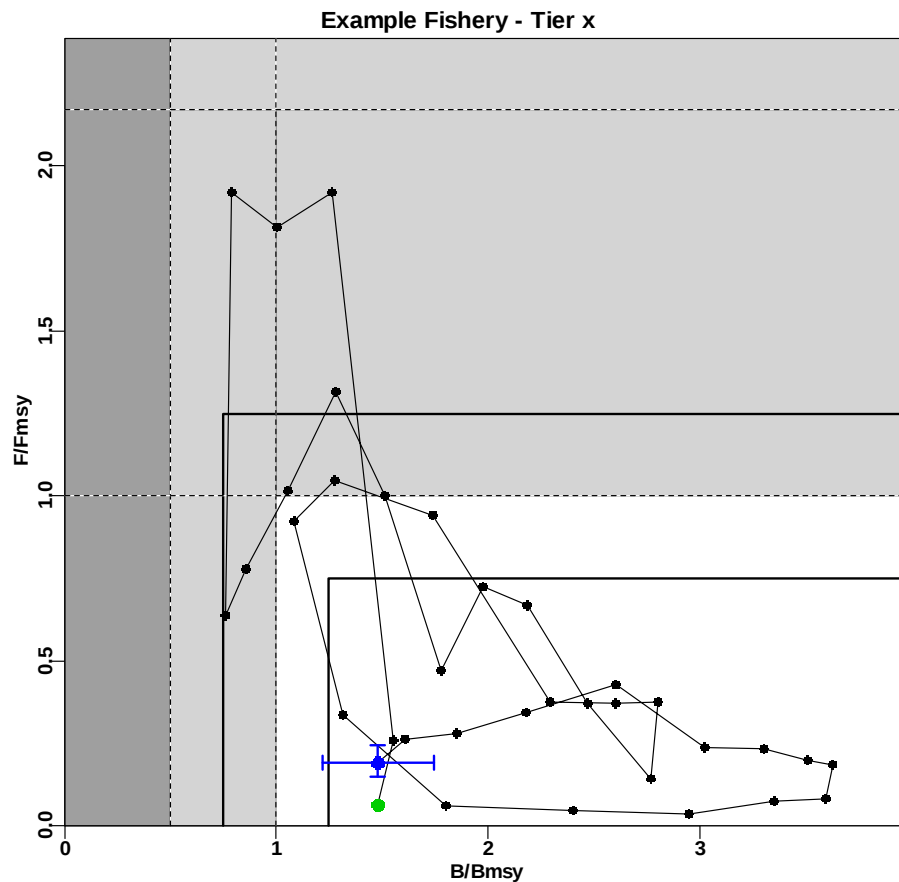


Figura 7. Ejemplo de diagrama de fase, con una trayectoria estimada del stock. El punto verde indica el primer año en el período evaluado. El año más reciente (el último año en la evaluación) se indica a través del punto azul, y los puntos negros vinculados indican sucesivos años intermedios. Las líneas azules corresponden a los intervalos con un 80% de probabilidad (dejando fuera a 10% de probabilidad a cada lado) para F/F_{RMS} y SSB/B_{RMS} en el último año. Esta población se estima actualmente como subexplotada, con una biomasa por encima de B_{RMS} y la mortalidad por pesca muy por debajo de F_{RMS} . La mortalidad por pesca excedió F_{RMS} y/o SSB se encuentra por debajo de B_{RMS} , por lo que en los años 3-10 y 21 la población tenía un estatus de sobreexplotado, pero sólo superó la región de Plena Explotación en los años 3-5 y 9. La población nunca ha estado en la región agotada.

Al igual que en el caso de los puntos de referencia biológicos, se espera ocurran cambios en los gráficos de fase que aquí se presentan para los stock chilenos cuando se tenga a lugar nuevas evaluaciones de stocks; esto es porque la nueva evaluación cambiará (en un grado mayor o menor) los valores utilizados para construir el diagrama. Es probable que los métodos persistan en la mayoría de los casos, pero las cifras reales cambiarán. Además, es muy conveniente que se realice



un examen cuidadoso de estos gráficos de fase por parte de expertos en evaluación de stock chilenas antes de hacer uso de ellos en un contexto práctico.

Reglas de Control de captura

En muchas jurisdicciones, los diagramas de fase se utilizan en asociación con las reglas de control de captura. Un diagrama de fase sólo muestra el registro histórico de la mortalidad por pesca y la abundancia relativa de los puntos de referencia hasta el año pasado en la evaluación, y no indica cómo el stock debe ser gestionado en el futuro. Este es el propósito de las reglas de control de captura, que son un elemento necesario de cualquier sistema para la gestión sostenible de las poblaciones de peces. Aunque estas reglas no fueron consideradas como parte de los trabajos de este taller, el grupo quisiera, destacar su importancia en la gestión de los recursos pesqueros en virtud de la Ley de Pesca de Chile. Las reglas de control de la captura son un conjunto predefinido de acciones de gestión utilizadas en respuesta a los cambios en el estado del stock con respecto al punto objetivo y puntos de referencia límite. Hay varios tipos de reglas de control de captura utilizados en distintos países, pero la variedad más simple impone una tasa de mortalidad por pesca constante por sobre un nivel de biomasa (desovante), y reduce la mortalidad por pesca de forma lineal por debajo de ese umbral (por ejemplo, se utilizan en Australia, a menudo en Europa, y por algunos consejos regionales en los Estados Unidos). Las reglas de control de la captura pueden formar una parte importante de la estrategia de gestión y su desarrollo en el contexto chileno sería un paso natural.

Stocks pelágicos - anchoveta y sardina

En el segundo taller (IFOP, 2014) se llegó a la conclusión de que no hay base científica para hacer una recomendación firme con respecto a la elección del método más adecuado para la selección de un punto de referencia F_{RMS} (o proxy) para especies de vida corta. Se observó que los valores adecuados probablemente estén en el rango $F_{60\%}$ a $F_{45\%}$ (donde $F_{x\%}$ denota el valor de F que corresponde a $x\%$ SPR), y que las opciones específicas de los stocks pueden depender del nivel de incertidumbre (sobre la biología del stock y la dinámica, la evaluación de stocks, datos, etc.), del valor atribuido a los servicios de los ecosistemas, el nivel de los gestores de riesgos y lo que la sociedad desee asumir. Hubo una discusión detallada de los problemas relevantes en los "stocks pelágicos" del segundo informe del taller (IFOP, 2014). En resumen, los principales temas tratados fueron: la fuerte sensibilidad de los valores de $F_{45\%}$ y $F_{60\%}$ en la posición relativa y la distancia entre las curvas de selectividad de madurez y de la pesca (y, por lo tanto, el impacto de la incertidumbre o sesgos en las estimaciones de estas curvas); y el hecho de que estas especies son de vida corta y, esencialmente, sólo tienen dos clases anuales en la población en cualquier punto en el tiempo, lo que significa que, por ejemplo, dos reclutamientos pobres consecutivos podrían tener un fuerte impacto negativo en la población. Debido a esta alta dependencia del reclutamiento (que también está altamente influenciada por las condiciones ambientales) y su papel como especies forrajeras en el ecosistema, las especies de vida corta a menudo son manejados en otras jurisdicciones con un objetivo principal de garantizar que una biomasa de escape permanezca siempre en el mar y, una vez que se asegura eso, permitir que una fracción del "exceso de biomasa" sea capturado



por la pesquería. Estas estrategias de gestión también se consideran a menudo estar en línea con el concepto de RMS, en el sentido de que tienen por objetivo proporcionar rendimientos altos y sostenibles durante largos períodos de tiempo, en vez de adaptar el concepto de RMS a un formato que sea apropiado para la biología de especies de vida corta. Los participantes del taller consideraron que estas estrategias también podrían ser útiles en el contexto chileno y se sugirió tenerlas en cuenta en los próximos años. Tal exploración podría incluir análisis de evaluación de estrategias de administración, es decir, una simulación para probar el rendimiento de cualquier norma de control de capturas propuesto en términos de la sostenibilidad de los recursos y otros aspectos relacionados con el desempeño de las pesquerías.

En el Tercer Taller (agosto de 2014), se pidió al grupo de trabajo de stocks pelágicas hacer una propuesta (en el rango $F_{60\%}$ a $F_{45\%}$ indicado en el segundo taller) que podría servir como un valor de trabajo para el punto de referencia proxy de F_{RMS} . Se consideró que haciendo una propuesta de este tipo, a pesar de las dificultades observadas en el segundo taller, sería muy útil para avanzar con el uso de puntos biológicos de referencia RMS en esta etapa. También se señaló que la ley chilena permite la posibilidad de revisar los puntos de referencia dentro de unos años, por lo que habrá oportunidades para mejorar en esto como conocimiento y experiencia práctica con el nuevo sistema de gestión por desarrollar.

El grupo de trabajo de stocks pelágicos, por tanto, re-examinó el caso para ponerse de acuerdo sobre una propuesta adecuada de $F_x\%$. Esto implicó varias discusiones, donde los científicos internacionales, científicos locales y otros participantes intercambiaron conocimientos y puntos de vista. Se concluyó que, para una pesquería de reciente desarrollo o reciente, que todavía no ha tenido la oportunidad de acumular una cantidad importante de información, el uso de un $F_{60\%}$ más cautelosa sería apropiado. El uso de un F mayor (i.e. un valor $\%SPR$ inferior) se debe basar en tener un cuerpo más importante de información y tendría que ser justificada, por ejemplo, tomando en cuenta cómo un stock se ha desarrollado con el tiempo en las intensidades de pesca a las que ha sido objeto. El análisis más adecuado sería un estudio de simulación de pruebas cuidadosamente diseñado para evaluar los riesgos que el recurso caiga por debajo de los puntos de referencia biológicos bajo diferentes estrategias de pesca, pero esto es una tarea mucho más grande de lo que era posible durante el taller, y tendría que estar estrechamente vinculado a cómo se utilizarán los puntos de referencia en la administración (i.e. la norma de control de la captura para ser utilizado en la administración, la cual no fue definida en el taller o considerada como parte de las tareas del taller).

El informe del Segundo Taller comentó sobre los valores de F históricamente experimentados por los stocks, y la dinámica de los stocks observados. La **Tabla 2** (también presentada en el segundo taller) entrega los valores históricos de la mediana de F (segunda columna de la derecha), según las estimaciones de las evaluaciones de stocks; En otras palabras, se estima que F ha estado históricamente el 50% del tiempo debajo y por encima de los valores de esa columna. La columna más a la derecha de la Tabla 3 entrega el $\%SPR$ correspondiente a la mediana histórica F .



Tabla 2. $F_{45\%}$ y $F_{60\%}$ bajo dos supuestos de selectividad diferentes (el caso base y una prueba de sensibilidad), mediana hist3rica F (seg3n las estimaciones de la evaluaci3n de stock), y %SPR que corresponde a la mediana hist3rica F . Las cuatro primeras columnas son de la Tabla 3 del informe del segundo taller (con una peque1a correcci3n en el valor de $F_{60\%}$ del caso base para la sardina del sur).

	Selectividad de evaluaci3n (Caso Base)		Selectividad = Madurez (Prueba de sensibilidad)		Mediana hist3rica F	% SPR en mediana F hist3rica
	$F_{45\%}$	$F_{60\%}$	$F_{45\%}$	$F_{60\%}$		
Anchoveta XV-II <i>Los valores en la escala semestral</i>	1.23	0.5	0.47	0.26	0.82	51
Anchoveta III-IV <i>Basado en longitud</i>	0.92	0.54	0.85	0.5	0.63	56
Anchoveta V-X	0.84	0.44	0.46	0.26	1.32	35
Sardina Com3n V-X	0.57	0.34	1.45	0.72	0.32	62
Sardina austral X <i>Basado en longitud</i>	0.6	0.35	0.59	0.35	0.35	60

Se estima que los dos stocks de sardina se han capturado hist3ricamente muy cerca de $F_{60\%}$; la sardina com3n V- X ha tenido muy buenos reclutamientos y una tendencia al aumento de la biomasa durante la 3ltima d3cada, mientras que la sardina austral X tiene una historia muy corta de la explotaci3n y la evaluaci3n del stock s3lo se inicia en 2006, por lo que la cantidad de informaci3n disponible es a3n peque1a. El stock de la anchoveta en XV-II ha sido explotado hist3ricamente en torno al $F_{50\%}$ y ha habido una cierta disminuci3n en la abundancia del stock en los 3ltimos 10 a1os (este stock se discutir3 en detalle m3s adelante), mientras que el stock de la anchoveta III-IV ha sido explotado en torno $F_{55\%}$ y el reclutamiento del stock y la biomasa han sido bastante estables. Para la anchoveta V-X, la mediana F hist3rica corresponde al 35% SPR, un valor SPR% considerablemente inferior a la de los otros stocks; los niveles de reclutamiento y biomasa de este stock han sido muy bajo en los 3ltimos cinco a1os.

Bas3ndose en esta informaci3n, se sugiri3 primero que $F_{55\%}$ podr3a ser en la actualidad, una aproximaci3n razonable para el punto de referencia de proxy F_{RMS} para todos estos stock. La 3nica excepci3n fue el stock de sardina austral X, para el cual fue sugerido un $F_{60\%}$, basado en la corta historia de la pesquer3a (menor informaci3n disponible), y las caracter3sticas biol3gicas de la



población (por ejemplo, una talla de primera madurez comparativamente mayor y una fecundidad baja, se espera que resulten en una menor productividad).

Sin embargo, después de esta primera propuesta, se planteó la cuestión de que, a menos que hubiera información clara o argumentos que indiquen que un enfoque alternativo sería mejor, mantener la mortalidad por pesca cercano a lo que se ha producido en el pasado crearía menos interrupciones en la administración y operación de pesca en todos los stocks. Esto llevaría a proponer valores de %SPR cercanos a los de la última columna de la **Tabla 3** (con la excepción de la anchoveta V-X, en donde el %SPR histórico es considerablemente inferior a la de las demás stocks y, como se indicó anteriormente, el reclutamiento y biomasa de la población han sido muy bajos en los últimos 5 años. por lo tanto, un valor %SPR mayor debe ser utilizado para el punto de referencia de este stock). La mayoría de los participantes del taller consideraron esto como un avance apropiado, por lo tanto, durante el taller se generó la propuesta en la **Tabla 3**. Se observa que todos los valores de %SPR en la **Tabla 3** están dentro del rango 50%SPR a 60%SPR y, por tanto, dentro del rango de 45% a 60% identificado como factible en el segundo taller.

De los stocks en la **Tabla 3**, la anchoveta en XV-II, es la única en donde se supone una selectividad variable en el tiempo. La **Figura 8** muestra al $F_{50\%}$ y $F_{30\%}$ calculado para cada semestre, basado en la selectividad de ese semestre (por "semestre" se refiere a seis meses. El modelo de evaluación de esta acción tiene un paso de tiempo semestral). $F_{50\%}$ ha variado en general, entre 0,8 y 1, mientras que $F_{30\%}$ ha sido en su mayoría entre 3 y 7. Los valores presentados en la **Tabla 3** (0,88 y 4,62) se calcularon con una selectividad promedio aproximado proporcionado por expertos de IFOP de ese stock, y están claramente dentro del rango de valores que se muestran en la figura. Los valores de $F_{50\%}$ y $F_{30\%}$ por semestre serán utilizados en el diagrama de fase (como se ha explicado en la sección general sobre gráficos de fase). Sin embargo, para los pronósticos a corto plazo (i.e. para proporcionar asesoramiento en la captura) parece apropiado calcular $F_{50\%}$ basado en la selectividad más probable que se mantenga durante el año pronosticado. En la mayoría de los casos, suele ser una selectividad media de un período reciente (3 años más recientes).



Tabla 3. Los puntos de referencia biol3gicos propuestos (B_{RMS} , B_{LIM} y F_{LIM} se discutir3n m3s adelante en esta secci3n). Notas: (1) No todos los stocks tienen la misma unidad de biomasa (para cada stock las unidades corresponden a los resultados de la evaluaci3n del stock proporcionados por expertos de IFOP, sin embargo, las unidades son siempre consistentes dentro del stock, por lo que no existen problemas de inconsistencia); (2) Los valores de PBR se basan en los mismos resultados de la evaluaci3n de stocks utilizados para el segundo taller y se esperar3an algunos cambios en los valores al momento de desarrollar nuevas evaluaciones de stocks.

	F_{MSY} (proxy)		B_{MSY} (proxy)	B_{LIM}	F_{LIM}
	Basis	Value		$B_{20\%}$	$F_{30\%}$
Anchoveta XV-II Semestral	$F_{50\%}$	0.88	1 850	820	4.62
Anchoveta III-IV Basados en la talla	$F_{55\%}$	0.66	210 000	85 000	1.56
Anchoveta V-X	$F_{55\%}$	0.55	630 000	250 000	1.70
Sardina com3n V-X	$F_{60\%}$	0.34	750 000	270 000	0.91
Sardina Austral X Basados en la talla	$F_{60\%}$	0.35	110 000	41 000	1.00

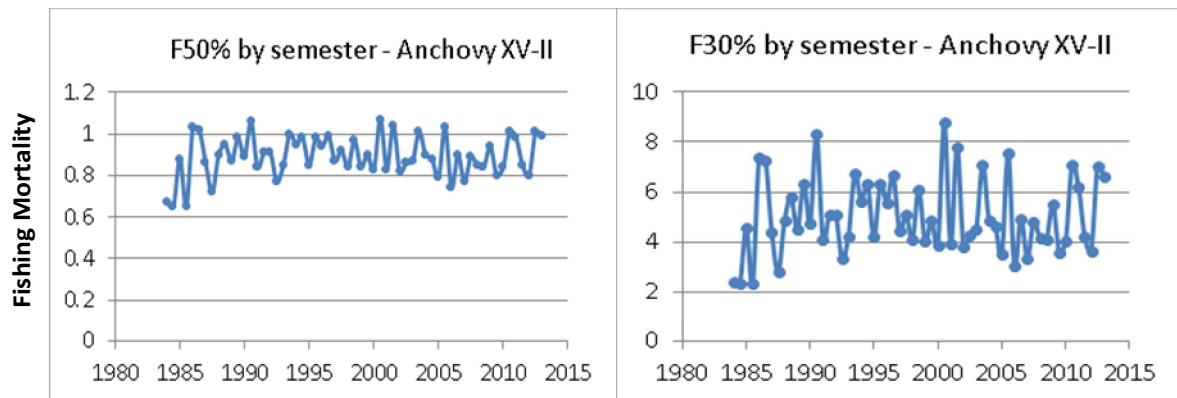


Figura 8. Anchoveta en XV-II: $F_{50\%}$ y $F_{30\%}$ calculado para cada semestre, basado en la selectividad de ese semestre.



De los valores de proxy F_{RMS} propuestos en la **Tabla 3**, la elección de la anchoveta XV-II generó mayor debate, siendo el tema principal en discusión cual $F_{50\%}$ y $F_{55\%}$ sería más apropiado. La **Figura 9** muestra los valores de %SPR estimados (según la evaluación de stock) que correspondan con los valores de F históricamente ocurridos por semestre.

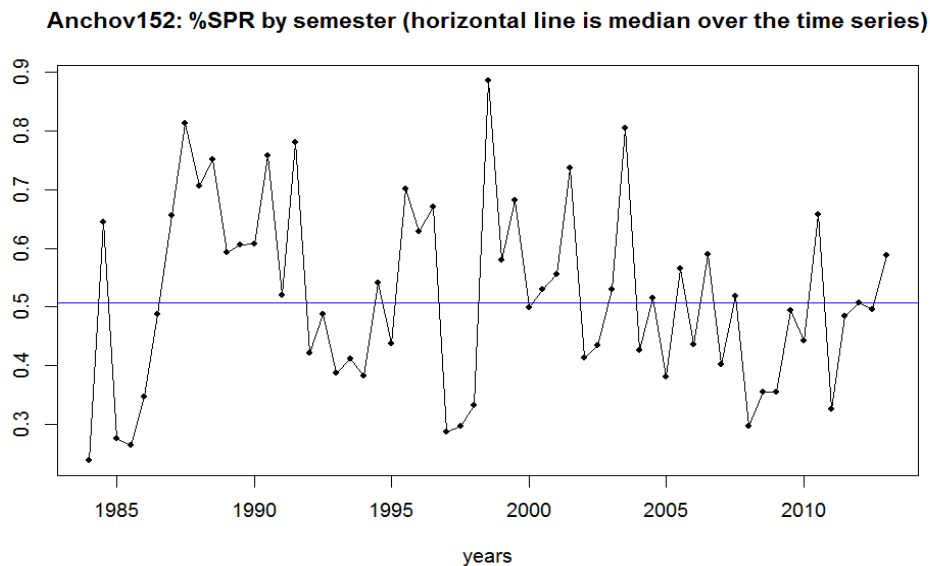


Figura 9. Anchoveta en XV-II: Valores de %SPR correspondientes a las F_s ocurridos por semestre (según las estimaciones de la evaluación de stock); la figura utiliza el F y patrón de selección de cada semestre y calcula la %SPR a la que corresponde F (con su correspondiente patrón de selección).

La **Figura 9** muestra que, en promedio, los F_s estimados para ese stock, corresponden a aproximadamente al 50% (tenga en cuenta que desde el 2005, el %SPR ha estado en su mayoría levemente por debajo del 50%, mientras que el %SPR promedio antes de 2005 era ligeramente superior a 50%). La abundancia de la población ha mostrado una cierta tendencia a la baja durante los últimos 10 años; esta disminución no es muy fuerte y podría ser el resultado de las influencias ambientales sobre el stock (no se observó una clara relación stock-reclutamiento, ver **Figura 10**). Con la información disponible, no es posible dar una respuesta bien definida para elegir entre $F_{50\%}$ y $F_{55\%}$ en términos estrictamente científicos, y se considera que esto es principalmente una decisión administrativa, que por un lado se entregue mayor estabilidad a la pesquería en los próximos años o bien, si se considera más relevante, incluir una precaución adicional. Una precaución adicional puede incluir cuánto se considera del rol de la especie en el ecosistema y de la alta variabilidad del stock. La elección también puede estar influenciada por la forma en que se utilizará el punto de referencia para la administración (para cualquier valor dado del punto de referencia, algunas reglas de control de las capturas serán más preventivas que otras).

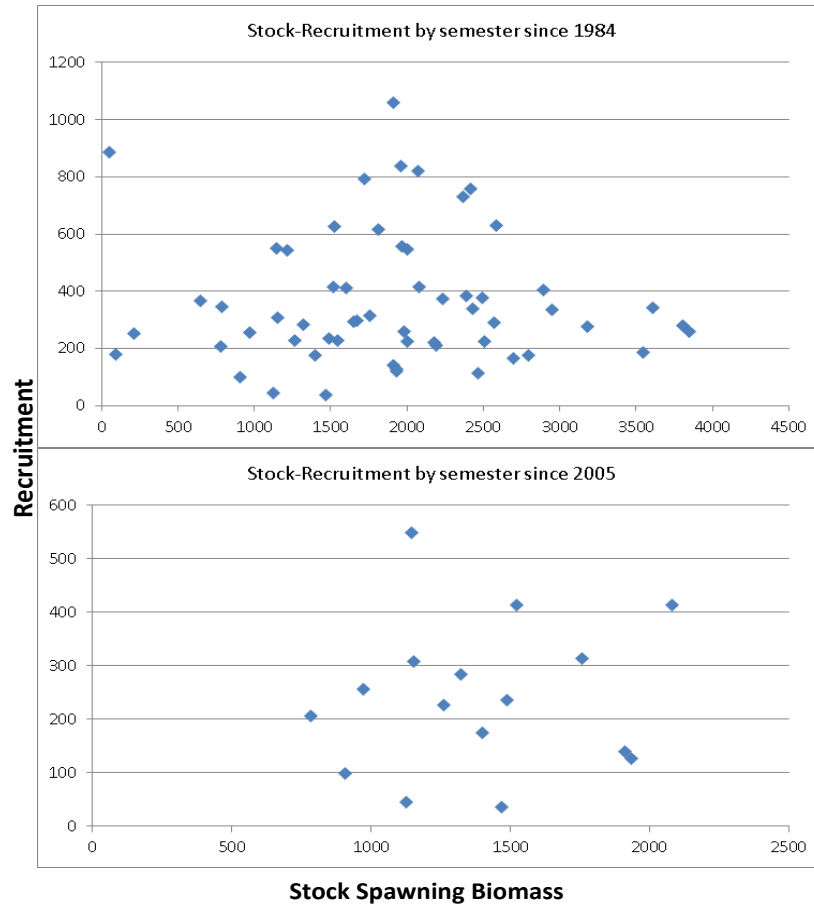


Figura 10. Anchoveta en XV-II: SSB y estimaciones de reclutamiento de la evaluaci3n del stock (el panel superior pertenece a toda la serie temporal utilizada en la evaluaci3n, y el panel inferior es el reciente periodo de descenso del stock).

Como parte de la discusi3n del proxy F_{RMS} para el stock de anchoveta XV-II, se se1al3 que el crecimiento es incierto y que algunos estudios indican un crecimiento m1s r1pido que el utilizado / estimado en la evaluaci3n del stock (que es la base de los c1lculos actuales de los puntos de referencia). Considerando que el crecimiento m1s r1pido sugiere, en principio, una mayor productividad y, por lo tanto, que los stocks puedan ser m1s resistentes a la explotaci3n pesquera que lo supuesto en la actualidad, es dif1cil saber c3mo los diversos efectos potenciales (peso, madurez, selectividad, mortalidad natural) puedan interactuar uno con el otro. Por lo tanto, el taller no consider3 oportuno adivinar/especular acerca de lo que el efecto de un crecimiento m1s r1pido (si esto se confirma) podr1a causar en los puntos de referencia.



El método propuesto para derivar B_{RMS} (en realidad, un proxy) proviene desde el proxy F_{RMS} elegido y las estimaciones históricas de SSB y F de la evaluación del stock. El método fue ideado durante el segundo taller y se explica en el informe del segundo taller (IFOP, 2014). Algunos detalles técnicos del método no se definieron completamente en el segundo taller y se completaron en el Tercer Taller. Para mayor claridad, el método se repite aquí, ligeramente reformulado y con la notación ligeramente diferente, para facilitar la lectura.

1. Encontrar un (preferiblemente largo) período histórico en el que SSB, según las estimaciones de la evaluación de stock, esté más o menos en un equilibrio dinámico (i.e. no un equilibrio determinista). El valor por defecto sería tomar toda la serie temporal histórica utilizada en la evaluación, a menos que haya una razón clara para escoger algo diferente. Dejar que SSB_{media} y $F_{mediana}$ denoten la media SSB y la F mediana de las estimaciones de evaluación durante el período seleccionado. [Nota: La razón por la cual se escogió la SSB media por F mediana es porque se espera que la distribución de F esté cerca de log-normal mientras que la distribución de SSB esté cercana a lo normal; Además, el objetivo es encontrar valores individuales de F y SSB que correspondan entre sí (aproximadamente) en equilibrio, por lo que un valor de la mediana de F , que efectivamente sobrepase la influencia de grandes valores de F en la serie de tiempo histórico, es de esperar, se asocie con mayores valores de SSB en equilibrio (la media a menudo tiende a ser mayor que la mediana)]
2. Calcular $\%SPR (F_{mediana})$ y $\%SPR (F_{RMS})$.
3. Restar 5% (= 0.05) de $\%SPR (F_{mediana})$ y $\%SPR (F_{RMS})$ para obtener una aproximación al $\%SSB$ (donde $\%SSB$ denota SSB/B_0) al que corresponden $F_{mediana}$ y F_{RMS} . Como un ejemplo, si $\%SPR (F_{mediana}) = 0.35$, el $\%SSB$ correspondiente ($F_{mediana}$) se toma como 0.30, y si $\%SPR (F_{RMS}) = 0.55$, el $\%SSB (F_{RMS})$ correspondiente se toma como 0.50.
4. La relación $SSB_{media} / \%SSB (F_{mediana})$ proporciona una estimación de B_0 , y constituye la base para el cálculo de B_{RMS} (paso 5) y B_{LIM} (paso 6).
5. Calcular B_{RMS} ("proxy") como $\%SSB (F_{RMS}) \times SSB_{media} / \%SSB (F_{mediana})$.
6. Calcular B_{LIM} (seleccionado como $B_{20\%}$ para todos los stocks de sardina y anchoveta) como $0.20 \times SSB_{mean} / \%SSB (F_{median})$.

Los valores de B_{RMS} y B_{LIM} reportados en la **Tabla 3** corresponden a los resultados para los stocks de anchoveta y sardina, obtenidos al seguir estos pasos. Los años considerados en el paso 1 del método corresponden a toda la serie temporal utilizada en la evaluación de todos los stocks, excepto para la anchoveta V- X; para esta población, se utilizó la serie de tiempo hasta el año 2008 (es decir, antes de la caída).

Por último, la columna más a la derecha de la **Tabla 3** proporciona los valores F_{LIM} calculados durante el taller. Se calcula como $F_{30\%}$, de acuerdo con la aproximación explicada anteriormente en este informe.

A N E X O 3

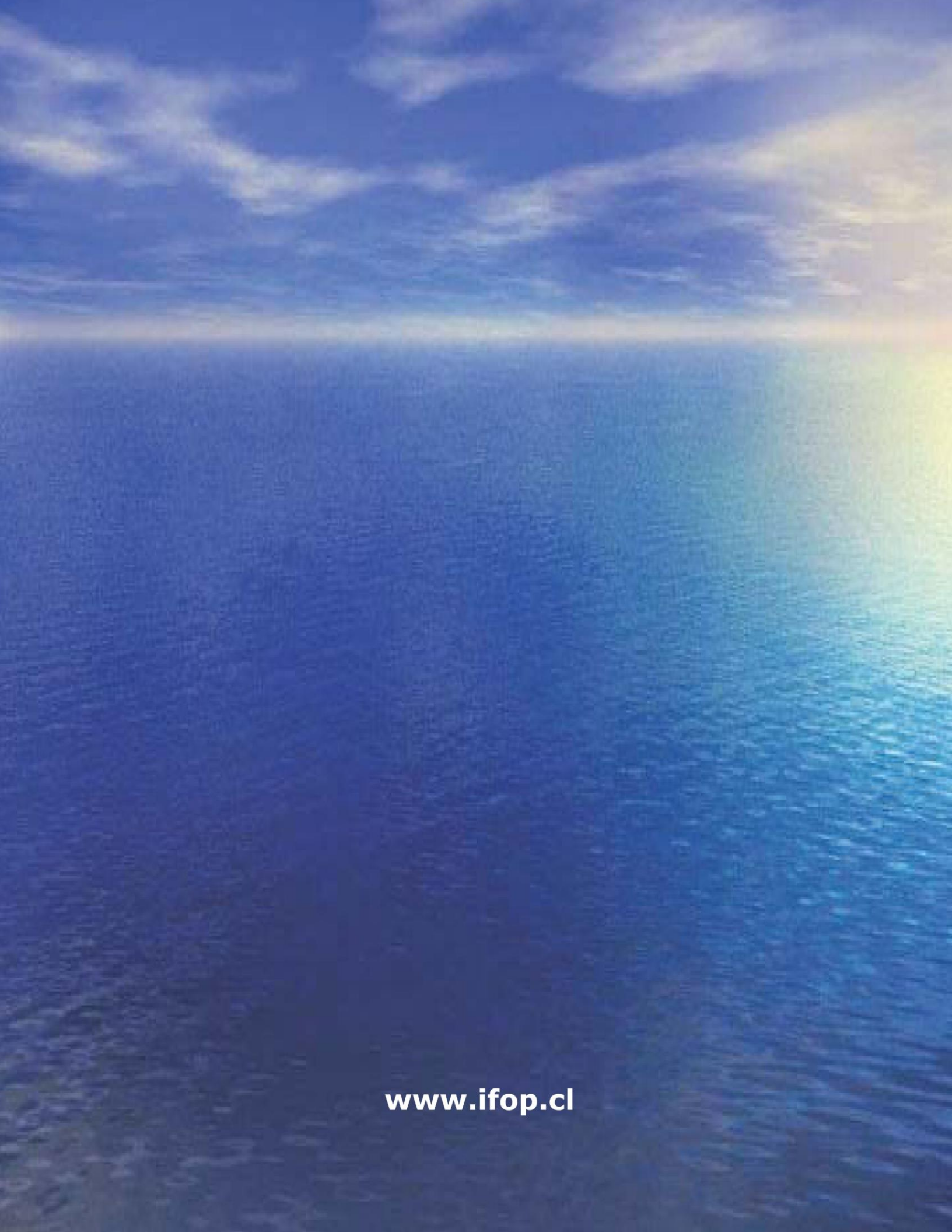
Base de datos – Modelo

(*Incluida en el CD presentado al comienzo de este documento)



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

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



www.ifop.cl