



INFORME DE ESTATUS

Convenio de Desempeño 2015:

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

Anchoveta XV - II Regiones

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 año 2016”:

Anchoveta XV - II Regiones

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 Larrondo

JEFE DE PROYECTO Y AUTOR

Cristian Canales Ramírez

COLABORADORES

M. Gabriela Böhm Stoffel
José Córdova Masanés
Carola Hernández Santoro



RESUMEN EJECUTIVO

Se realiz3 la actualizaci3n de la evaluaci3n de stock de anchoveta de la zona Sur del Per3-norte de Chile (XV-II Regiones) con informaci3n de capturas de las flotas de Chile y Per3, as3 como de 3ndices de abundancia generados en diversos cruceros cient3ficos desde 1984 al 2015. La evaluaci3n de stock consider3 9 escenarios de an3lisis como una forma de evaluar la incertidumbre estructural.

Los an3lisis de sensibilidad en la evaluaci3n de stock permitieron establecer que la modelaci3n de la variabilidad del reclutamiento semestral debiese ser realizada con un valor de desviaci3n est3ndar mayor no obstante su bajo efecto en las estimaciones poblacionales. Asimismo y frente a un valor de M mayor lo que deber3a estar sustentado en nuevas evidencias sobre la longevidad de la anchoveta y de par3metros de crecimiento, el modelo de evaluaci3n sugiere importantes mejoras en la condici3n poblacional las que debiesen ser analizadas con mayor atenci3n. Este an3lisis permiti3 establecer que la situaci3n de explotaci3n de la anchoveta no parece discrepar significativamente frente a supuestos estructurales y se resume en una reducci3n del potencial reproductivo RPR inferior a 0.48, mientras que la biomasa desovante respecto de la biomasa virginal (B/B_0) se ubicar3a por debajo 0.29.

Las variables poblacionales de anchoveta mostraron que desde mediados de la d3cada pasada se habr3an registrado anomal3as negativas en los reclutamientos junto a la reducci3n de su variabilidad, lo que junto al incremento de la mortalidad por pesca particularmente de la flota Chilena, habr3an generado que la poblaci3n desovante se re-escalara a la mitad de sus valores hist3ricos a partir del a3o 2008. La biomasa desovante promedio para el a3o 2015 se estima en torno a las 1.1 mill3n de toneladas que corresponde a la mitad de los niveles registrados antes del 2006, no obstante sujetos a un importante nivel de incertidumbre equivalente a un coeficiente de variaci3n pr3ximo al 50%.

En cuanto al estado de situaci3n de la anchoveta, se ratificaron las condiciones indicadas los 3ltimos a3os con niveles de mortalidad por pesca m3s de dos veces superior al m3ximo definido por el Frms y una biomasa desovante pr3xima a la mitad del objetivo. Esta situaci3n genera una probabilidad cierta de definir el stock de anchoveta en sobre-pesca y sobre-explotaci3n. Sin perjuicio de esto, el an3lisis recomienda seguir avanzando en el uso alternativo de indicadores que se hagan cargo de cambios de productividad propia de recursos peque3os pel3gicos, como por ejemplo la Reducci3n del Potencial Reproductivo (RPR), que en t3rminos din3micos proporciona una idea de la condici3n de la biomasa respecto de la que hubiese existido sin explotaci3n para el actual r3gimen de productividad (reclutamientos). Los resultados en este sentido mostrar3an que la condici3n de explotaci3n no ser3a tan severa ($RPR=0.42$) y se ubicar3a m3s pr3xima al objetivo de manejo ($RPR=0.50$), por lo que leves mejoras en el tren de reclutamientos podr3an ser suficientes para al menos revertir la condici3n de sobreexplotaci3n ($B < Brms$). En cuanto a la sobrepesca, se trata de una situaci3n un tanto m3s compleja debido a la imposibilidad de realizar un manejo conjunto con el Per3.



ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN EJECUTIVO	i
ÍNDICE GENERAL	ii
OBJETIVOS	1
1. ANTECEDENTES	2
2. METODOLOGÍA DE TRABAJO	4
2.1 OBJETIVO ESPECÍFICO 1.....	4
2.1.1 Área de Estudio.....	4
2.1.3 Evaluación del recurso anchoveta sur de Perú – Norte de Chile	5
2.1.4 Calidad de la Información.....	13
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO 2.....	15
2.2.1 Puntos Biológicos de Referencia	15
2.2.2 Estatus del stock anchoveta Sur de Perú y Norte de Chile	15
3. RESULTADOS	17
3.1 Objetivo específico 1.	17
3.1.1 Información y Datos de Entrada a la Evaluación.....	17
a) Desembarques	17
b) Composición de longitud de la captura y cruceros	19
c) Pesos y madurez a la talla.....	20
d) Crecimiento	23
e) Mortalidad natural	22
f) Indicadores de abundancia independientes de la pesquería	24
g) Calidad de la información	26
3.1.1 Evaluación del Stock.....	27
a) Ajuste del modelo de evaluación de stock (Caso base S1)	28
b) Variables poblacionales.....	38
c) Análisis de casos	49
3.2 Objetivo específico 2.	58
3.3. Sardina Española	63
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN RESULTADOS	66
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
ANEXOS	
Anexo 1. Código del modelo de evaluación de la anchoveta Sur del Perú – Norte de Chile (XV-II Regiones <i>(Incluida en CD presentado al inicio del documento)</i>).	



OBJETIVOS

Objetivo general

Actualizar el estatus de los principales recursos pesqueros nacionales y analizar sus posibilidades de explotaci3n biol3gicamente sustentables en horizontes de corto y mediano plazo, considerando su incertidumbre asociada.

Objetivos espec3ficos

- i. Implementar procedimientos de evaluaci3n de stock basados en protocolos cient3ficos 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.
- ii. 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 Subsecretar3a de Pesca y Acuicultura y recomendados por los Comit3s Cient3fico y T3cnico respectivos.
- iii. Brindar al Comit3 Cient3fico T3cnico correspondiente la asesor3a 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.
- iv. Informar el avance del Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesor3a Cient3fica (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.



1. ANTECEDENTES

La actividad pesquera en Chile es 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 al Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. Estas instituciones son las responsables de fijar las políticas y establecer las medidas de regulación que conforman el marco legal y normativo que brindan las condiciones más adecuadas para el desarrollo sustentable de la actividad de la pesca y la acuicultura. Para cumplir adecuadamente esta responsabilidad pública, resulta esencial contar con fundamentos científicos y técnicos en cuanto al conocimiento del estado de los recursos biológicos y su ambiente, así como también, del desempeño de la actividad extractiva. Con el objeto de atender su misión y sus objetivos estratégicos, desde el año 1992 la Subsecretaría de Pesca identifica y encarga al Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) ejecutar la evaluación de stock y análisis de capturas biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales.

La anchoveta es el recurso objetivo de la pesquería pelágica de cerco de la zona norte de Chile, localizada en la XV, I y II Regiones. La pesquería de anchoveta del norte de Chile ($18^{\circ}20'S - 24^{\circ}00'S$) ha reportado en promedio 800 mil toneladas anuales de desembarque desde el año 1984, lo que representa una alta importancia a la economía regional y de empleos directos e indirectos, con el consiguiente beneficio económico y social.

Los desembarques de la anchoveta en Chile han presentado fuertes variaciones en la historia de la pesquería. En particular las capturas fueron bajas en el 2009 y 2010 alrededor de un 50% bajo el promedio 1984-2012 de 800 mil toneladas. Esta situación también se observó en la pesquería del sur del Perú donde en particular los años 2010 y 2013 se observó una disminución de la capturas de más de un 50% bajo el promedio 1984-2012 de 560 mil toneladas. A pesar de que el desembarque de ambos países sufrió un incremento relativo el año 2011, el año 2012 y 2013 se observó disminución del desembarque total respecto al 2011. Durante el año 2014 se observó un repunte del desembarque respecto de semestres equivalentes en años anteriores.

Por su parte, en el período más reciente, la biomasa de este recurso ha registrado una importante reducción producto de anomalías negativas en los reclutamientos y la tendencia creciente en la mortalidad por pesca por sobre F_{RMS} . Sin perjuicio de esto, la actualización de la evaluación de stock permitió estimar que el reclutamiento 2015 habría sido uno de los mayores de la última década y superior en un 74% del promedio histórico.

La condición del stock desovante de anchoveta actualizado al segundo semestre del año 2014 confirmó la condición de sobreexplotación (Canales, 2015) dado que su valor de biomasa se



encuentra a un 37% de la biomasa desovante virginal y por ende por debajo del B_{rms} (50% B_0). Por su lado, los niveles de mortalidad por pesca total de los últimos semestres se mantienen muy por sobre el valor de F_{RMS} , encontrándose igualmente en una condición de sobrepesca. Respecto a la captura biológicamente aceptable para el año 2015, se destaca que el aparente buen reclutamiento 2015 solo se vería reflejado en las capturas y biomasa luego de un año y medio de su ocurrencia, lo que se traduce en que la proyección de las capturas solo se incrementaría a partir del 2017. Las capturas con el criterio F_{RMS} durante el 2015 podrían alcanzar como valor esperado 671 mil toneladas, estrategia con la cual al 2020 se podría llegar al objetivo de conservación del 55% de la biomasa desovante virginal, y el rendimiento máximo sostenible estimado en 1.2 millones de toneladas.

Por otro lado, cabe destacar que además de la pesca, la variabilidad del ambiente es un factor importante que influye en las fluctuaciones de las capturas; y ello lo hace influyendo tanto en la distribución como en la abundancia del recurso, aumentando o disminuyendo su vulnerabilidad a la pesca. Los fenómenos El Niño y La Niña representan un ejemplo característico de cambios ambientales que afectan la anchoveta. Resulta especialmente importante el efecto sobre el reclutamiento, puesto que las variaciones que presenta tienen un fuerte y rápido impacto en el nivel de las capturas de corto plazo, lo que se explica porque la anchoveta es una especie de vida corta. Por ello es necesario que la administración pesquera cuente con información actualizada sobre la condición del recurso y del nivel de captura que es biológicamente permisible para la sostenibilidad de la pesquería cada año.

En este informe se documenta la revisión de los antecedentes del recurso, la pesquería, los datos, parámetros y condiciones del modelo de evaluación de stock. Asimismo se realiza la evaluación del stock bajo condiciones de riesgo e incertidumbre y se establece la condición de explotación de la anchoveta sobre la base de Puntos Biológicos de Referencia relacionados con el RMS. Los objetivos tercero y cuarto serán documentados con posterioridad por cuestiones relacionadas a su formulación (asesoría en los CCT y plan de mejora continua).



2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

2.1 Objetivo Específico 1.

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

2.1.1 Área de Estudio

El estudio comprende el área de distribución de la anchoveta entre el Sur de Perú y Norte de Chile ($16^{\circ}00'LS$ - $24^{\circ}00'LS$) en la cual la especie constituye una unidad stock independiente del Norte-Centro de Perú, Norte-Centro y Centro-Sur de Chile, siendo una unidad de stock y pesquería independiente (Cubillos *et al.*, 2007). Por ser un stock compartido entre dos países es considerado un recurso pesquero transfronterizo (Serra, 1983; Chirichigno y Vélez, 1998).

Es importante señalar que el stock de anchoveta Sur de Perú y Norte Chile, se plantea como un stock independiente del stock de anchoveta de la III y IV región (Leal *et al.*, 2014). Canales & Leal (2009) plantean que la anchoveta Centro-Norte podría corresponder a una unidad poblacional independiente de la ubicada al norte de los $25^{\circ}LS$, que recluta, crece y se reproduce en el área. Aunque no se reportan estudios formales a contestar esta pregunta, existen antecedentes que permiten plantear la hipótesis de su independencia del stock Sur de Perú y Norte de Chile.

Los cruceros oceanográficos desarrollados en la década de 1980 muestran focos discretos de desove (huevos y larvas) de anchoveta en las bahías de Caldera y Coquimbo (Rojas *et al.*, 1983). Esto sugiere que la zona centro-norte de Chile podría representar un hábitat favorable para la anchoveta particularmente en las bahías de Caldera y Coquimbo, donde existen patrones de circulación y focos de surgencia (Valle-Levinson & Moraga, 2006) que podrían facilitar la retención y desarrollo de la anchoveta en estas Bahías. Serra y Gil (1973) estudian la migración del stock anchoveta Sur de Perú y Norte de Chile mostrando la ocurrencia de intensos y amplios movimientos migratorios de anchoveta hacia el Sur de Perú en invierno y verano. Menos intensos y amplios son los movimientos migratorios de anchoveta con dirección hacia los $24^{\circ}LS$. Un estudio similar fue realizado en 1997 (Martínez *et al.*, 1998) mostrando similares resultados en términos de dirección e intensidad de las migraciones. Se plantea que en la zona comprendida entre los $24^{\circ}LS$ y $25^{\circ}LS$ al parecer no existirían las condiciones oceanográficas para permitir un flujo continuo que permita la residencia de focos anchoveta entre ambas zonas (Serra, com. per.) y que las poblaciones de Caldera y Coquimbo habría surgidos cuando en algunos años (y por razones ambientales, e.j. El Niño) la anchoveta de la zona norte expande su distribución hacia el Sur de los $24^{\circ}LS$, colonizando la Bahía de Caldera y Coquimbo donde si existirían procesos oceanográficos que permiten el crecimiento y desarrollo de poblacionales locales de anchoveta. Sin embargo, esta hipótesis necesita ser demostrada.



2.1.2 Levantamiento de los datos

En el área de estudio se lleva a cabo el levantamiento de la información de la pesquería y del stock de anchoveta sur de Perú y Norte de Chile a través de los siguientes sistemas de monitoreo: (i) Pesquería pelágica artesanal e industrial de anchoveta del Sur de Perú, (ii) Pesquería Pelágica artesanal e industrial de anchoveta del Norte de Chile (Böhm *et al.*, 2013), (iii) Evaluación Hidroacústica del Peces pelágicos del Sur de Perú (Primavera y Verano), (iv) Evaluación Hidroacústica del Anchoveta Norte de Chile (Verano) (Córdova *et al.*, 2014) y (v) Método de Producción Diaria de Huevos (Claramunt *et al.*, 2014).

Los sistemas de monitoreo de la Pesquería (i) y Stock (ii) suministran a la evaluación de stock indirecta estimaciones de la estructuras de tallas y edades de la captura a nivel mensual y del desembarque ocurrido entre los 16°00'LS - 24°00'LS. El detalle de los diseños de muestreo, tamaños muestrales, estimadores y sus varianzas se encuentra en Saavedra *et al.* (2006) y Böhm *et al.* (2013). Respecto del monitoreo de la abundancia, biomasa y demografía del stock de anchoveta, en el área de estudio esto es, monitoreos (iii), y (iv) sus diseños muestrales, números de transectas y lances, sesgo de orillas, estructuras de tallas, estimadores y varianzas de la abundancia y biomasa se encuentran contenidos en Castillo *et al.* (2009) y Córdova *et al.* (2014). En relación al monitoreo del stock de desovante de anchoveta esto es sistema (v) todo el detalle metodológico respecto a las estimaciones de producción diaria de huevos, área de desove, proporción de hembras, fracción diaria de hembras desovantes, fecundidad parcial y peso promedio de hembras se encuentra en Claramunt *et al.* (2013).

2.1.3 Evaluación del recurso anchoveta sur de Perú – Norte de Chile

- **Evolución de los enfoques de evaluación**

Desde el año 2002 y hasta el 2010, la evaluación de stock de anchoveta estuvo basada en un Modelo Estadístico de Captura a la Edad (MECE). En octubre del año 2010 se introdujo como alternativa un Modelo Estadístico de Captura a la Talla (MECT). Este cambio se debió a las dudas existentes en la asignación de la edad de la anchoveta, y también a que la escala anual pudiera no representar de manera adecuada la dinámica del recurso debido a que se verifica un extenso periodo de desove, o al menos dos máximos por año biológico y presencia de reclutas durante todo el año. Sumado a lo anterior, el status de anchoveta fue reiteradamente más positivo a los niveles de capturas registrados entre el 2007 y el 2010 señalando la necesidad de una revisión de la evaluación de stock.

Considerando estos aspectos y para independizarse de la determinación de la edad se optó por usar: i) la estructura de tallas de las capturas como variables observadas, pero se continuó con una dinámica en edades a través de la simulación de una clave talla-edad, constante en el tiempo y que depende de los parámetros de crecimientos estimados dentro del modelo de evaluación; ii) para dar cuenta del extenso periodo de desove y reclutamiento se trabajó a escala semestral asumiendo



además la existencia de dos reclutamientos y desoves por año. Estas dos modificaciones al modelo de evaluación de stock (MECE) llevaron a concluir que el modelo MECT mejoraba el ajuste y además representaba mejor la dinámica del recurso (Serra y Canales, 2010). Una siguiente modificación al modelo de evaluación tuvo lugar en Septiembre de 2012 (Serra y Canales, 2012) cuando se introdujo la diferenciación por flotas debido a que los patrones de explotación parecían ser distintos en Perú y Chile lo que se observa en la composición de tallas de la captura, esto a sugerencia del Taller de Evaluación de Recursos de Junio de 2012 (Serra y Canales, 2012). La modificación introducida si bien no generó diferencias significativas desde el punto de vista de las variables de estado del stock y del ajuste del modelo, si permitió representar mejor la vulnerabilidad del stock por ambas flotas (Serra y Canales, 2013).

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

- **Modelo de la dinámica del stock de anchoveta Sur de Perú Norte de Chile**

El modelo de evaluación de stock de anchoveta Sur de Perú y Norte de Chile se basa en el análisis estadístico de la dinámica de estructuras de talla por flotas (Perú y Chile) y crucero de adultos de Perú, de los índices de biomasa (biomasa directa adultos - Perú, biomasa directa reclutas - Chile, biomasa directa reclutas Perú, biomasa desovante - Chile) y los desembarques Peruanos y Chilenos.

a) Modelo de los Procesos

El modelo de la anchoveta Sur de Perú y Norte de Chile se sustenta en los siguientes supuestos generales:



- La poblaci3n de anchoveta distribuida desde el sur de Per3 y Norte de Chile (16°S-24°S) constituye una unidad de stock
- La poblaci3n es cerrada por lo tanto las p3rdidas ocurren por mortalidad natural y por pesca
- Se asume la entrada de dos reclutamientos por a3o y dos desoves.
- Mortalidad natural se asume constante en el tiempo y a trav3s de la edades
- La mortalidad por pesca es el resultado de la interacci3n entre la mortalidad por pesca semestral y el patr3n de explotaci3n edad y flota (Chile, Per3) espec3fico.
- Se asume que los desembarques en estas pesquer3as son un buen *proxi* de la capturas

El supuesto del desembarque se considera confiable puesto que se registra adecuadamente durante la descarga, y el nivel de mezcla con otras especies se considera bajo (*B3hm com per*). Los supuestos sobre la escala de la din3mica se sustentan sobre el hecho que la anchoveta es una especie de vida corta, que tiene un per3odo de desove prolongado, comenzando durante el invierno austral y extendi3ndose a trav3s de la primavera para comenzar a declinar hacia fines del verano. El m3ximo de desove frecuentemente se observa en agosto. Consistente con ello el reclutamiento a la pesquer3a tambi3n se observa durante gran parte del a3o, registr3ndose un m3ximo durante el comienzo del verano. El per3odo prolongado de desove y reclutamiento ha determinado que la escala de la din3mica poblacional usada sea al menos a nivel de semestre. El modelo asume que el reclutamiento ocurre a comienzo de cada semestre.

As3 se tiene que la abundancia ($N_{a,s,t}$) de la anchoveta a la edad a , y a inicios del semestre s y tiempo t , est3 dada por

$$N_{a,s,t} = N_{a-1,s-1,t} S_{a-1,s-1,t}$$

Donde $N_{a,s,t}$, depende de la abundancia, $N_{a-1,s-1,t}$ a la edad $a-1$, semestre $s-1$ y tiempo t , y de la sobrevivencia $S_{a-1,s-1,t}$ de la edad $a-1$, del semestre $s-1$ y en el tiempo t . Donde $a=[0.5, 1.5, \dots 4.5]$, $s=[1,2]$ y t es el a3o.

A su vez la sobrevivencia $S_{a-1,s-1,t}$, es descrita con una funci3n exponencial de la mortalidad total $Z_{a-1,s-1,t}$, a la edad $a-1$, semestre $s-1$ y tiempo t .

$$S_{a-1,s-1,t} = \exp(-Z_{a-1,s-1,t})$$

La mortalidad total, $Z_{a-1,s-1,t}$ se descompone en mortalidad natural (M) y por pesca (F), seg3n:

$$Z_{a,s,t} = M_s + \sum_f F_{s,t,f} \zeta_{a,s,t,f}$$

Donde M , F , s y t han sido previamente definidas, f indexa el tipo de flota (Chilena o Peruana), y $\zeta_{a,s,t,f}$ corresponde al patr3n de explotaci3n (o selectividad) a la edad del semestre s , a3o t y flota f .



La mortalidad natural M se asume igual 0.5 (semestre⁻¹). El patr3n de explotaci3n es edad y flota espec3fico y sigue una funci3n log3stica del tipo:

$$\zeta_{s,t,f} = \left(1 + \exp \left[-\log 19 \frac{(a - \alpha_{s,t,f})}{\Delta_{s,t,f}} \right] \right)^{-1}$$

Donde, a corresponde a la edad, $\alpha_{s,t,f}$ a la edad del 50% de reclutamiento, y $\Delta_{s,t,f}$ representa la diferencia entre la edad al 95% y 50% de reclutamiento a la pesquer3a. Los 3ndices s, t y f fueron previamente definidos.

El reclutamiento semestral se estima como perturbaciones estoc3sticas tomadas desde un modelo Beverton y Holt en funci3n de la biomasa del semestre inmediatamente anterior, y siguiendo una distribuci3n de probabilidad lognormal. La abundancia a la edad $a=0.5$, semestre s y tiempo t son estimados seg3n:

$$N_{a=0.5,s,t} = \frac{\alpha BD_{t-0.5}}{\beta + BD_{t-0.5}} e^{-\delta_{s,t}}$$
$$\alpha = \frac{4hR_0}{5h-1}; \beta = \frac{(1-h)BD_0}{5h-1}$$

Donde BD es la biomasa desovante, R_0 corresponde al reclutamiento virginal y es un par3metro a resolver por el modelo dentro de una distribuci3n uniforme (prior), seg3n $\ln R_0 \sim U[a,b]$. $\delta_{s,t}$ corresponde a los desv3os de los reclutamiento al semestre s y tiempo t , los cuales son par3metros tambi3n a resolver por el modelo dentro de una distribuci3n normal (prior), seg3n $\delta_{s,t} \sim N(0, 0.6^2)$. La biomasa desovante virginal BD_0 se estima en equilibrio desde R_0 sin explotaci3n. h es una medida de resiliencia ("steepness") fijada en 0.95 y corresponde a la reducci3n del reclutamiento virginal cuando la biomasa virginal se ha reducido al 20%.

La condici3n inicial de la abundancia de la poblaci3n es estimada desde una condici3n de equilibrio estoc3stica en torno a la mortalidad total del primer a3o:

$$N_{a,s=1,t=1} = \left(N_{a-1,s=1,t=1} e^{-z_{a-1,s=1,t=1}} \right) e^{-\rho_a}$$

Donde la abundancia inicial $N_{a,s=1,t=1}$ depende del reclutamiento estimado seg3n se explic3 anteriormente. ρ_a tambi3n se obtiene como desviaciones resueltas por el modelo dentro de una distribuci3n normal (prior), seg3n $\rho_a \sim N(0, 0.6^2)$.



b) Modelo de las observaciones

Las expresiones anteriormente descritas definen la dinámica de la poblaci3n explotada. A continuaci3n se presentan las expresiones que definen las observaciones y que se contrastan estadísticamente con los datos provenientes de las pesquerías y evaluaciones directas.

Las capturas predichas, son obtenidas siguiendo la ecuaci3n de captura de Baranov, cuya forma es:

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

Donde $\hat{C}_{a,s,t,f}$ representa las capturas estimadas por el modelo de evaluaci3n a la edad a , semestre s , tiempo t y flota f . Las variables F , Z , N y S fueron definidas en la secci3n anterior.

Dado que este modelo no utiliza observaciones de estructuras de edades de las capturas sino sus estructuras en tallas, es necesario transformar las capturas predichas en edades a distribuciones de talla. Esto se resuelve simulando una clave talla-edad, que describe la probabilidad de un individuo de talla l de pertenecer a una cierta edad a . Así se tiene que, la probabilidad $P_{l,a}$ de individuo de pertenecer a la talla l , y edad a , sigue una funci3n de distribuci3n normal, segun:

$$P_{l,a} = \int_{l_1}^{l_2} \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma_a^2} (l - L_a)^2 \right\} dl$$

Donde L_a y σ_a corresponden respectivamente a la talla media a la edad a y desviaci3n estándar de la talla media para la edad a por semestre s descritas como:

$$\sigma_{a,s} = a_\sigma + b_\sigma L_{a,s}$$

Donde, a_σ y b_σ son los coeficientes del modelo lineal de la desviaci3n de la talla media de la edad. La talla media a la edad a , $L_{a,s}$ a su vez es obtenida mediante la siguiente expresi3n:

$$L_{a,s} = L_{00}(1 - e^{-k}) + e^{-k} L_{a-1,s-1}$$

Donde, k corresponde a la tasa de crecimiento somático del modelo de crecimiento de von Bertalanffy. La tasa de crecimiento es resuelta por el modelo dentro de una distribuci3n normal (prior) segun $k \sim N(k, \sigma_k^2)$. La parametrizaci3n del crecimiento somático en la clave talla-edad sigue esta vez la parametrizaci3n de Ford (1933) y Walford (1946) por su simpleza y entendimiento, dejándose de lado la aproximaci3n de Schnute y Fournier (1980) que había sido empleada hasta el 2014. Cabe resaltar que esto no afecta en absoluto las estimaciones poblacionales sino mejora el entendimiento de los parámetros de crecimiento considerados.

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



$$\hat{C}_{l,s,t,f} = P_{l,a} C_{a,s,t,f}$$

Donde $C_{a,s,t,f}$ corresponde a las capturas observadas a la talla provenientes de los Monitoreos de la Pesquerías Pelágicas del Sur de Perú y Norte de Chile. El desembarque en peso de las capturas de la anchoveta Sur de Perú y Norte de Chile está dado por:

$$\hat{Y}_{s,t,f} = \sum_l \hat{C}_{l,s,t,f} \bar{w}_l$$

Donde $\hat{Y}_{s,t,f}$ corresponde al desembarque predicho en el semestre s , tiempo t y flota f , y $\bar{w}_l$ corresponde al peso teórico de un individuo de talla l . Este peso teórico es obtenido desde la relación longitud-peso $\bar{w}_l = a\bar{L}^b$, con a y b parámetros a estimar desde los muestro biológicos realizado por el programa de monitoreo de la Pesquerías Pelágicas del Norte de Chile.

La biomasa total ($BT_{s,t}$) y desovante ($BD_{s,t}$) semestral predicha se obtiene según:

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

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

Los índices de biomasa predichos siguen la siguiente forma general:

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

donde $\hat{I}_{s,t}$ puede corresponder a i) la biomasa predicha de adultos del Perú, ii) la biomasa predicha de reclutas de Perú, iii) la biomasa predicha de reclutas de Chile y iv) la biomasa desovante predicha Chile. La constante, q^c es la capturabilidad y/o disponibilidad al crucero. En esta evaluación se asume $q^c \neq 1$, dado que todos los índices solo observan una fracción de la distribución del stock, y por tanto q^c es resuelto por el modelo. La variable, Γ^c corresponde a la selectividad o madurez



sexual seg3n sea el caso del 3ndice predicho, y Δ^c es la fracci3n del semestre en la cual se realiza la evaluaci3n directa c .

La proporci3n predichas de la captura ($\hat{p}^{f_{l,s,t}}$) por flota a la talla l , semestre s y tiempo t y la abundancia de las evaluaciones directas (c) ($\hat{p}^{c_{l,s,t}}$) a la talla l , semestre s y tiempo t , quedan descritas respectivamente por

$$\hat{p}^{f_{l,s,t}} = \frac{\hat{C}_{l,s,t}}{\sum_l \hat{C}_{l,s,t}}$$

$$\hat{p}^{c_{l,s,t}} = \frac{P_{l,a} N_{a,s,t} \psi_a^c e^{-\Delta^c Z_{a,s,t}}}{\sum_l P_{l,a} \left(N_{a,s,t} \psi_a^c e^{-\Delta^c Z_{a,s,t}} \right)}.$$

Todos los t3rminos contenidos en ambas expresiones fueron descritos previamente.

c) Modelo de los errores y funci3n de minimizaci3n.

Los modelos de los errores para los 3ndices de biomasa y desembarques tanto peruanos como chilenos asumen una distribuci3n lognormal. El estimador de verosimilitud para los 3ndices de biomasa y desembarques es descrito como:

$$-L(I_{s,t}^c) = \frac{1}{2\sigma_{I_{s,t}^c}^2} \sum_{s,t} \left(\frac{\ln \hat{I}_{s,t}^c}{\ln I_{s,t}^c} \right)^2$$

Donde, $\hat{I}_{s,t}^c$ corresponde al 3ndice predicho por la evaluaci3n descrito en el punto (b.2) para cada 3ndice de biomasa directa y desembarque, $I_{s,t}^c$ son los 3ndices estimados por el sistema de monitoreo del stock y las pesquer3as de anchoveta del Sur de Per3 y Norte de Chile descrito en la **Secci3n 2.2.1**. El par3metro $\sigma_{I_{s,t}^c}$ corresponde a la desviaci3n est3ndar del 3ndice biomasa observado y/o desembarque.

El modelo de error para la proporci3n de individuos en la captura de la flota f y abundancia de la evaluaci3n directa c , a la talla l , semestre s y tiempo t , asumen una distribuci3n multinomial. Su estimador de verosimilitud est3 dado por:

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



Donde p indica proporción y n es el tamaño de muestra efectivo para la flota f y evaluación directa, c .

La función objetivo emerge de la sumas de log-verosimilitud negativas de cada índice de biomasa directa, desembarques y proporción de individuos observados a la talla en las evaluaciones directas y capturas, más el logaritmo de las priors (π) antes mencionadas. Luego la función a minimizar corresponde a:

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

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

d) Peso estadístico de los datos en la verosimilitud total

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

Los coeficientes de variación (CV) que son asignados a los distintos índices de biomasa miden el nivel de desviación que tienen los datos respecto del valor central verdadero como parte del error de observación. El coeficiente de variación tiene relevancia en las estimaciones pues es inversamente proporcional al peso que tiene una determinada fuente de datos en la verosimilitud total. El **Cuadro 1** muestra los CV utilizados en las últimas actualizaciones de la evaluación de stock (Canales *et al.* 2014).

Cuadro 1.
Coeficientes de variación (CV) de la función objetivo para los desembarques e índices de biomasa de anchoveta.

Serie de observaciones	CV
Desembarque Chile y Perú	0.01
Biomasa desovante MPDH	0.30: 1984-1996. Variables: para período 1997-2015
Biomasa adulta Perú	0.40
Biomasa reclutas Perú	0.30
Biomasa reclutas Chile	0.30

CV consensuados en el Taller Técnico (Anexo 2, Canales *et al.* 2013)



- **Tama1o de muestra efectivo (n) para la estructura de tallas de las capturas y los cruceros.**

El **Cuadro 2** muestra el resumen de los valores de tama1os de muestra finales utilizados en la verosimilitud de la estructura de tallas de cada flota y observaci3n directa de Per3. Durante la presente actualizaci3n de la evaluaci3n del stock de anchoveta los tama1os de muestra se mantuvieron equivalentes a como se muestra en el **Cuadro 2**. Importante es recordar que esto valores fueron revisados en el Taller de Evaluaci3n de stock (Canales *et al.*, 2014) siguiendo el m3todo de Francis (2011).

Cuadro 2.

Tama1o de muestra para cada serie de estructuras de tallas de la evaluaci3n de anchoveta.

Composici3n	Periodo	Tama1o de muestra
Cruceros Per3	1984-2011	8
Capturas Flota Chilena	1984-2000;2001-2015	4.2;12.3
Capturas Flota Peruana	1984-2000;2001-2011	4.2;12.3

e) **Par3metros estimados por la Evaluaci3n**

Los par3metros resueltos por el modelo corresponden a los par3metros de la selectividad para cada de la flota, los par3metros para la selectividad de la evaluaci3n ac3stico del Per3, las desviaciones de los reclutamientos semestrales, el reclutamiento virginal R_0 y los desv3os de las abundancias iniciales, las mortalidades por pesca semestrales para cada semestre y flotas. El modelo asume que todos los 3ndices de biomasa son indicadores relativos de la biomasa del reclutamiento de Chile q_{RCH}^c y Per3 q_{RP}^c , biomasa desovante de Chile q_{MDPH}^c y biomasa adulta del Per3 q_{AP}^c , por tanto se estiman cuatro capturabilidades. Respecto del crecimiento som3tico de la anchoveta solo la tasa de crecimiento k es un par3metro a estimar. El modelo de evaluaci3n de stock de anchoveta contiene actualmente un n3mero total de 227 par3metros.

2.1.4 **Calidad de la Informaci3n**

Una de las tareas fundamentales en el proceso de evaluaci3n stock consiste en dimensionar el nivel de conocimiento del stock en estudio. Determinar el nivel de calidad de datos e informaci3n permite definir el tipo de enfoque de modelamiento que es posible usar para determinar los niveles poblacionales del stock, as3 como tambi3n definir procedimientos para el c3lculo de los puntos biol3gicos de referencia (PBR). De acuerdo con Restrepo *et al.*, (1998), la calidad de la informaci3n permite clasificar el est3ndar de una pesquer3a en tres categor3as seg3n los siguientes criterios:

Est3ndar completo ("Data-Rich"): Se pueden realizar estimaciones confiables del rendimiento m3ximo sostenido (RMS) y/o de cantidades relacionadas, as3 como de la abundancia del stock. La



evaluación puede ser sofisticada e incorporar la mayor parte de las fuentes de incertidumbre o bien una cantidad razonable de ella.

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

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

El estándar de la pesquería de anchoveta fue revisado a partir de un listado de tópicos generales y específicos, tomado desde el Anexo D “Checklist for the Stock Assessment” (NRC, 1988). Este listado fue adaptado para las pesquerías chilenas, incluyendo un total de 7 tópicos y 87 preguntas generando la “matriz de conocimiento” del recurso (Canales *et al.*, 2011). Complementariamente se considera la asignación que fue realizada en el marco del proyecto “Revisión de los puntos biológicos de referencia (Rendimiento Máximo Sostenible) en las pesquerías nacionales” realizado por IFOP (Payá *et al.*, 2014) en tres talleres de trabajo y la participación de 8 expertos internacionales.



2.2 Objetivo específico 2.

Establecer el estatus actualizado de estos recursos, sobre la base de sus principales indicadores de estado y flujo, estimando la incertidumbre de estimación involucrada, empleando el mejor conocimiento e información disponible a la fecha de ejecución del estudio, acorde con los estándares definidos por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura y recomendados por los Comités Científicos y Técnicos respectivos.

2.2.1 Puntos Biológicos de Referencia

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

- Biomasa al Rendimiento Máximo Sostenido (B_{RMS}) = 50% Biomasa virginal (B_0)
- Mortalidad por pesca F_{RMS} , corresponde aquella mortalidad por pesca que en el largo plazo produce el 55% de la biomasa desovante virginal por recluta = $F55\%BDPR_0$.

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

Se utiliza la variabilidad semestral del patrón de explotación el cual se obtiene de la suma por edad de las mortalidades por flota por semestre, normalizados al valor máximo. Para estos efectos, la $F_{rms}=F55\%BDPR$ se calcula como la mediana histórica dada la variabilidad semestral de la selectividad y corresponde cuando la BDPR virginal se ha reducido al 55%.

2.2.2 Estatus del stock anchoveta Sur de Perú y Norte de Chile

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



De esta forma se tiene que el stock de anchoveta Sur de Perú y Norte de Chile puede estar en condición de:

- i. **Sobre-explotado**, si la razón de la biomasa desovante del último año (BD) y la biomasa desovante objetivo (objetivo=MRS) es inferior a 1 ($BD/BD_{RMS} < 1$).
- ii. **Plena explotación**, si la razón BD/BD_{RMS} se encuentra entre los límites superior e inferior de la plena explotación.
- iii. **Sub-explotación**, si la razón BD/BD_{RMS} del último año es mayor a 1 ($BD/BD_{RMS} > 1$).
- iv. **Sobrepesca**, si la razón F/F_{RMS} del último año es mayor a 1 ($F/F_{RMS} > 1$).

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



3. RESULTADOS

3.1 Objetivo espec3fico 1.

Implementar procedimientos de evaluaci3n de stock basados en protocolos cient3ficos 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.

3.1.1 Informaci3n y Datos de Entrada a la Evaluaci3n

a) Desembarques

La historia de la pesquer3a del stock de anchoveta compartido entre Per3 y Chile, comienza con el incremento del desembarque desde el a3o 1984 al 1994 (**Figura 1**), los m3s altos desembarques se presentan entre los a3os 1994 al 2002. Desde el a3o 2004 al primer semestre 2013 estos muestran una tendencia de descenso con m3ximo relativos. El desembarque por pa3 muestra un cambio de dominancia. Entre los a3os 1984 al 2004 se puede se3alar que el mayor desembarque fue realizado en Chile. Sin embargo, entre el 2005 al 2009 los mayores desembarques se realizaron en Per3. Entre las causas probables de la dominancia peruana del desembarque se encuentra el aumento del esfuerzo de pesca en la pesquer3a del sur del Per3 debido a la mayor disponibilidad de anchoveta en el sur del Per3 seg3n lo informado por IMARPE en el 12º taller de evaluaci3n conjunta de IFOP e IMARPE, 2008 (Serra y Canales 2013). Desde el a3o 2010 el desembarque chileno ha dominado el desembarque total del stock anchoveta. Se postula que el incremento del desembarque chileno en el a3o 2011 habr3a estado asociado a un desplazamiento de la anchoveta del sur de Per3 hacia el norte de Chile evidenci3ndose un incremento del desembarque particularmente en la zona de Arica (B3hm *et al.*, 2013).

En promedio las capturas de Chile han alcanzado el 60% de los desembarques totales Chile-Per3, de las cuales el 56% se han realizado durante el primer semestre. De igual modo, las capturas Peruanas se concentran en un 73% durante el primer semestre (**Tabla 1**).

De acuerdo a las estad3sticas oficiales (SUBPESCA), el primer y segundo semestre del 2014 se capturaron en Chile 375,1 mil y 354,2 mil toneladas, respectivamente. Por su parte, en el sur del Per3 y de acuerdo a lo informado en Oficio PRODUCE 100-59-2015, el desembarque acumulado de enero a octubre hab3a sido de 336,7 mil toneladas, de las cuales solo 25,7 mil toneladas fueron capturadas en el segundo semestre. Si se considera adem3s que producto de este oficio la captura de anchoveta fue prohibida en la zona sur del Per3 en noviembre y diciembre 2014 debido a la gran presencia de reclutas, se deduce entonces que la captura en esta regi3n pudo haber alcanzado 327 mil toneladas durante el primer semestre del 2014. De esta forma, el desembarque total 2014 se estima en 1,08 millones de toneladas (**Tabla 1**) el cual se traduce una alza del 13% respecto del a3o



2013, y se explicaría principalmente porque el desembarque chileno aumentó en un 300%, en tanto que el peruano varió negativamente en un 48%. Para el año en curso se espera que la captura Chilena y Peruana alcancen en conjunto 1,19 millones de toneladas, esto si la captura esperada de 633 mil t es lograda por la flota Chilena.

Tabla 1. Desembarques de la anchoveta stock 16°LS – 24°LS 1984-2015.

Año	Total		Semestral Chile		Semestral Peru	
	Chile	Peru	1er sem	2do sem	1er sem	2do sem
1984	0	22	0	0	12	11
1985	52	147	52	0	37	110
1986	1249	312	321	928	229	83
1987	179	246	149	30	106	140
1988	769	286	324	445	180	106
1989	1264	463	704	560	363	100
1990	573	180	359	214	173	7
1991	563	378	460	103	336	41
1992	954	873	668	286	400	473
1993	1056	631	504	553	460	172
1994	1945	849	1045	900	641	209
1995	1482	972	1120	362	905	67
1996	840	184	500	340	132	52
1997	1317	1081	1005	313	876	204
1998	133	297	110	23	284	13
1999	809	539	492	317	394	145
2000	1154	484	543	611	478	6
2001	640	361	424	216	348	13
2002	1216	1342	521	695	812	530
2003	418	194	336	82	182	12
2004	1394	883	782	612	552	331
2005	1008	1038	504	504	994	44
2006	513	820	268	245	686	134
2007	745	943	406	339	786	158
2008	648	847	442	207	618	229
2009	440	541	252	188	273	269
2010	435	291	284	151	274	17
2011	958	547	635	323	264	283
2012	710	273	238	472	216	57
2013	691	246	218	473	39	207
2014	729	353	375	354	327	26
2015*	633	564	215	418	255	309
Promedio	797	537	445	352	395	142

* cifras preliminares

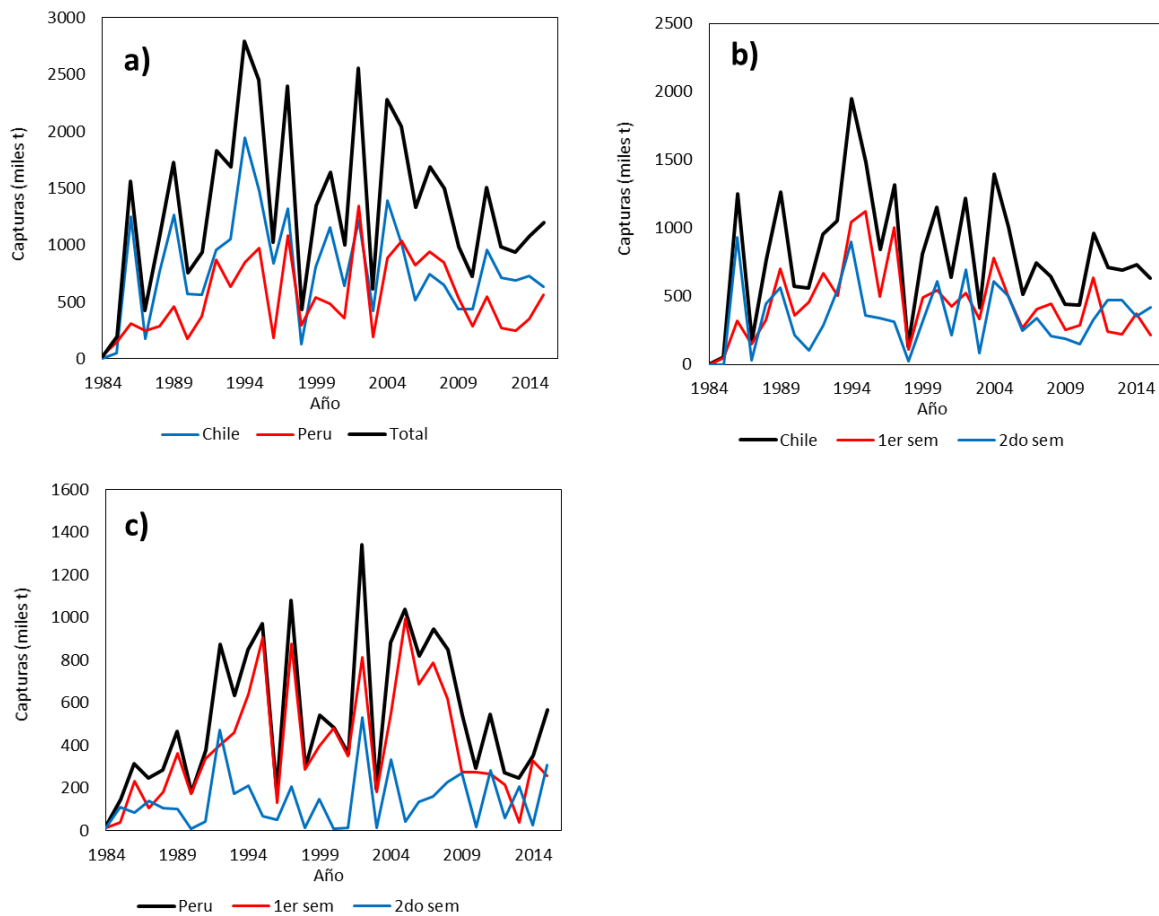


Figura 1. Desembarques anuales y semestrales chilenos, peruanos y totales del stock de anchoveta distribuido entre 16°LS - 24°LS (1984 - 2015)

b) Composición de longitud de la captura y cruceros

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

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



Los COLOCAP de ambas pesquerías se suman para obtener el total por semestre. Para la pesquería chilena cubren el período comprendido entre el primer semestre de 1984 y el primer semestre 2015 y para la peruana solo hasta el primer semestre del 2011. Los COLOCAP semestrales de ambas pesquerías muestran diferencias, capturándose en general ejemplares de menor talla en la pesquería peruana, según puede apreciarse en la **Figura 2 y 3** siendo esto más evidente desde el 2002. Se observa que en algunos de los años anteriores al 2002 se capturaron ejemplares de menor talla en el norte de Chile, comparado con el sur del Perú, y en otros la composición de tallas es similar. Sin embargo, desde el 2002 al 2011 de manera sistemática se capturaron ejemplares más pequeños en la pesquería peruana. Estas diferencias justifican el uso de un modelo que discrimine por flotas. La proporción de individuos capturados por intervalo de tallas se muestra en la **Figura 2**.

c) Pesos y madurez a la talla

Se utiliza una sola relación longitud-peso para toda la serie de años. Esta se obtuvo como promedio para el período 1984-2010 y considera toda el área de distribución del stock. Los coeficientes de la relación son: $a = 0.00625$ y $b = 3.02561$. En cuanto a la madurez, se utiliza la ojiva a la talla obtenida por Martínez *et al.* (2009), cuya talla media de madurez corresponde a 11.5 cm en longitud total. La función de proporción de individuos maduros a la talla se muestra se encuentran contenidas en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Proporción de hembras maduras a la talla del stock de anchoveta norte (Oliva *et al.* 2011).

Talla (cm)	<8.5	9	9.5	10	11	11	12	12	13	13	14	14	>14.5
Proporción	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0

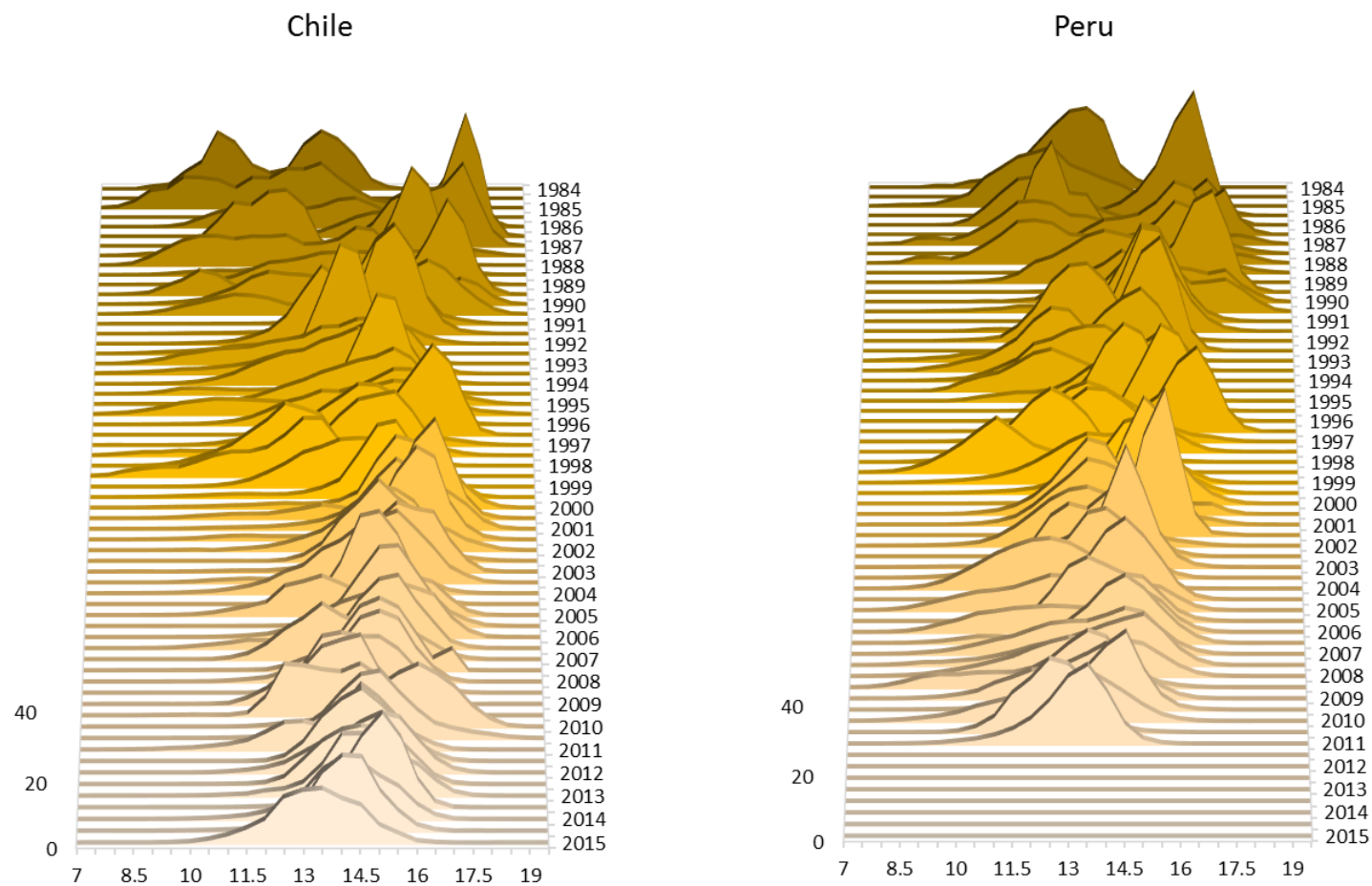


Figura 2. Proporción por tallas de las capturas semestrales en las pesquerías de anchoveta del norte de Chile y sur de Perú (1984 – 2015).

d) Mortalidad natural

Se utilizó un valor de $M=1.0$ (año⁻¹) para la tasa de mortalidad natural (M), valor usado como constante para todas las edades y años. El valor fue revisado por Serra *et al.* (2001) y para cada semestre se utilizó el valor de $M=0.5$ (semestre⁻¹).

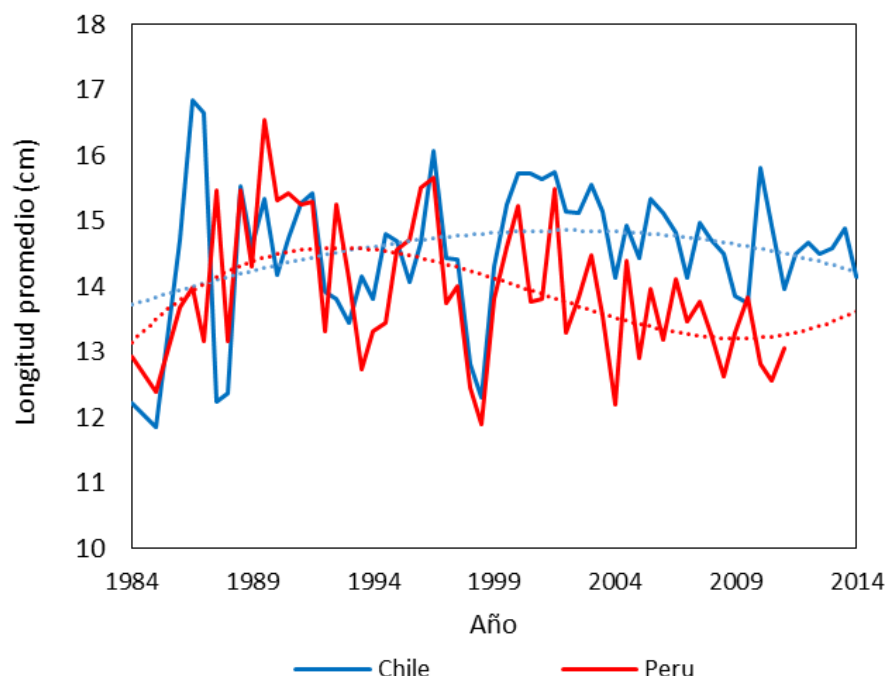


Figura 3. Longitud promedio de las capturas semestrales en las pesquerías de anchoveta del norte de Chile (azul) y sur de Perú (rojo) (1984 – 2014)

En enero 2015, el IMARPE reportó en la zona sur del Perú una biomasa total de 607 mil toneladas, de las cuales el 94% estaba compuesta por biomasa de reclutas (Oficio PRODUCE 100-556-2014). Asimismo, poco antes y en diciembre del 2014 IFOP había registrado una biomasa de 420 mil toneladas cuya incidencia de reclutas alcanzaba el 60% en peso. De esta forma, para efectos de la evaluación de stock se consideran además de la biomasa total del sur del Perú, como índices de reclutamiento 570 mil toneladas en el sur del Perú y 252 mil toneladas en el norte Chile. Además de lo anterior, la serie de biomasa acústicas del Perú fue complementada con las estimaciones de los años 2012 y 2013 (**Tabla 3**).



e) Crecimiento

Como se mencionó en el informe de Serra y Canales (2013) los resultados del proyecto FIP 2009-17 “Revisión de la asignación por grupo de edad en la anchoveta de la zona norte” produjeron alta incertidumbre en la determinación de la edad y crecimiento de la anchoveta. Los resultados del estudio sugieren un crecimiento mucho más rápido en la etapa juvenil provocando fuertes dudas sobre la determinación de edad leyendo la macro-estructura de los otolitos con los criterios de interpretación existentes. Estos resultados sugieren una dinámica mucho más rápida que la establecida para las especies de *Engraulis* de otros ecosistema de surgencia de borde oriental tales como Butler (1989), Waldron *et al.* (1989 y 1992), Melo (1984) y Prosch (1986), además de lo establecido anteriormente en Chile. Los resultados encontrados motivaron la ejecución de un nuevo proyecto para dilucidar algunas dudas sobre los resultados.

Cuadro 3.

Parámetros de crecimiento de anchoveta sur del Perú- Norte de Chile (XV-II Regiones).

References	L_{inf} (cm)	k (y^{-1})	t_0 (y)	Method	Growth Model
Aguayo 1976	19.04	0.73	-0.65	Macro-ring	VB
Cubillos 1991	20.25	0.88		ELEFAN	SVB
Plaza et al 2012	22.00	1.09	-0.20	Micro-ring	SVB
Plaza et al 2012	19.31	1.33	-0.28	Micro-ring	VB
Serra et al 2012	20.43	0.66	-0.02	Micro-ring	SVB

Cabe agregar que tanto la anchoveta de sistema de surgencia de borde oriental como California (*E. mordax*) como la de Sudáfrica (*E. capensis*) alcanzan su madurez al año de edad con una talla alrededor de 11 cm Lt, talla similar a la que la anchoveta del norte de Chile alcanza su primera madurez (11.5 cm Lt) lo que también contribuye a generar dudas. Para cerrar la problemática se ha propuesto el desarrollo de un proyecto destinado a la Revisión Experta de la edad de anchoveta stock sur de Perú-Norte de Chile. A la espera se esclarezca el crecimiento de este recurso, para fines del modelo de evaluación se consideraron como referentes los parámetros basados en Serra *et al.*, (2012)

Loo	K (/sem)	Lo	a_{σ}	b_{σ}
20.43	0.33	6.64	1.03	1.0 E-5

Donde k está en escala semestral, Lo es la longitud a los 6 meses de vida, a_{σ} y b_{σ} son los parámetros intercepto y pendiente del modelo lineal de la desviación estándar de la longitud a la edad antes explicado.

**f) Indicadores de abundancia independientes de la pesquería**

Las estimaciones actualizadas de biomasa desovante al 2015 y disponible para la evaluación de stock se entregan en la **Tabla 3**. Para propósitos de la evaluación de stock, el índice de biomasa desovante estimada utilizada en este análisis corresponde a la serie recalculada con el método “multinomial” (Serra y Canales, 2010) dado que presenta una mayor objetividad en la datación de los estadios de desarrollo de los huevos. Entre agosto y septiembre del 2014 se realizó el crucero de Método de Producción de Huevos (MDPH) y cuya estimación de biomasa desovante en base al estimador multinomial alcanzó un valor de 437 mil toneladas.

Los índices provenientes de las evaluaciones hidroacústicas incluyen: i) la biomasa total de Perú y biomasa reclutas estimada en el sur del Perú realizados durante los veranos de 1998 al 2011 y la biomasa de reclutas para el norte de Chile (Castillo *et al.*, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014) (**Tabla 3**). Los cruceros peruanos fueron realizados entre febrero-marzo en Perú, con la excepción del 2009 que fue realizado a comienzos de abril. Para el sur del Perú se incluye también la estructura de tamaños disponible de la biomasa total estimada para los años 2002 al 2007 (**Figura 2 y 3**).

Tabla 3.
Índices de abundancia relativa de anchoveta norte de Chile – Sur del Perú.

Año	MDPH (miles t)	CV (%)	Cruceros acústicos		
			Total Perú (miles t)	Reclutas Perú (miles t)	Reclutas Chile (miles t)
1992	281	-	-	-	-
1993	-	-	-	-	-
1994	-	-	-	-	-
1995	218	-	-	-	-
1996	228	-	-	-	-
1997	424	32	-	-	310
1998	-	-	-	398	115
1999	752	63	251	-	222
2000	737	29	381	-	77
2001	194	142	136	-	157
2002	1283	23	1478	471	175
2003	477	57	491	354	-
2004	757	41	1019	517	-
2005	977	35	2176	443	-
2006	819	38	401	108	-
2007	173	71	569	164	25
2008	141	69	1063	222	140
2009	216	30	500	88	19
2010	-	-	1270	838	50
2011	674	27	600	57	167
2012	427	32	250	-	7
2013	551	54	200	-	9
2014	438	68	-	-	5
2015	-	-	607	570	252



El **Cuadro 4** muestra un resumen de la temporalidad de las evaluaciones directas llevadas a cabo en el Norte de Chile. Anterior al a1o 2007 los cruceros se realizaban en distintos meses, ya que el criterio era muestrear el reclutamiento m1ximo basado en el desove m1ximo. Este criterio se cambi3 desde el a1o 2008 en adelante manteniendo una temporada fija para el crucero de reclutamiento cada a1o. La estructura de tallas de las captura de los cruceros de reclutamiento de anchoveta hasta mayo 2013 no se encontraba disponible, sin embargo durante el Taller de Evaluaci3n de Stock Anchoveta realizado en junio del 2013 se discuti3 su incorporaci3n. Se concluy3 que debido a la alta variabilidad (ausencia de un patr3n constante entre a1os) que estas presentaban se opt3 por dejarlas fuera de la evaluaci3n de stock pero no as1 su biomasa limit1ndose al estimado de biomasa a aquellos individuos cuya talla es menor o igual a la talla media de madurez sexual (Canales *et al.* 2013).

Cuadro 4.

Per3odo de realizaci3n de los cruceros hidroac1sticos de anchoveta de la zona Norte de Chile.

(*) Biomasa ac1stica corregida por el sesgo de orilla.

Nombre crucero ac1stico	a1o	Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
RECLAN9601	1996									x	x	x					
RECLAN9611	1997			x	x	x											
RECLAN9801	1998									x	x	x					
RECLAN9811	1999				x	x	x										
RECLAN0001	2000									x	x	x					
RECLAN0012	2001					x	x	x									
RECLAN0111 (*)	2002				x	x	x										
RECLAN0702	2007													x	x	x	
RECLAN0712	2008																
RECLAN0812	2009					x	x	x									
RECLAN0912	2010					x	x	x									
RECLAN1012 (*)	2011				x	x	x	x									
RECLAN1112	2012				x	x	x	x									
RECLAN1212 (*)	2013				x	x	x	x									
RECLAN1312	2014				x	x	x	x									

La **Figura 4** muestra los 1ndices utilizados en la actual evaluaci3n de stock a enero 2015 manteniendo presentes las modificaciones introducidas al a1o 2013 (Canales *et al.*, 2014). En el caso de la Biomasa ac1stica Peruana el 1ndice representa la fracci3n vulnerable de anchoveta seg1n la informaci3n de sus respectivas composiciones de tallas, mientras que en los casos del 1ndice de Reclutas de Chile y Per1 solo se considera los ejemplares bajo la talla de primera madurez. Importante es destacar que en el caso de la biomasa de reclutas tanto en Chile como en el Per1, las biombras estimadas en el verano del 2015 han sido las m1s altas de los 1ltimos a1os.

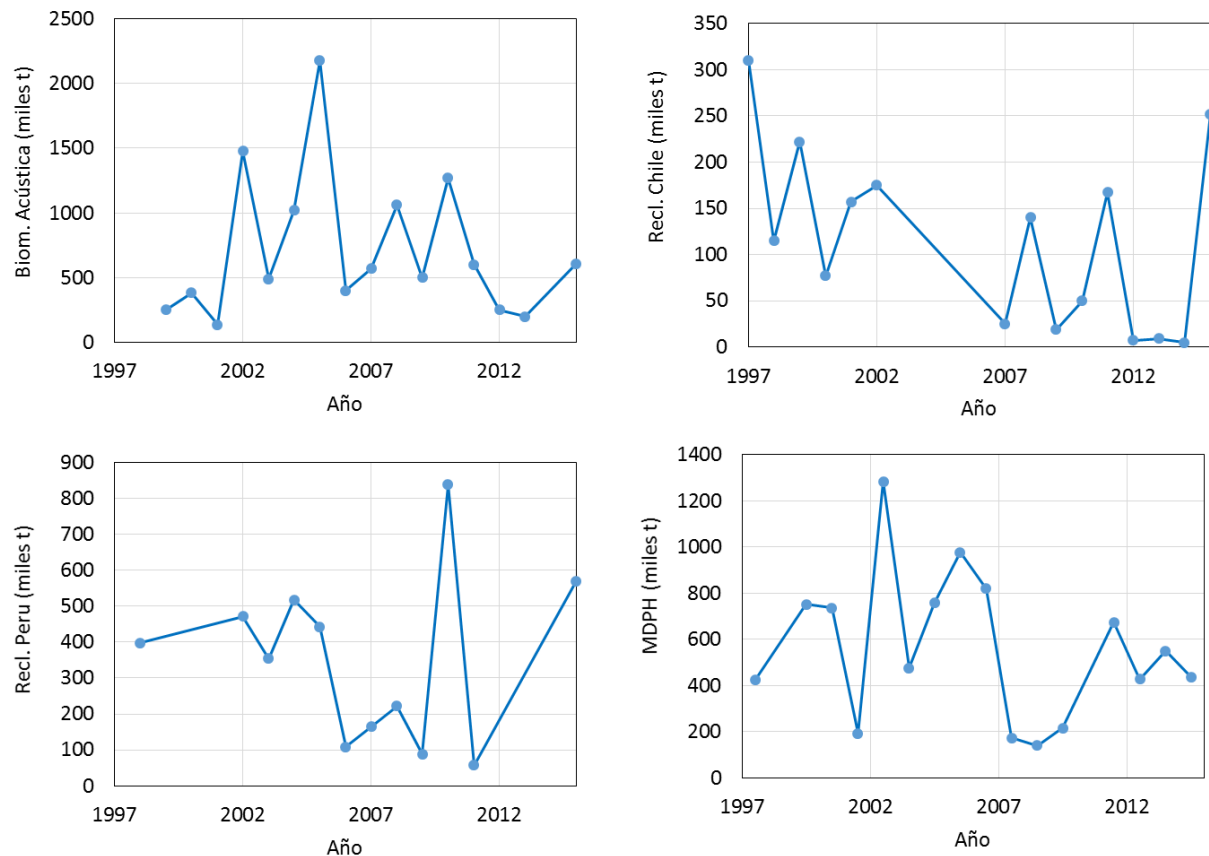


Figura 4. Índices considerados en la evaluación del stock de anchoveta Sur de Perú y Norte de Chile a Enero de 2015. Las líneas segmentadas representan la tendencia polinomial

g) Calidad de la información

El estándar de la pesquería de anchoveta fue nuevamente analizado a partir “Checklist for the Stock Assessment” (NRC, 1988) modificado para las pesquerías chilenas, incluyendo un total de 7 tópicos y 87 preguntas genera la “matriz de conocimiento” del recurso (Canales *et al.*, 2011). Cabe señalar que esta evaluación de la matriz de conocimiento, se llevó a cabo en el año 2011 (Canales *et al.*, 2011) calificando a la pesquería de anchoveta como de estándar medio.

El **Cuadro 5** muestra un resumen de la actual evaluación la cual continua indicando que la pesquería de anchoveta de la XV y II regiones es de Estándar medio. Los tópicos que cuentan con mayor conocimiento son Datos y Parámetros, seguidos por la Definición del Stock y Modelo de Evaluación. Los tópicos con más bajo conocimiento se refieren a la información biológica, bondad de ajuste e información auxiliar (ambiente).

**Cuadro 5.**

Evaluaci3n de la Matriz de Conocimiento de la pesquería de anchoveta XV y II regiones. (Numerador corresponde a la suma de la evaluaci3n de cada ítem dentro del t3pico. Denominador corresponde a la suma de todos los ítems dentro de un t3pico si existiera un conocimiento satisfactorio de cada uno de ellos).

T3pico	Puntaje	%
Definici3n del Stock	8/15	0.18
Datos y Parámetros	26/48	0.19
Informaci3n Biol3gica	26/75	0.12
Modelo de Evaluaci3n	9/18	0.17
Formulaci3n Estadística	20/39	0.18
Bondad de Ajuste	6/15	0.14
Informaci3n Auxiliar	0/3	0.00
Total	96/213	

Más recientemente, el panel de expertos contratados en el desarrollo del proyecto “Revisi3n de los puntos biol3gicos de referencia (Rendimiento M3ximo Sostenible) en las pesquerías nacionales” (Payá *et al*, 2014), la anchoveta XV-II Regiones fue calificada en el Tier 1b el cual significa que habiendo informaci3n suficiente para la evaluaci3n analítica, el conocimiento sobre el nivel de resiliencia es aún insuficiente y por ende el criterio RMS est3 basado en proxies.

3.1.1 Evaluaci3n del Stock

La evaluaci3n de stock de la anchoveta sur del Perú-norte de Chile fue realizada bajo condiciones de incertidumbre estructural basada esencialmente en los supuestos que pueden llegar a condicionar el estado de explotaci3n. El escenario base (S1) estuvo condicionado al supuesto de crecimiento conocido antes informado mientras que el análisis de sensibilidad se refiri3 a cambios de productividad determinados por valores de “steepness” (h), variabilidad del reclutamiento (σ_R) y mortalidad natural. Se incluy3 tambi3n un escenario para la estimaci3n de los parámetros de crecimiento (S2) y otro para evaluar cambios en los tamaños de muestra en el ajuste de las composiciones de tallas de las capturas(S8) conforme al estimador de Gavaris y Ianelli (2001) (**Tabla 4**). Por su parte, el escenario S9 incorpora el estado que la cuota de Chile y Perú no sean alcanzadas por cuestiones asociadas al desarrollo del evento “El Niño”, para lo cual se castiga en un 30% la captura esperada para el segundo semestre 2015.



Tabla 4. Detalle de los casos de análisis de incertidumbre estructural analizados en la evaluación de stock de anchoveta en la zona Sur del Perú-XV-II Regiones.

Caso	Detalle
S1	Crecimiento conocido, $h=0.95$
S2	k , L_0 , σ_{edad} estimados,
S3	$S1 + h=0.75$
S4	$S1 + h=0.50$
S5	$S1 + \sigma_R=1.0$
S6	$S1 + \sigma_R=0.8$
S7	$S2 + M=1.0$
S8	$S1+nm$ calculados
S9	$S1+70\%$ Capt. 2do sem 2015

a) Ajuste del modelo de evaluación de stock (Caso base S1)

Con el objeto de minimizar la correlación en los desvíos en las proporciones de captura a la talla, se consideraron 5 bloques de selectividad en la flota Chilena los años 1984-1997; 1998-2000; 2001; 2002-2009 y 2010-2015, mientras que en la flota Peruana los cambios de selectividad consideraron 5 períodos 1984-1989.5; 1990-1993; 1993.5-1994; 1995-2003; 2003.5-2015 (**Figura 5**).

En este caso como referencia S1, el ajuste del modelo a los índices de abundancia se observan en general adecuado reproduciendo las principales tendencias y en menor magnitud, la variabilidad de la información. En este sentido se destaca principalmente los índices de reclutamiento y MPH, y en menor calidad el ajuste de la biomasa acústica total del Perú. Cabe mencionar la notable recuperación del indicador de reclutamiento en enero 2015, la que además se corrobora con la estimación acústica de la biomasa total en el sur del Perú (**Figura 6**). Respecto al ajuste de las estructuras de tallas resumidas en la talla promedio semestral (**Figura 7**) se destaca por una parte, el buen desempeño del modelo a la información de las flotas y en menor magnitud a las longitudes promedio de los cruceros acústicos del Perú cuyo mayor detalle es entregado en las **Figuras 8 -13**. Se destaca en general que el modelo mejora a partir de la década de los 90's producto de la variabilidad impuesta en el patrón de explotación. La variabilidad en el patrón de explotación permite entre otros, facilitar un mejor ajuste a los índices de abundancia cuando existe consistencia entre las distintas piezas de información y el desempeño de los residuales normalizados corrobora de cierta forma lo anterior (**Figura 14**).

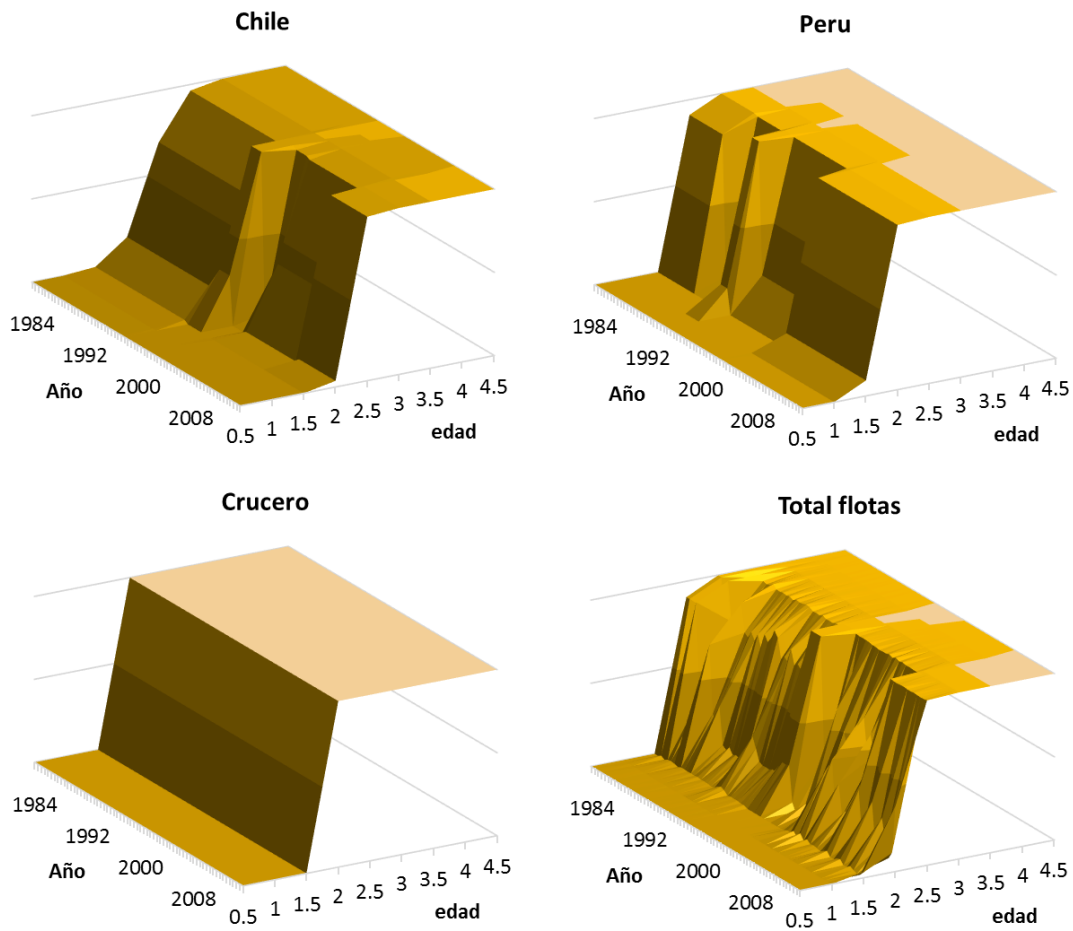


Figura 5. Bloques de selectividades por edades y año para la flota Chilena, Peruana y Crucero acústico de adultos en la evaluación de stock de anchoveta en la zona Sur del Perú-Norte de Chile (XV-II Regiones) (Caso 1).

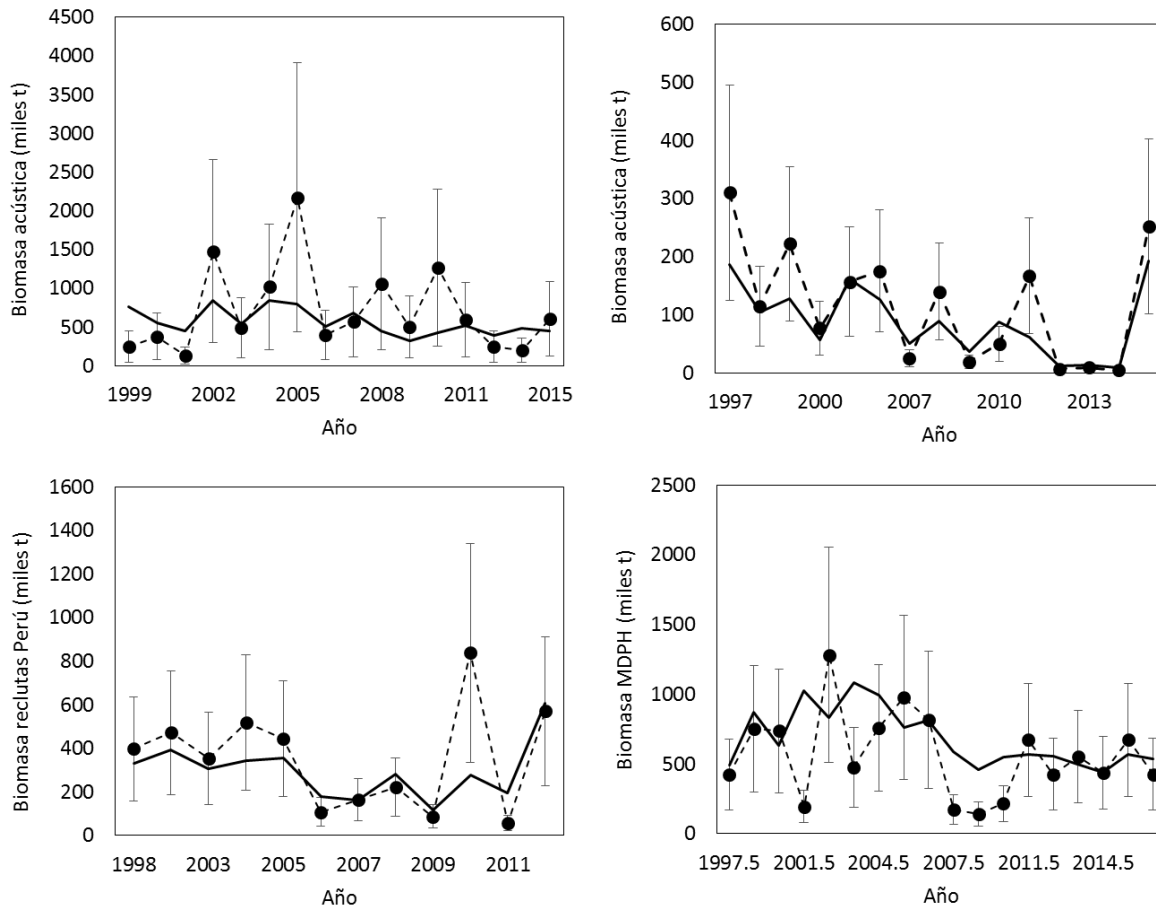


Figura 6. Ajuste del modelo de evaluación de stock de anchoveta (Caso 1) de la zona Sur del Perú-XV-II Regiones a: cruceros acústicos de la fracción adulta del Perú (arriba), cruceros de reclutas en Chile y Perú (<11.5 cm) y cruceros de huevos y larvas MDPH. Las líneas de error entregan los intervalos de confianza al 95%. La línea continua es el modelo y los puntos con líneas segmentadas representan los datos.



Tabla 5. Parámetros del modelo semestral de anchoveta zona Sur del Perú-XV-II Regiones para el caso 1.
En este caso los parámetros de crecimiento fueron supuesto conocidos.

```
# Number of parameters = 227 Objective function value = 2555.87 Maximum gradient component =
0.000413014
# log_A50f_ch:
0.849415 0.725043 1.00079 0.939940 0.797549
# log_rangof_ch:
-0.521148 -1.53337 -1.60051 -0.991588 -1.61981
# log_A50f_pe:
0.637887 0.780397 0.480327 0.741329 0.512070
# log_rangof_pe:
-1.98189 -1.60842 -1.61474 -1.54933 -1.52300
# log_A50c:
0.564761
# log_rangoc:
-3.39597
# log_Ro:
5.71043605711
# dev_log_Ro:
-1.39730875520 0.734031172890 -0.203214244774 -0.133893441699 0.137870268959 1.13905273606
0.0909699425960 -0.230754199515 -0.169713544463 -0.0305974260806 0.170084826822 -0.426694319021 -
0.157587406904 0.560415374264 0.100105176151 0.413213245292 0.772096693270 1.30923948640
0.493518945133 0.908933989454 0.138385886694 -0.230704842130 0.0412094792264 0.0887265674410 -
0.869269958899 -0.353655394333 0.987213994266 -0.0161799081681 0.355754401619 -0.191232490134
0.545738890544 -0.439137032961 -0.145847984383 0.912107444356 0.282793780820 -0.563809023420
0.418362754095 0.782261933313 0.273163385840 0.491873812810 0.291808053292 -0.297325060475
0.407443284290 0.253578679404 -0.683682750069 0.0995276314433 -0.723534101009 0.367336555399 -
0.159409274103 -0.393891355361 -1.05328801768 0.315554715568 0.0945046112370 -0.346026105921 -
0.416369597910 0.144532040508 -1.86407031617 0.0137605822932 -1.80689773045 0.666394540252 -
2.31281990152 0.000498541769735 0.814714933393 0.000135825589600
# dev_log_No:
1.64144073255 0.807766267998 -3.13771474171 -0.695728345262 -0.0235136187365 -0.000352917313117 -
4.44082674456e-006 -5.02386647838e-008
# log_Ft_ch:
-3.83211968730 -9.02439691675 -1.99757188228 -11.2752115850 -0.983983945628 0.141077251701 -
1.55926282166 -3.43396090735 -1.41852634198 -1.47571613138 -0.861278180896 -0.652391251758 -
0.845374539589 -1.44986392155 -0.658287893009 -2.04276788914 -0.0766260377066 -0.937200380277 -
0.268462303221 -0.469334079304 -0.205982467520 -0.572207218448 -0.0562377220278 -1.16484159965 -
0.871767076325 -1.13217108579 0.884846370161 0.739827539617 -0.538307979881 -3.62541396395 -
1.22655665946 -1.54617415661 0.289695780976 1.38999996067 1.11757463442 -0.772725436063
0.337347575854 0.631420018906 -0.248038718465 -1.87678350942 0.335417638793 0.00460482771177 -
0.0308982639590 0.303812101431 -0.455980929517 -0.391411083867 0.0824030470868 0.0322140791423
1.26827579751 0.942375001378 1.38999998803 -0.139459696888 -0.555353827476 -1.09569275635
1.389999960766 -0.200356487420 -0.755325365999 0.274168050908 -0.601726664836 -0.158586875980
1.38999999186 1.21571160721 1.02387461748 -0.252340207864
# log_Ft_pe:
1.38999999556 -3.58587523631 -3.47834820437 -2.34486077723 -2.09281309546 -2.83259630028 -
2.48355595305 -2.47116843020 -2.88856471515 -3.36587136716 -1.82858477873 -2.41117674828 -
1.62712423739 -4.93320134157 -1.09219787286 -3.00468692941 -0.549824093453 -0.564234571686 -
0.345632865578 -2.77803620237 -1.76844184233 -2.74700225730 -0.448460108427 -3.11718450836 -
2.36369935466 -3.15844268471 0.561611339194 0.0732135702313 0.625605659088 -3.94821979754 -
1.40980794090 -2.26635475694 -0.881701255716 -4.91554190724 -1.15698251028 -4.33921637263 -
0.0979032147312 -0.665603176436 -1.57909614447 -5.12175082095 -1.53378573243 -1.87793021547 -
0.626476089244 -3.63773820650 -0.660811233483 -2.50521608262 -0.657085272894 -1.82311512709 -
0.260813698218 -0.920223205532 -1.37618614150 -1.42966386519 -1.21934047191 -3.84780078031 -
1.38772492643 -1.38210466717 -1.53370232307 -2.74394903216 -3.43596143775 -1.26228165959 -
0.660692281785 -2.60955866485 -1.61836048442 -0.778508163808
# log_qacus:
-1.42391561650
# log_qrch:
-2.45782514964
# log_qrpe:
-1.28570553636
# log_qmph:
-0.818722534190
```

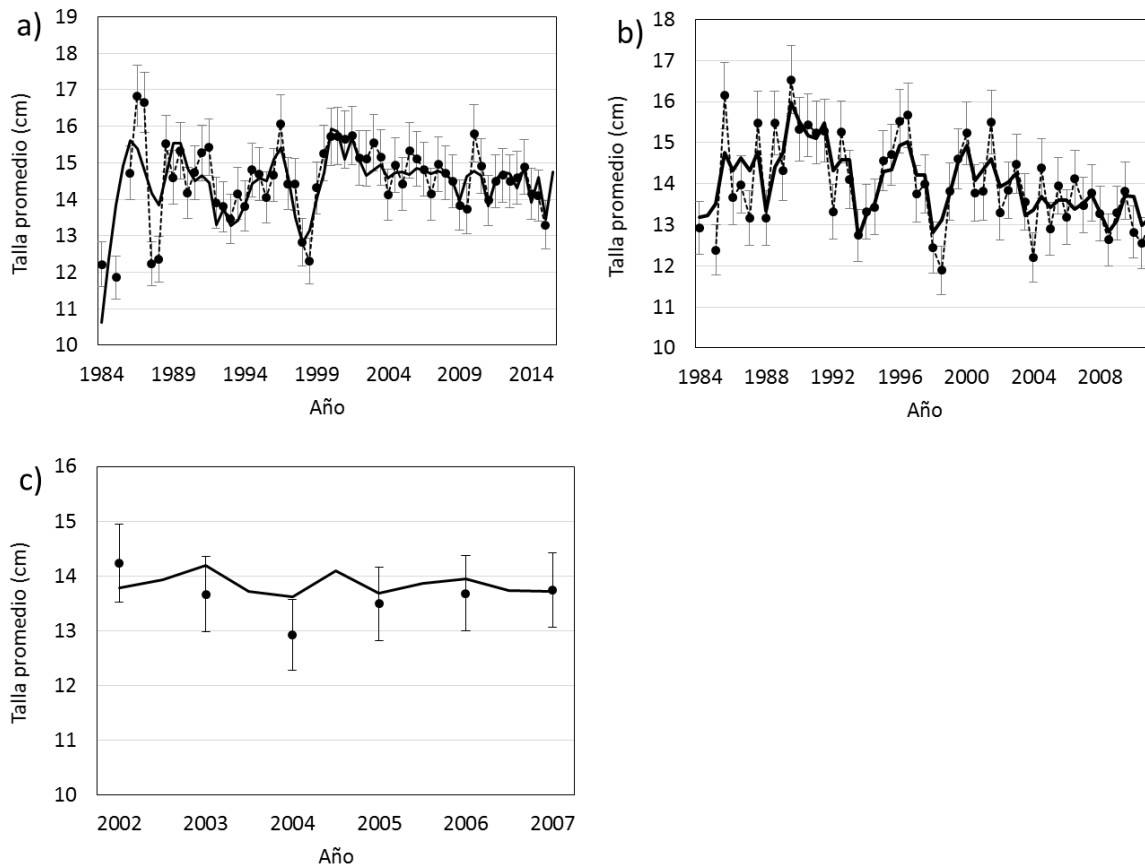


Figura 7. Longitud promedio ajustada (línea negra continua) y observada (círculos negros) de las composiciones de tallas de anchoveta (Caso 1) de la zona Sur del Perú-XV-II Regiones: a) flota Chilena, b) flota Peruana y c) Cruceros acústicos del Perú. Las líneas de error entregan los intervalos de confianza al 95%.

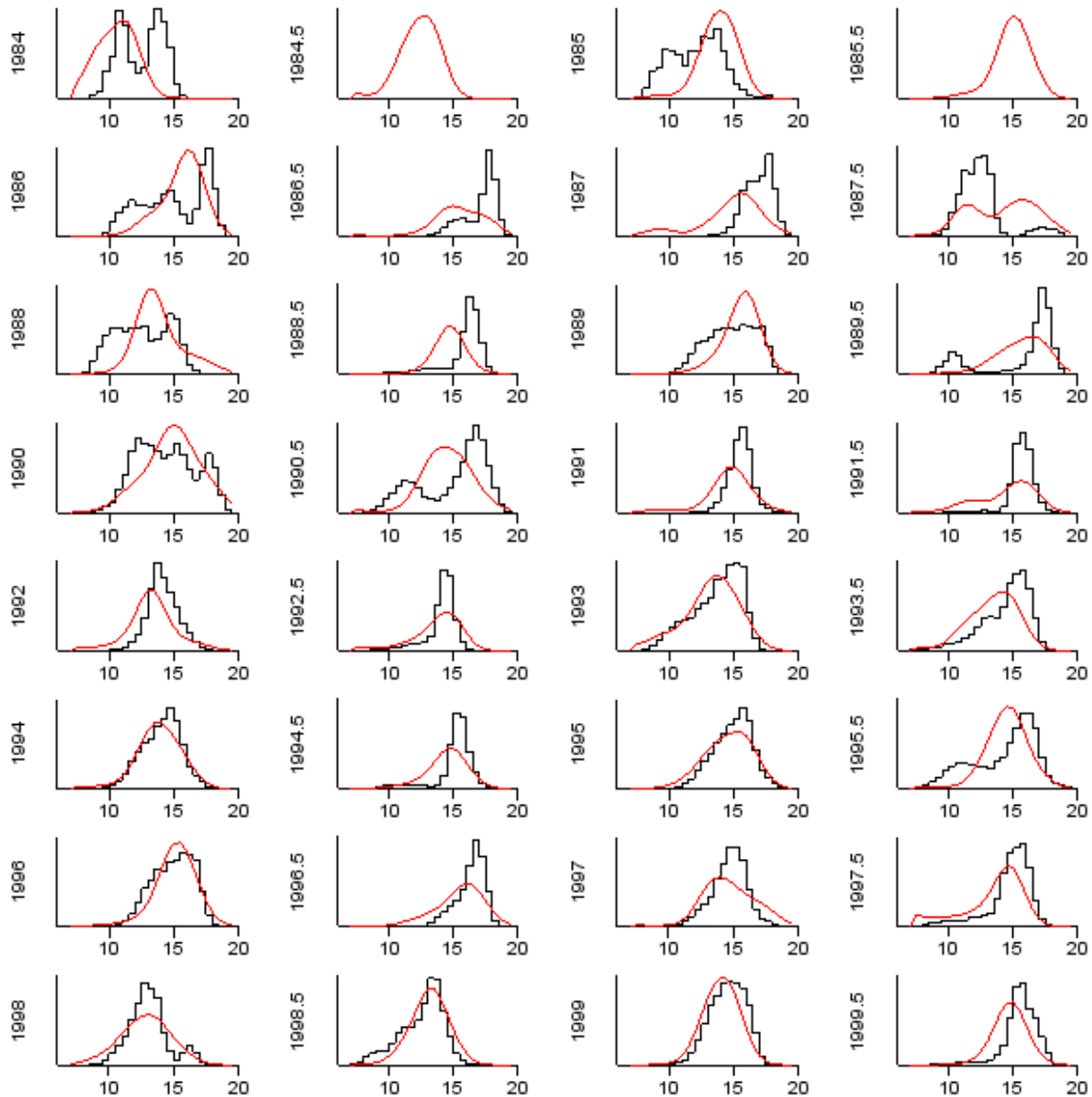


Figura 8. Ajuste del modelo a la información de composiciones de tallas de las capturas de anchoveta de la flota Chilena (Caso 1) en la zona Sur del Perú-XV-II Regiones. 1984-1999.5 (2 semestre). Las barras representan las barras y las líneas el modelo

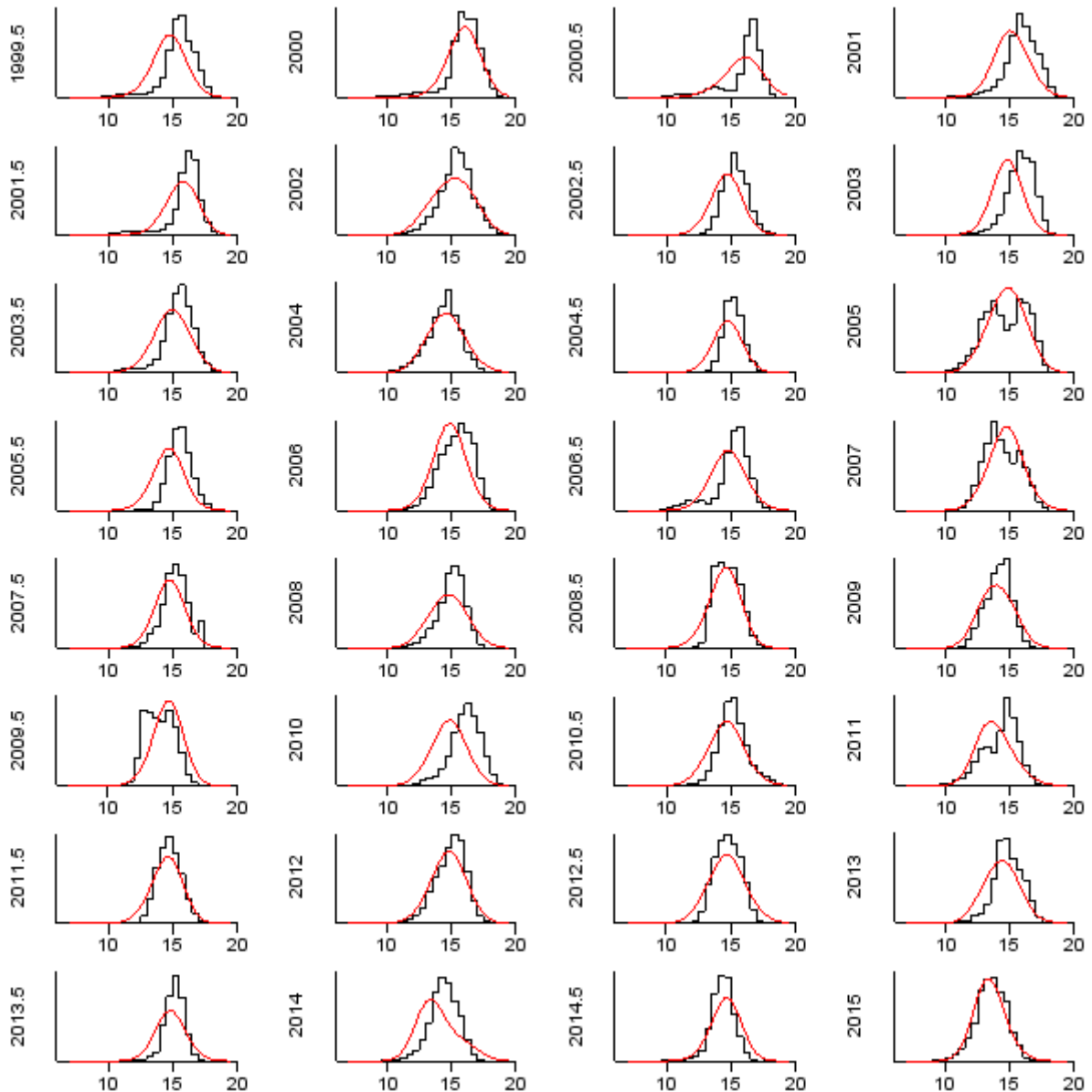


Figura 9. Ajuste del modelo a la información de composiciones de tallas de las capturas de anchoveta de la flota Chilena (Caso 1) en la zona Sur del Perú-XV-II Regiones. (Caso 1). 2000-2014. Las barras representan las barras y las líneas el modelo

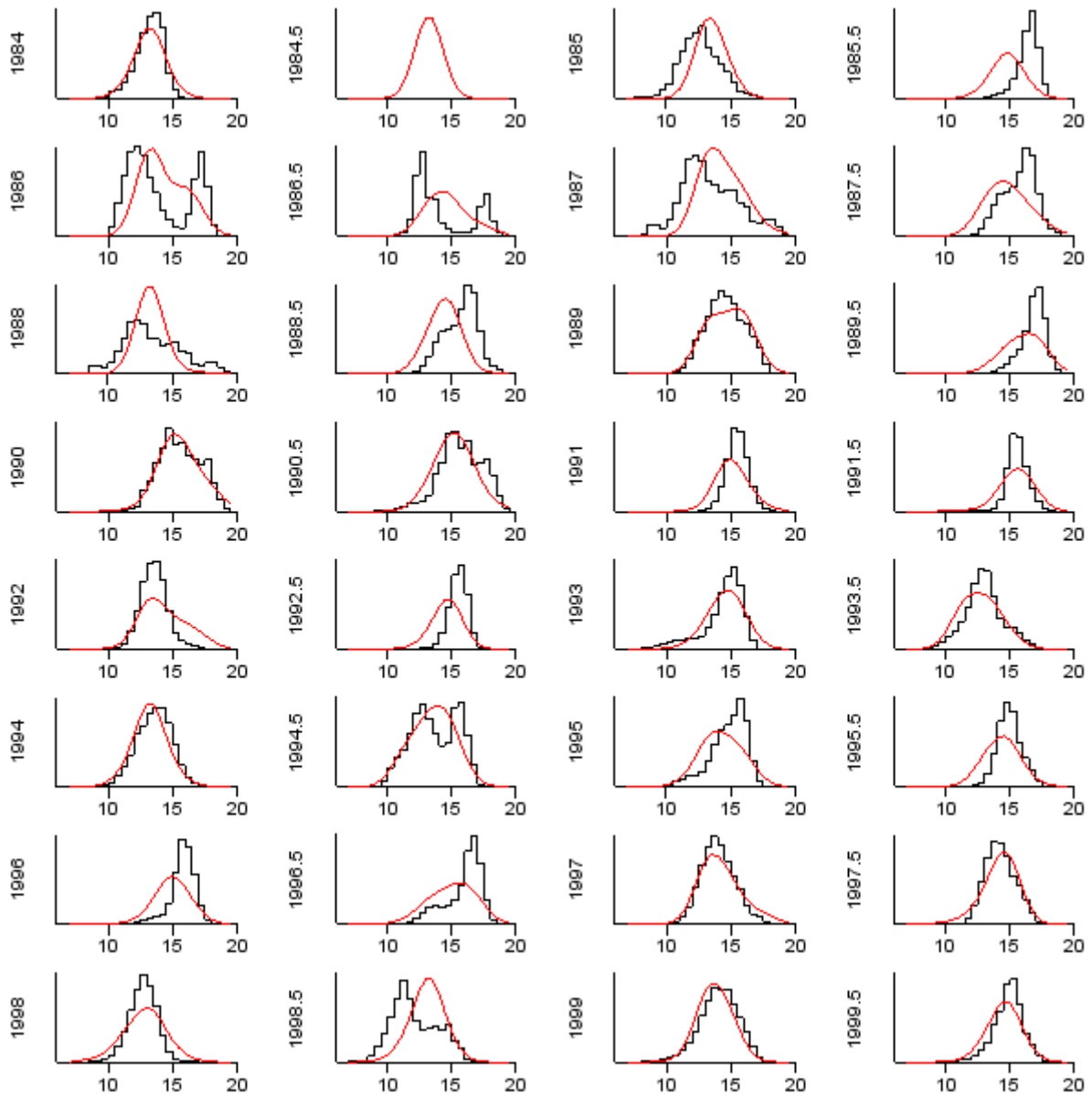


Figura 10. Ajuste del modelo a la información de composiciones de tallas de las capturas de anchoveta de la flota Peruana (Caso 1) en la zona Sur del Perú-XV-II Regiones. 1984-1999.5 (2 semestre). Las barras representan las barras y las líneas el modelo

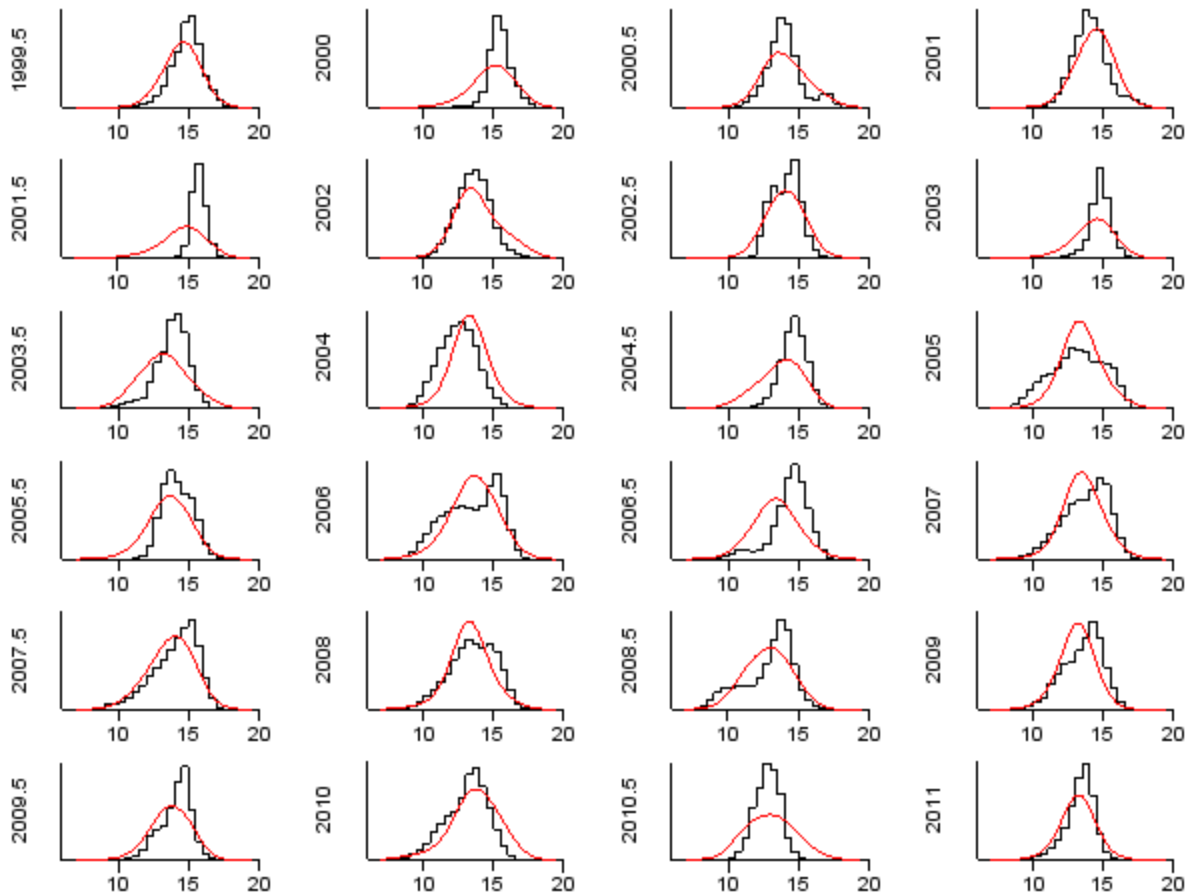


Figura 11. Ajuste del modelo a la información de composiciones de tallas de las capturas de anchoveta de la flota Peruana (Caso 1) en la zona Sur del Perú-XV-II Regiones. 2000-2011. (No se dispone de nueva información desde esa fecha). Las barras representan las barras y las líneas el modelo.

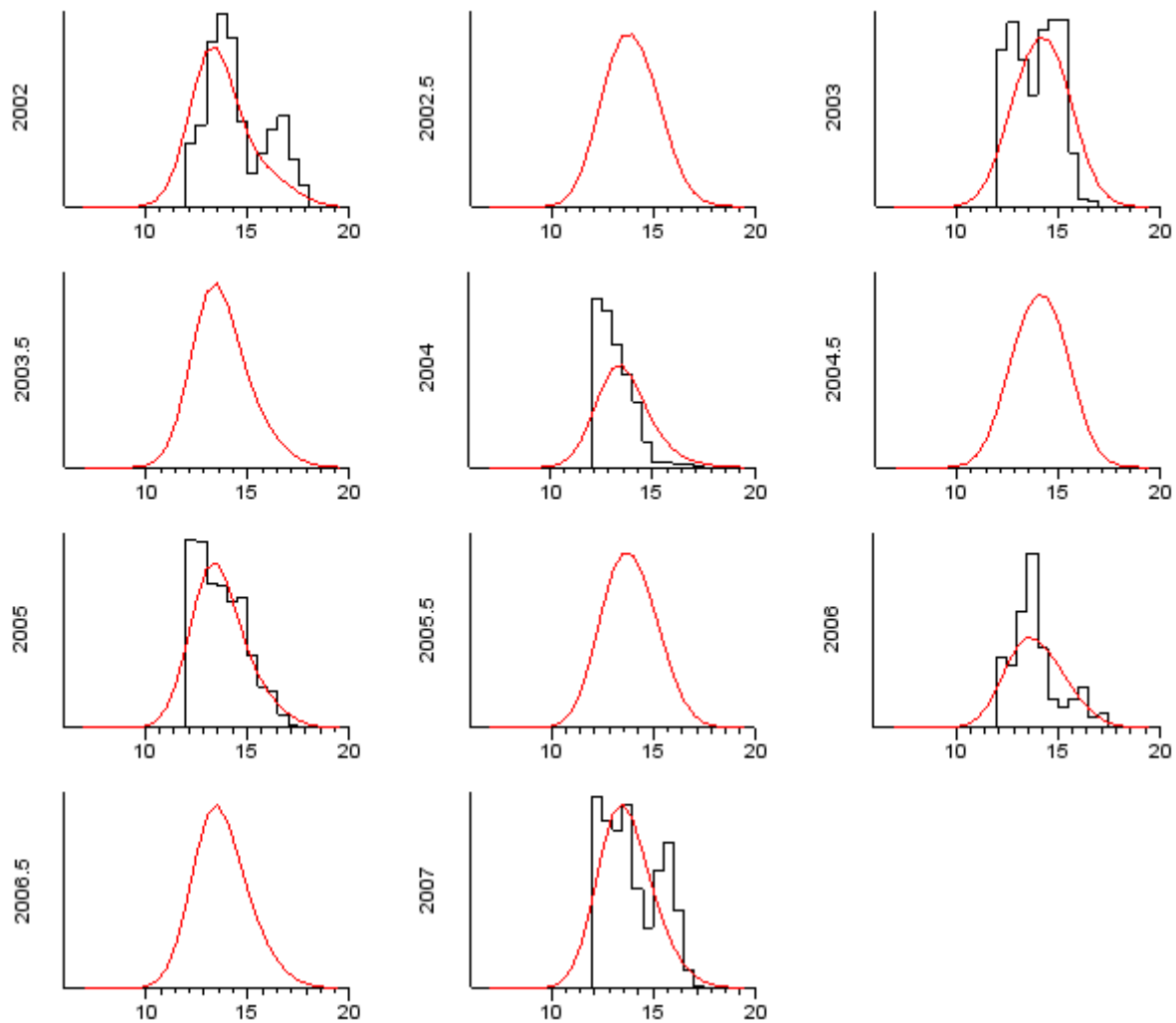


Figura 12. Ajuste del modelo a la información de composiciones de tallas de los cruceros en el Perú de la fracción adulta de anchoveta (Caso 1) en la zona Sur del Perú-XV-II Regiones. 2002-2007. (No se dispone de nueva información desde esa fecha). Las barras representan las barras y las líneas el modelo.

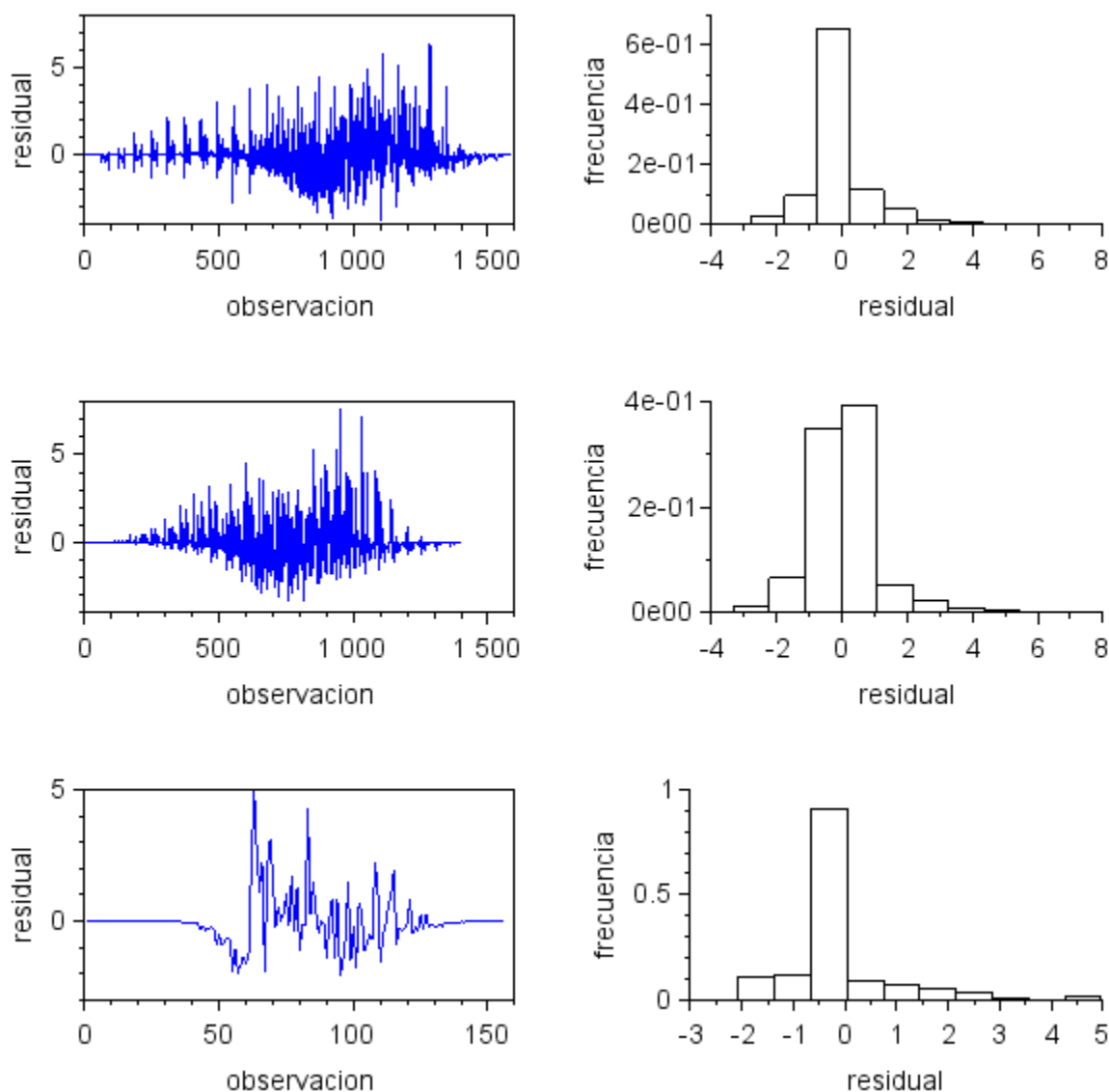


Figura 13. Desempeño de los residuales normalizados del ajuste del modelo de evaluación a las composiciones de tallas de las capturas en Chile (A), Perú (B) y Crucero acústico de adultos del Perú (C).

b) Variables poblacionales

• Composición de edades poblacional

La población de este recurso ha tenido grandes variaciones como consecuencia de la gran variabilidad en los reclutamientos semestrales y en la mortalidad por pesca. La composición de



edades semestrales de la abundancia indicaría que desde mitad de la década pasada la contribución de individuos mayores a 2 años se ha reducido significativamente (**Figura 14**) y reflejada también en la composición de edades de las capturas semestrales teóricas sustentadas principalmente en los grupos de edades de 2 y 3 años (**Figura 15**). Cabe señalar que la conversión de las edades en longitudes se realiza al interior del modelo sobre la base de parámetros de crecimiento y de una matriz de probabilidad de la talla a la edad cuyo perfil se resume en las **Figuras 16 y 17**.

- *Biomasa*

La biomasa de este recurso sufrió una importante reducción entre el 2005 y 2008, año a partir del cual la escala poblacional se habría re-escalado a casi la mitad del período histórico tanto en términos de biomasa total como de biomasa desovante (**Figura 18**). La biomasa promedio para el 2015 se estima en torno a las 5,2 mil toneladas mientras la biomasa desovante estaría próxima a 1,1 millones de toneladas, siendo estas estimaciones una de las más altas de los últimos 3 años (**Tabla 6**). De igual forma, la reducción del potencial reproductivo de este recurso producto de la explotación señala que, entre el año 2002 y el 2006 la biomasa reproductiva potencial se redujo sostenidamente y ha variado en los últimos 7 años en torno al 40% de aquella biomasa que hubiese existido sin explotación (**Figura 19**). Sin perjuicio de lo anterior, los niveles de incertidumbre de estas estimaciones son de consideración reflejados en coeficientes de variación próximos al 40%, destacándose además, que en general la medida de imprecisión es creciente desde los últimos 5 años al presente (**Figura 19**).

- *Reclutamientos*

La variabilidad y ciclicidad del reclutamiento sugieren una reducción en la amplitud de onda desde el 2002 lo que explicaría en parte el período de disminución de esta población (**Figura 21**). De igual modo, los desvíos de los reclutamientos semestrales respecto del valor esperado indican una tendencia a la reducción con anomalías predominantemente negativas desde el 2005 en adelante, con la aparente reinversión al año más reciente producto del aparente buen reclutamiento registrado en el verano 2014-2015. (**Figura 22**).

Cabe destacar que a nivel semestral, los reclutamientos registrados durante el segundo semestre han sido en promedio de mayor intensidad respecto de los registrados en la primera mitad del año, y esto se debería principalmente al inicio del proceso del reclutamiento registrado mayoritariamente hacia fines de cada año (**Figura 23**). De igual modo y no obstante la gran variabilidad del reclutamiento respecto del modelo S/R teórico, el supuesto de alto nivel de resiliencia entre reclutas y desovantes resumido en el valor de “steepness” $h=0.95$, queda de manifiesto al examinar la relación empírica generada desde el modelo de evaluación de stock (**Figura 24**). En esta figura se aprecia que la biomasa ha presentado grandes variaciones en sus escalas sin mayor compromiso con el reclutamiento modelado con un desfase de 6 meses respecto de la biomasa reproductiva.



- *Mortalidad por pesca*

La mortalidad por pesca ha sido creciente pero muy variable los últimos 10 años, principalmente influenciada por la flota Chilena. De igual forma, se observa que el nivel de la mortalidad por pesca de la flota Chilena supera significativamente al de la flota Peruana, esto explicado principalmente por el efecto del patrón de explotación claramente diferenciado entre ambas flotas. En efecto, la flota Chilena concentra su explotación sobre la fracción más adulta de la población por sobre los 2.5 años equivalente a una longitud promedio de 14 cm, y dado que teóricamente estos peces son menos abundantes, para lograr su remoción se requiere del despliegue de un esfuerzo de pesca mayor respecto de la explotación en la zona sur del Perú (**Figura 25**).

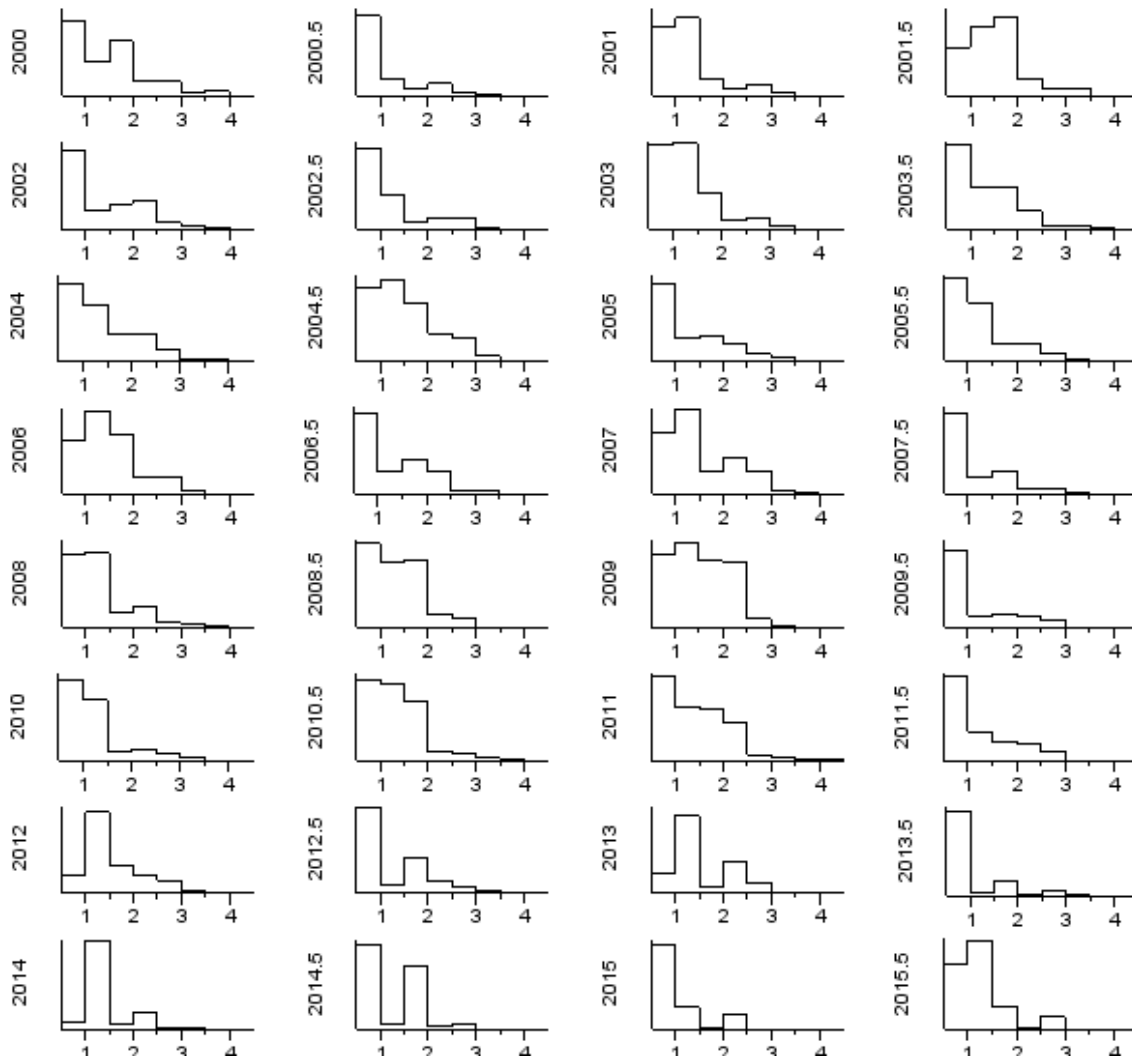


Figura 14. Representación de la abundancia por edades de anchoveta (Caso 1) en la zona Sur del Perú- XV-II Regiones. 2000-2015.

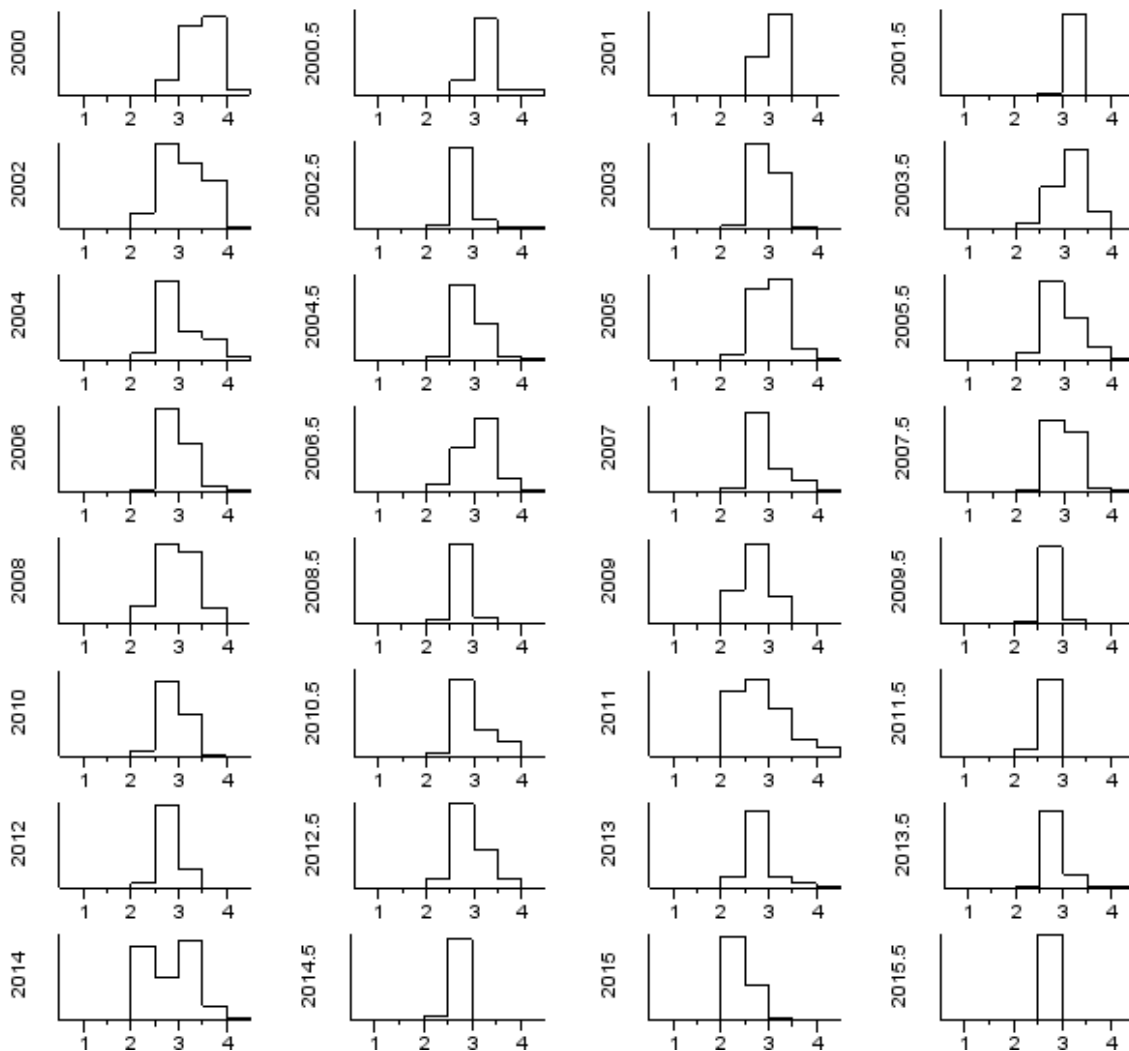


Figura 15. Representación de la composición de edades de las capturas totales de anchoveta (Caso 1) en la zona Sur del Perú-XV-II Regiones. 2000-2015.

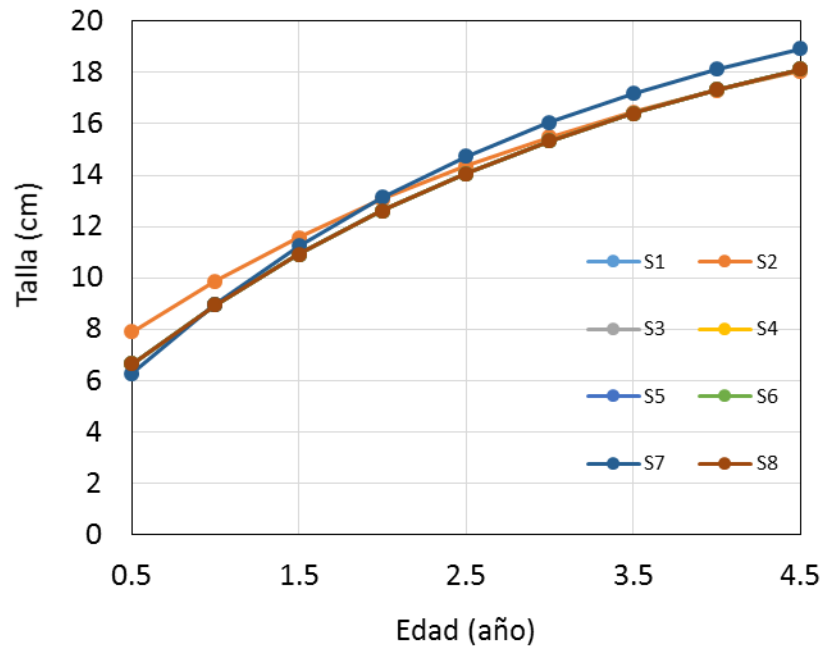


Figura 16. Modelos de crecimiento evaluados para anchoveta Sur del Perú-XV-II Regiones.

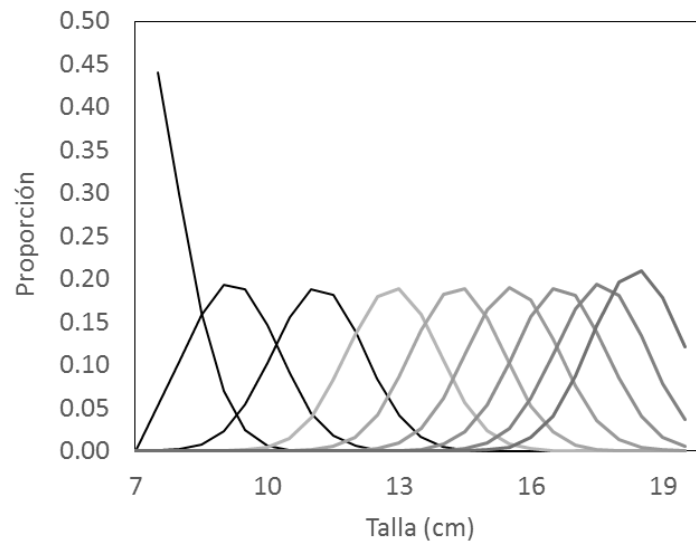


Figura 17. Representación del modelo de proporción de la talla a la edad (9 grupos) de anchoveta Sur del Perú-XV-II Regiones. Se destaca la invariabilidad de la desviación de la talla a la edad. El primer grupo de edad está incompleto ya que la desviación de talla promedio del primer grupo de edad genera valores de tallas por debajo del mínimo considerado de 7 cm.

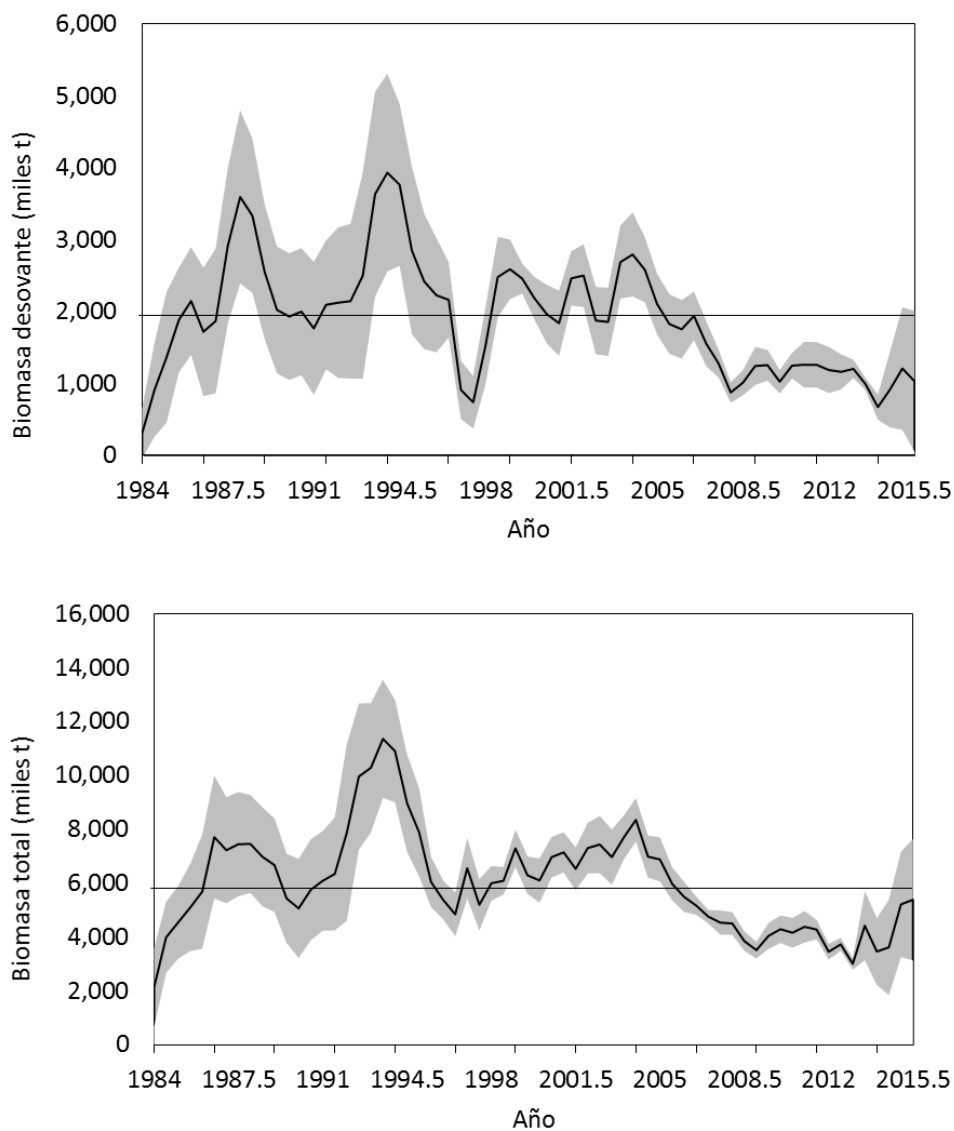


Figura 18. Biomasa desovante (arriba) y biomasa total (abajo) de la anchoveta Sur del Per3-XV-II. Las zonas en gris representan los intervalos de confianza al 95% y la l3nea continua la mediana. La l3nea horizontal representa el promedio de largo plazo.

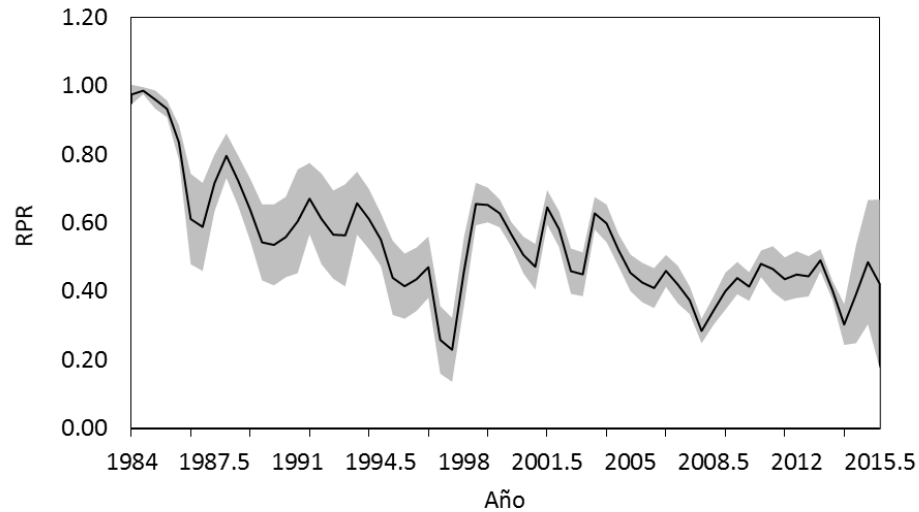


Figura 19. Reducción del Potencial Reproductivo de la anchoveta Sur del Perú-Norte de Chile (XV-II). Las zonas en gris representan los intervalos de confianza al 95% y la línea continua la mediana.

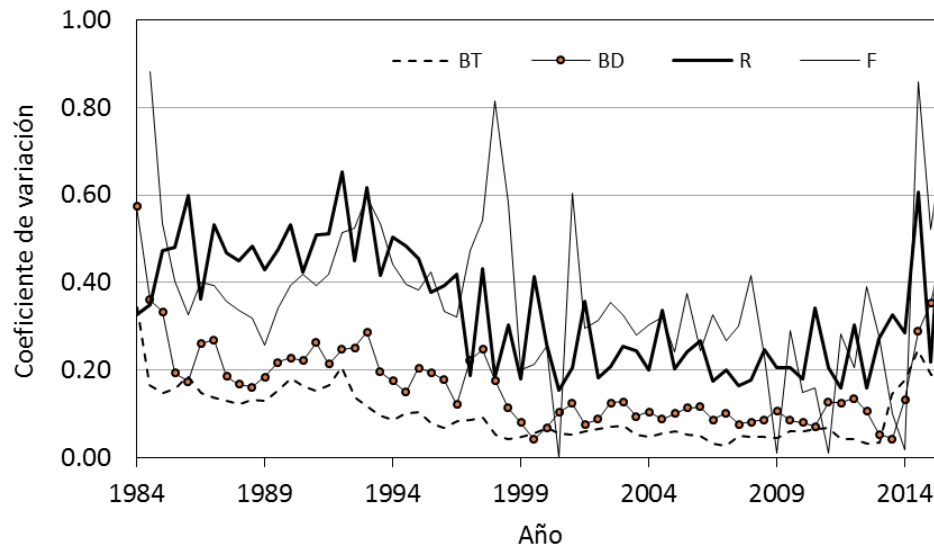


Figura 20. Coeficiente de variación de las estimaciones de biomasa total (BT), biomasa desovante (BD), reclutamientos (R) y mortalidad por pesca (F) de la anchoveta Sur del Perú-Norte de Chile (XV-II).

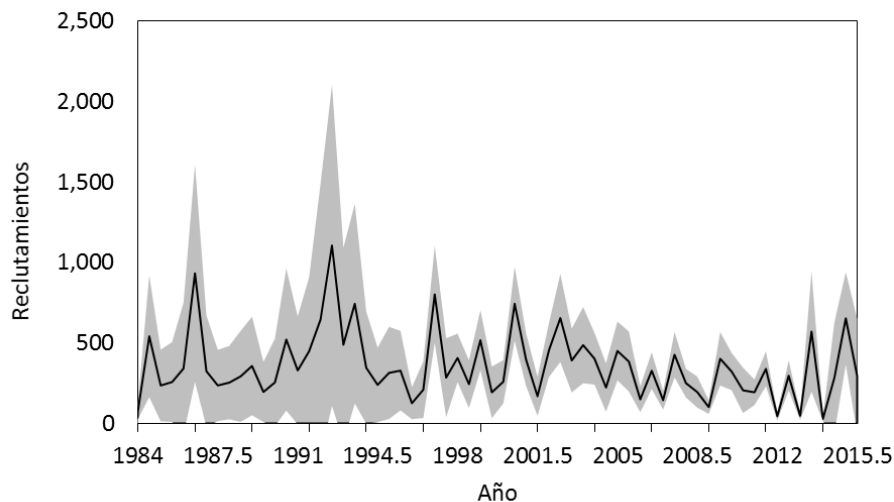


Figura 21. Reclutamientos semestrales de la anchoveta Sur del Perú-Norte de Chile (XV-II). Las zonas en gris representan los intervalos de confianza al 95% y la línea continua la mediana.

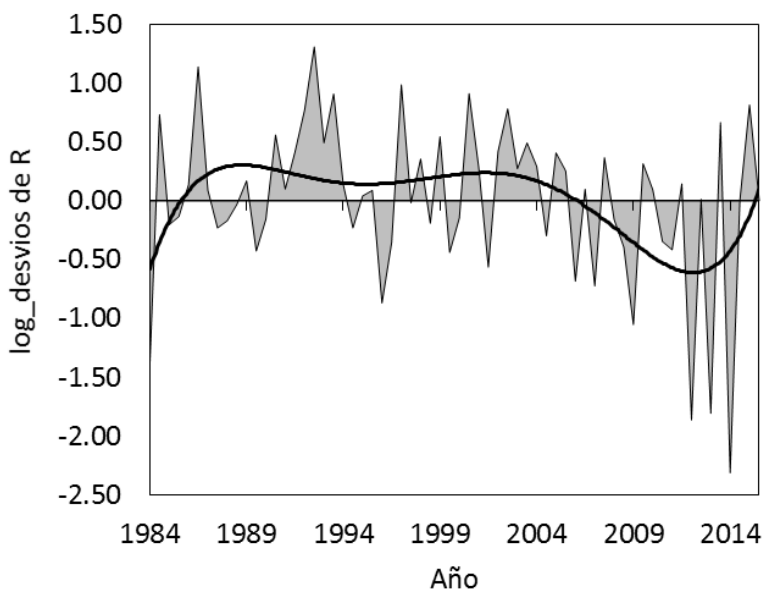


Figura 22. Log-desvíos de los reclutamientos semestrales de Anchoveta zona Sur del Perú-Norte de Chile (XV-II). Caso 1. La línea continua representa la tendencia polinómica.

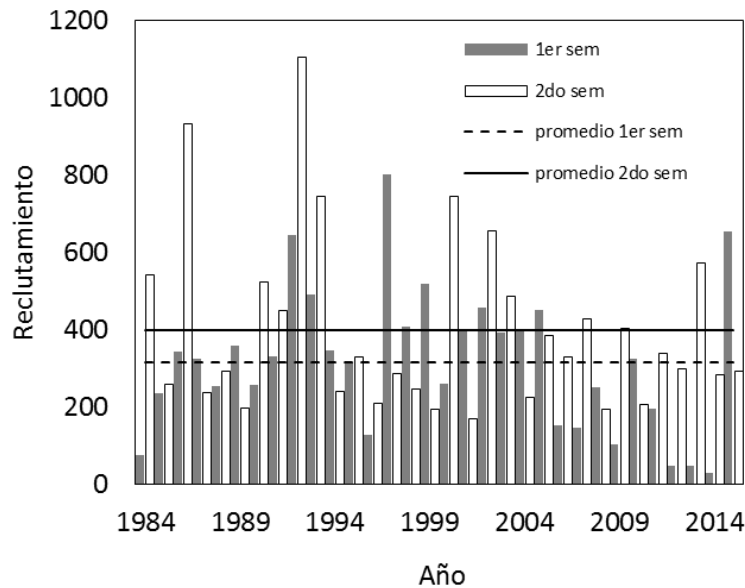


Figura 23. Reclutamientos semestrales de Anchoveta zona Sur del Perú-Norte de Chile (XV-II). Caso 1.

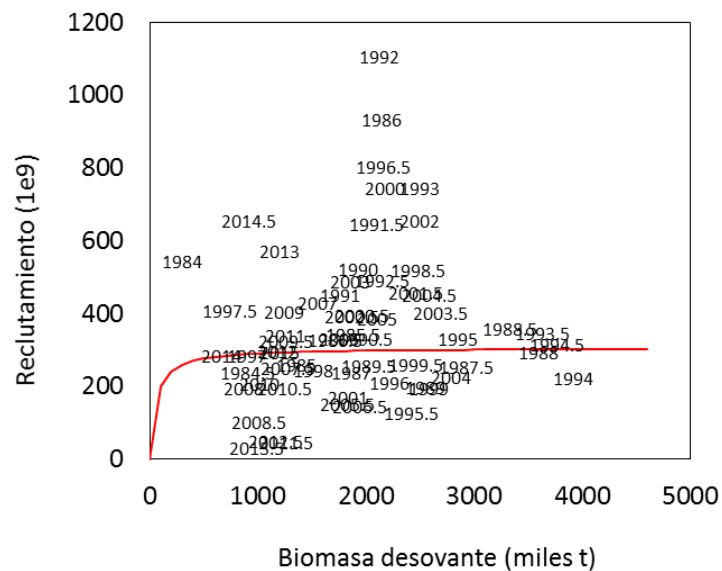


Figura 24. Relación Stock-recluta de Anchoveta zona Sur del Perú-Norte de Chile (XV-II). La línea roja representa el modelo de B&H con $h=0.95$.



Tabla 6. Variables poblacionales en base semestral. Anchoveta zona Sur del Perú-Norte de Chile (XV-II), 2000-2015. Caso 1.

Año_sem	N (#) (1e9)	R (#) (1e9)	C (#) (1e9)	BT (1e6 t)	BD (1e6 t)	RPR	F	F Chile	F Peru	BD/BDo	BD/BDrms	F/Frms
2000.0	705	259	42	6092	2184	0.565	1.750	0.597	0.239	0.547	1.092	3.125
2000.5	1140	744	24	6959	1963	0.506	4.022	1.794	0.004	0.491	0.982	7.182
2001.0	1071	395	35	7138	1838	0.472	3.372	1.366	0.182	0.460	0.919	6.021
2001.5	793	169	9	6526	2462	0.645	0.475	0.206	0.008	0.616	1.231	0.848
2002.0	929	455	65	7296	2501	0.582	2.308	0.680	0.524	0.626	1.250	4.121
2002.5	1171	655	62	7429	1874	0.459	2.394	0.912	0.297	0.469	0.937	4.275
2003.0	1056	391	24	6961	1855	0.450	0.986	0.378	0.119	0.464	0.928	1.762
2003.5	1109	487	4	7695	2688	0.628	0.159	0.074	0.004	0.673	1.344	0.284
2004.0	1071	402	68	8343	2795	0.598	1.614	0.678	0.146	0.700	1.397	2.883
2004.5	822	223	47	6978	2581	0.521	1.158	0.487	0.103	0.646	1.290	2.067
2005.0	914	451	82	6875	2103	0.455	1.504	0.470	0.361	0.526	1.051	2.686
2005.5	878	385	25	5974	1826	0.426	1.381	0.657	0.018	0.457	0.913	2.467
2006.0	664	150	52	5484	1752	0.410	1.150	0.307	0.349	0.439	0.876	2.054
2006.5	691	328	19	5163	1939	0.460	0.758	0.328	0.055	0.485	0.970	1.353
2007.0	550	144	65	4755	1554	0.420	1.604	0.527	0.350	0.389	0.777	2.865
2007.5	712	427	24	4530	1279	0.374	1.194	0.501	0.109	0.320	0.639	2.133
2008.0	664	251	59	4497	874	0.285	4.325	1.724	0.521	0.219	0.437	7.723
2008.5	554	195	26	3842	1010	0.344	2.964	1.245	0.269	0.253	0.505	5.294
2009.0	418	101	32	3508	1243	0.401	4.267	1.947	0.171	0.311	0.621	7.620
2009.5	633	402	26	4034	1254	0.439	1.109	0.422	0.162	0.314	0.627	1.981
2010.0	687	323	29	4284	1023	0.414	0.869	0.320	0.200	0.256	0.512	1.552
2010.5	601	206	8	4153	1247	0.480	0.356	0.187	0.014	0.312	0.623	0.635
2011.0	552	194	48	4374	1260	0.465	4.264	2.240	0.169	0.315	0.630	7.615
2011.5	640	339	35	4271	1259	0.436	1.069	0.457	0.170	0.315	0.629	1.910
2012.0	407	46	24	3447	1186	0.449	0.686	0.262	0.146	0.297	0.593	1.224
2012.5	526	297	25	3722	1160	0.444	1.380	0.734	0.043	0.290	0.580	2.464
2013.0	348	48	13	2999	1203	0.491	0.580	0.306	0.022	0.301	0.601	1.036
2013.5	772	571	34	4414	987	0.405	1.136	0.476	0.191	0.247	0.494	2.029
2014.0	472	29	39	3455	669	0.303	4.531	2.240	0.349	0.168	0.335	8.092
2014.5	542	284	20	3611	918	0.392	3.446	1.882	0.050	0.230	0.459	6.154
2015.0	968	653	31	5205	1208	0.485	2.982	1.553	0.134	0.302	0.604	5.325
2015.5	857	293	39	5380	1027	0.422	1.236	0.433	0.310	0.257	0.514	2.207

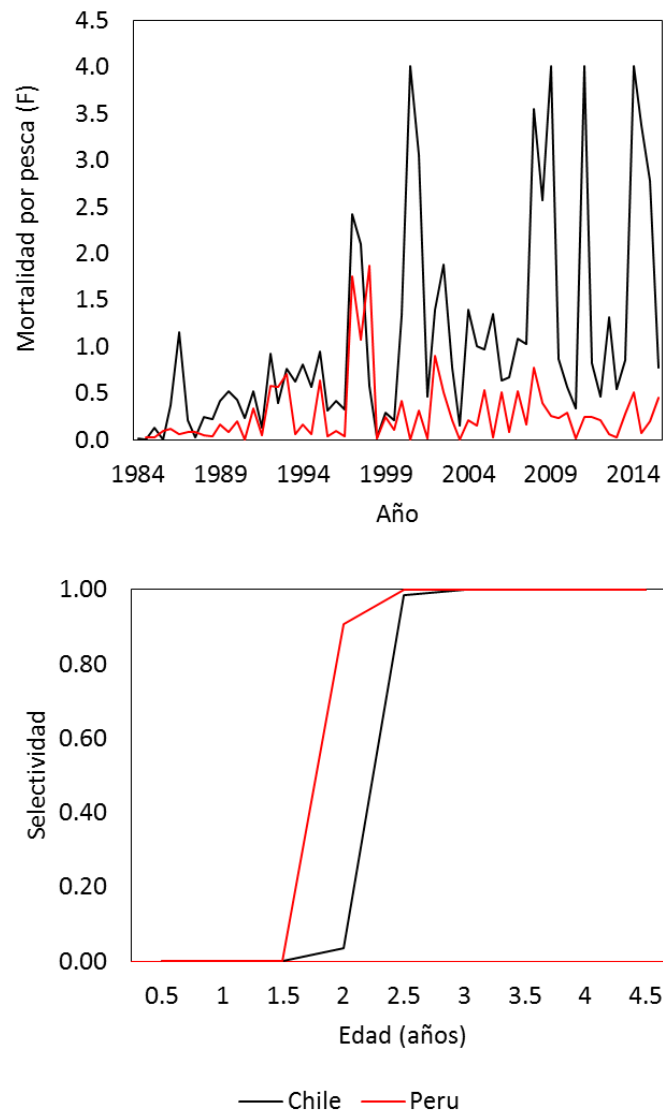


Figura 25. Mortalidad por pesca (arriba) y selectividad por flota (abajo) del último período. Anchoveta zona Sur del Perú-Norte de Chile (XV-II). Caso 1.

c) Análisis de casos

El análisis de incertidumbre de la evaluación de stock fue conducido a través del análisis de diversos casos o escenarios que representan la incertidumbre estructural. La idea es evaluar la influencia que tiene sobre el tamaño de la población y la condición del stock, aquellos parámetros que hemos supuesto como conocidos. El detalle de estos casos fue entregado en **Tabla 4**.



El ajuste de los modelos a los 9 casos en general fue adecuado y cuya representación gráfica se resume en la **Figura 26** con el ajuste de los índices de abundancia y en el ajuste de la distribución de tallas de las capturas para las dos flotas y del crucero (**Figura 27**). El impacto de los supuestos sobre las principales variables de estado poblacional se resume entre la **Figura 28** y **Figura 30**. Asimismo, en la **Tabla 7** se entregan las variables claves de este análisis con énfasis en el estado de situación para el año 2015, destacándose que, y exceptuando el escenario S7 donde basado en una mayor mortalidad natural se generaría una mejor condición poblacional, la situación de explotación de la anchoveta no parece discrepar significativamente con una reducción del potencial reproductivo RPR entre un 0.37 y 0.48, mientras que la biomasa desovante respecto de la biomasa virginal (B/Bo) se encontraría distribuida entre un 0.14 y 0.29. El desempeño estadístico indica que el escenario S5 tiene un ajuste significativamente mejor ($\Delta LL > 2$) respecto todos los otros. Esto indica que la desviación de los reclutamientos semestrales debiese ser fijada en un valor mayor al supuesto inicialmente ($\sigma_R = 0.6$), no obstante que en términos de condición de explotación y niveles poblacionales no parece haber grandes diferencias respecto de S1. Un detalle más extendido de este análisis y de las variables involucradas se entrega en las **Tablas 8, 9, 10 y 11** y sobre el particular se destaca que en S5 los índices de reclutamientos son mejor explicados por el modelo (**Tabla 11**). Asimismo, la evaluación de stock muestra cierta indiferencia a los valores de resiliencia (h) (ver casos S1 vs S3 y S4) ($\Delta LL < 2$). Mayores diferencias se observaron cuando M o σ_R son incrementados (ver S5, S6 y S7). De igual modo, el modelo mostró baja sensibilidad de los parámetros poblacionales frente a cambios en el tamaño muestral (S8) en tanto que de generarse menores capturas durante el 2015 (S9), la condición de explotación podría mejorar a B/Bo=0.29 y un RPR=0.48.

Tabla 7.

Variables de desempeño de los 9 escenarios de evaluación analizados para la anchoveta de la zona Sur del Perú-Norte de Chile (XV-II). (LL es el valor del negativo de la función de log-verosimilitud).

Escenario	B/Bo	RPR	BD	Fch	Fpe	Ftot	LL(datos)	post	LL_tot
S1	0.2571	0.4215	1027	0.7770	0.4591	0.7437	2538.4	17.4	2556
S2	0.2359	0.3750	888	1.1336	0.6344	1.0695	2534.9	12.7	2548
S3	0.2225	0.4142	1000	0.7178	0.4391	0.6974	2537.3	18.0	2555
S4	0.1486	0.4054	969	0.6334	0.4070	0.6288	2536.9	18.4	2555
S5	0.2190	0.4437	1132	0.6003	0.3852	0.5950	2494.4	17.2	2512
S6	0.2465	0.4350	1090	0.6609	0.4129	0.6477	2509.9	17.2	2527
S7	0.5693	0.8084	3077	0.4430	0.2810	0.4185	2550.2	21.2	2571
S8	0.2524	0.3915	913	0.8901	0.5960	0.8589	12741.7	60.6	12802
S9	0.2939	0.4820	1174	0.4473	0.2712	0.4328	2538.4	17.4	2556

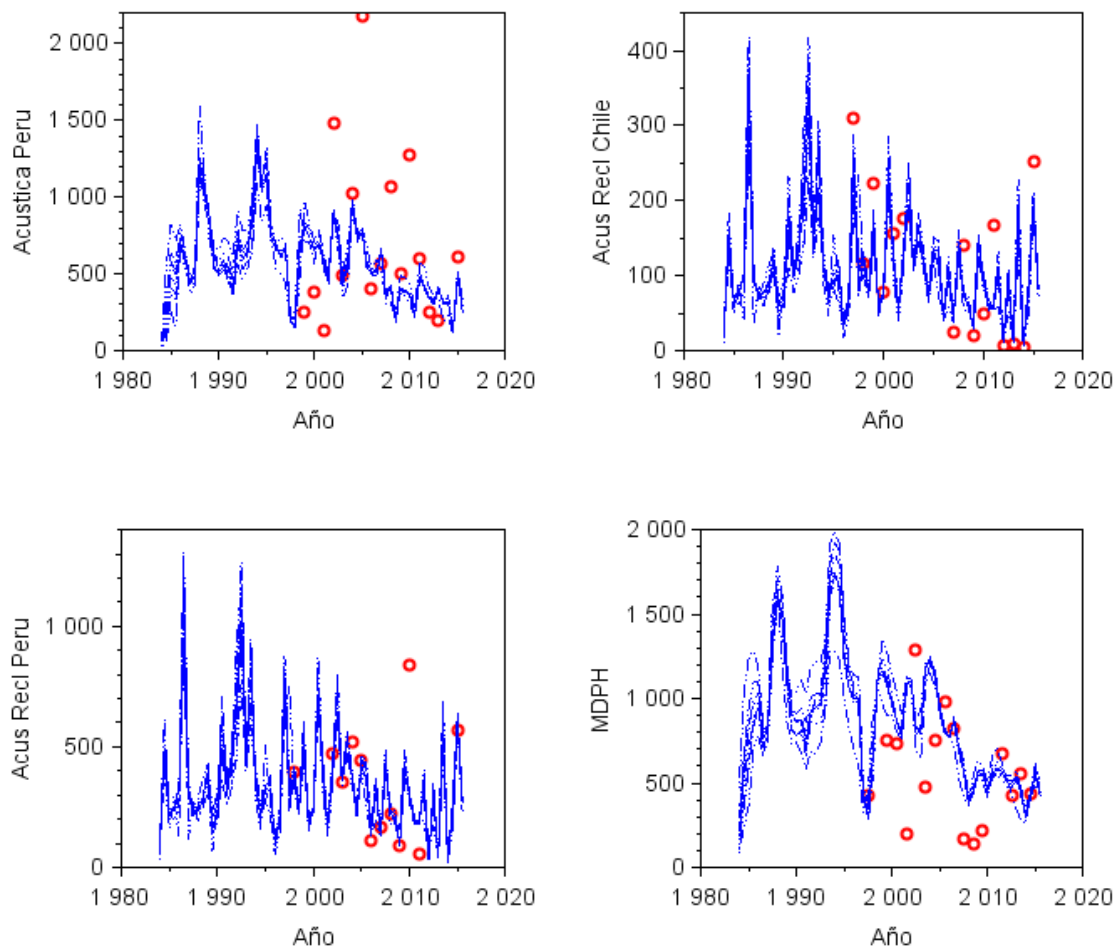


Figura 26. Ajuste del modelo de evaluación (líneas azules) a los índices de abundancia en los 9 casos de análisis de anchoveta Sur del Perú-Norte de Chile (XV-II). Los círculos rojos representan las observaciones.

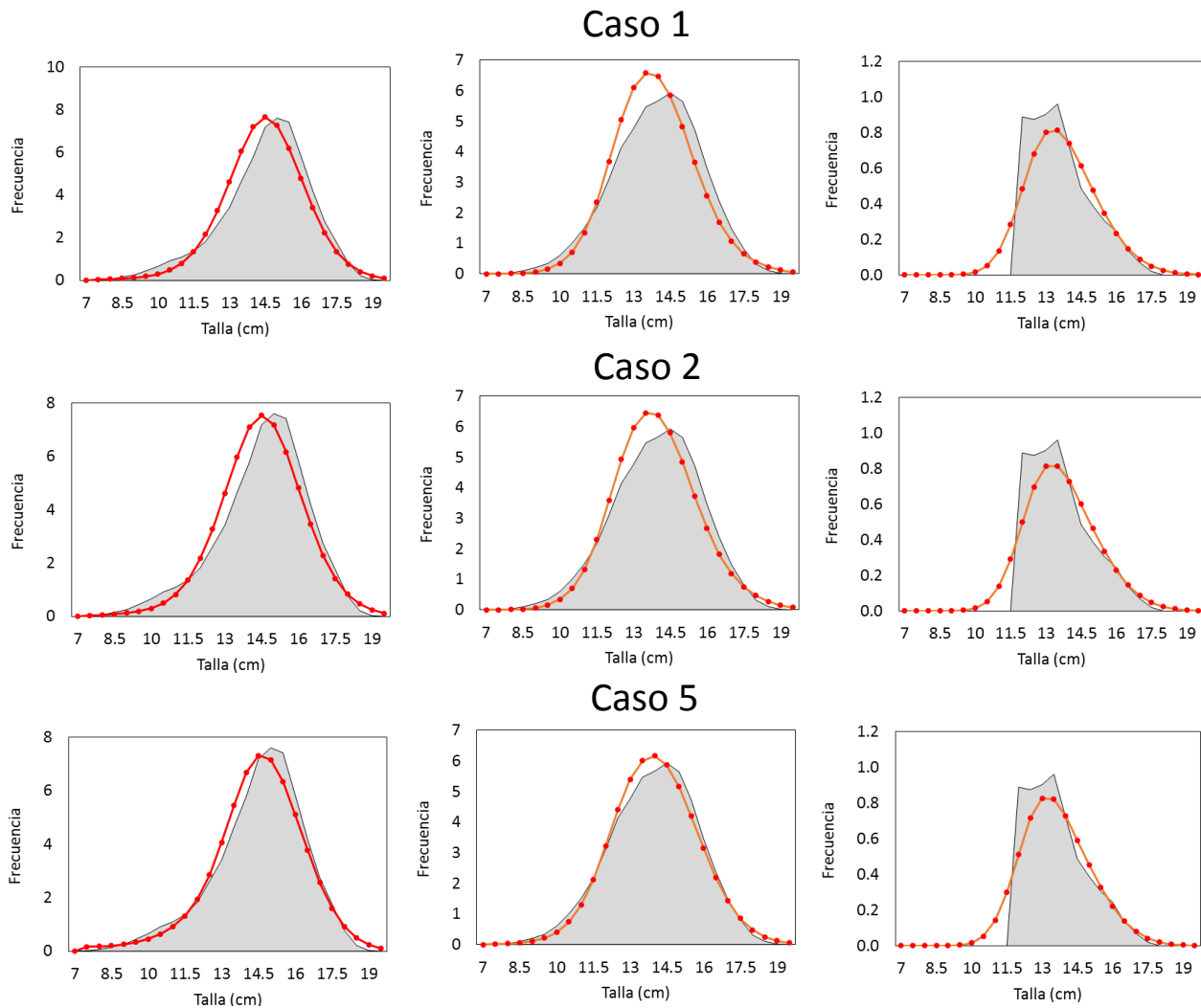


Figura 27. Distribuci3n de tallas marginal total observada (3rea gris) y ajustada por el modelo (l3neas rojas) en 3 casos de an3lisis de anchoveta Sur del Per3-Norte de Chile (XV-II).

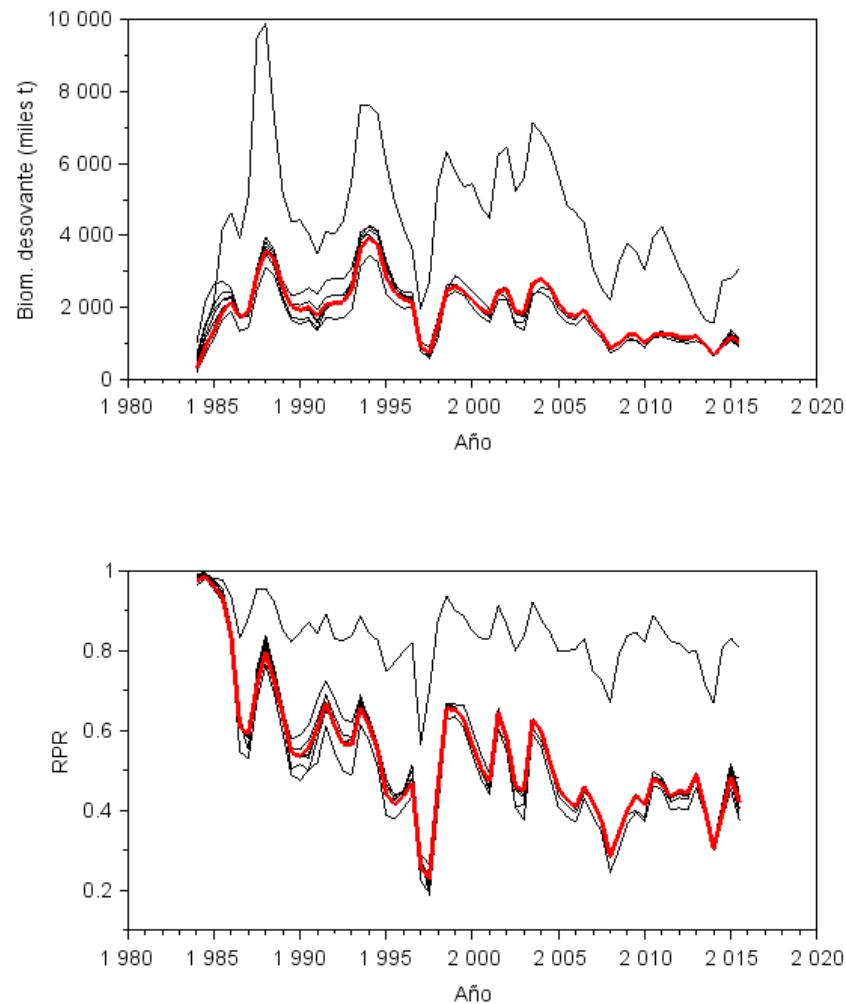


Figura 28. Biomasa desovante semestral (miles t) (arriba) y reducción del potencial reproductivo (RPR) (abajo) de la anchoveta Sur del Perú-Norte de Chile (XV-II) para los 9 casos de análisis. En línea roja gruesa se enfatiza el modelo Caso 1. El caso de mayor nivel corresponde al caso 7.

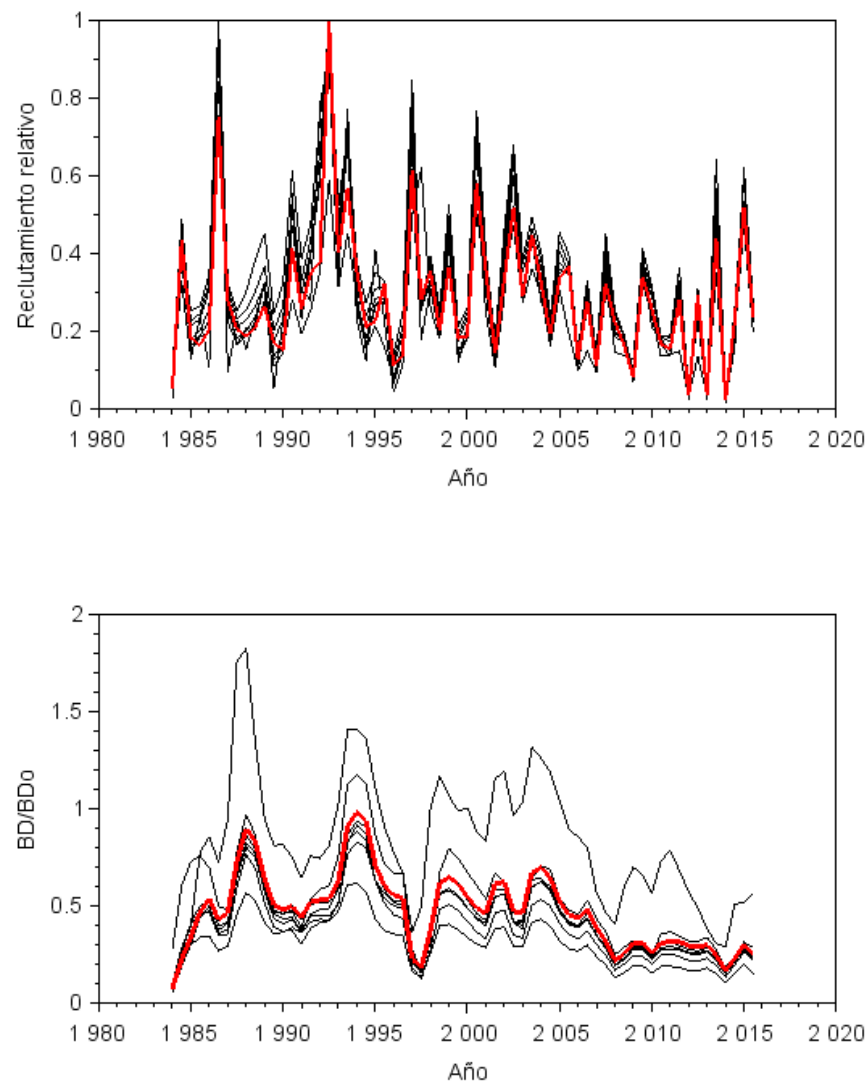


Figura 29. Reclutamiento semestral relativo (arriba) y raz3n de la biomas desovante respecto de la biomasa virginal de largo plazo (abajo) de la anchoveta Sur del Per3-Norte de Chile (XV-II) para los 9 casos de an3lisis. En l3nea roja gruesa se enfatiza el modelo Caso 1. El caso de mayor nivel corresponde al caso 7.

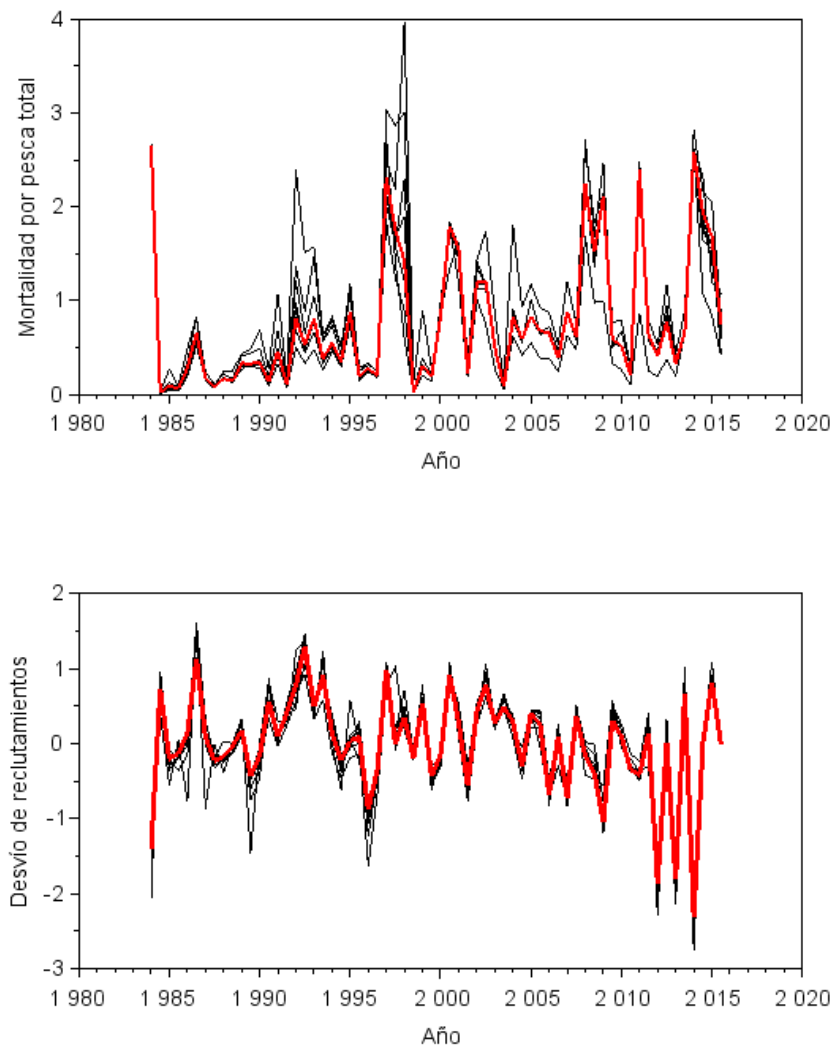


Figura 30. Mortalidad por pesca semestral total (arriba) y log-desvíos de los reclutamientos (abajo) de la anchoveta Sur del Perú-Norte de Chile (XV-II) para los 9 casos de análisis. En línea roja gruesa se enfatiza el modelo Caso 1.



Tabla 8. Valor de las distribuciones a posteriori en los 9 escenarios de evaluación analizados para la anchoveta de la zona Sur del Perú-Norte de Chile (XV-II).

Escenario	p_tot	p_Linf	p_k	p_Lo	p_A50ch	p_A50pe	p_Dch	p_Dpe
S1	17.44	0.00	0.00	0.00	6.07	1.80	8.73	0.83
S2	12.67	0.00	0.24	0.00	4.88	1.70	5.35	0.49
S3	18.02	0.00	0.00	0.00	6.04	1.78	9.09	1.11
S4	18.41	0.00	0.00	0.00	5.94	1.75	9.29	1.43
S5	17.17	0.00	0.00	0.00	6.03	1.82	8.65	0.67
S6	17.16	0.00	0.00	0.00	6.04	1.81	8.60	0.71
S7	21.17	0.00	0.00	0.00	6.99	2.57	8.14	3.48
S8	60.64	0.00	0.00	0.00	10.13	4.05	29.33	17.13
S9	17.44	0.00	0.00	0.00	6.07	1.80	8.73	0.83

Tabla 9. Parámetros biológicos fijados o estimados en los 9 escenarios de evaluación analizados para la anchoveta de la zona Sur del Perú-Norte de Chile (XV-II).

Escenario	a_edad	b_edad	M	h
S1	1.04	0.00	0.50	0.95
S2	1.13	0.00	0.50	0.95
S3	1.04	0.00	0.50	0.75
S4	1.04	0.00	0.50	0.50
S5	1.04	0.00	0.50	0.95
S6	1.04	0.00	0.50	0.95
S7	1.04	0.00	1.00	0.95
S8	1.04	0.00	0.50	0.95
S9	1.04	0.00	0.50	0.95

Tabla 10. Coeficientes de variación y tamaño de muestra efectivos estimados *a priori* en los 9 escenarios de evaluación analizados para la anchoveta de la zona Sur del Perú-Norte de Chile (XV-II).

Escenario	cv_acus	cv_Rch	cv_Rpe	cv_MDPH	nm_fch	nm_fpe	nm_fcru
S1	0.73	0.51	0.47	0.71	44.86	41.03	35.48
S2	0.73	0.50	0.48	0.73	43.63	42.03	33.23
S3	0.73	0.51	0.47	0.71	44.89	40.99	35.52
S4	0.73	0.49	0.46	0.71	44.46	40.44	35.57
S5	0.71	0.43	0.45	0.73	44.72	42.03	34.96
S6	0.72	0.46	0.46	0.72	44.80	41.73	35.11
S7	0.69	0.48	0.46	0.71	45.22	39.46	37.43
S8	0.78	0.62	0.55	0.75	49.78	50.82	38.01
S9	0.73	0.51	0.47	0.71	44.86	41.03	35.48



Tabla 11. Log-verosimilitud marginal por componente de información (A) y log-verosimilitud relativizada ΔL al mínimo (B) de cada componente generada en los 9 escenarios de evaluación analizados para la anchoveta de la zona Sur del Perú-Norte de Chile (XV-II). El caso 8 es tratado de manera particular debido a que su escala en verosimilitud fue alterada producto del cambio en el tamaño de muestra

Escenario	LL_tot	L_Acus	L_Rch	L_Rpe	L_mdph	L_Ych	L_Ype	L_Pch	L_Ppe	L_Pcru	L_devR	L_devNo
S1	2538	26.41	21.60	14.53	8.42	0.01	0.01	1221.53	1013.00	173.00	40.92	19.00
S2	2535	26.94	20.93	15.14	9.14	0.01	0.01	1219.15	1010.46	174.39	42.24	16.46
S3	2537	26.43	21.26	14.51	8.27	0.01	0.01	1220.97	1012.78	173.01	39.27	20.83
S4	2537	26.45	20.23	14.37	8.09	0.01	0.01	1220.81	1013.47	173.02	37.18	23.24
S5	2494	25.48	15.58	13.46	8.90	0.01	0.00	1219.13	1009.18	173.29	20.69	8.64
S6	2510	25.79	17.27	13.80	8.71	0.01	0.00	1219.79	1010.54	173.18	28.42	12.43
S7	2550	23.59	19.57	14.32	7.58	0.00	0.01	1224.56	1020.13	173.14	45.67	21.63
S8	12742	30.50	32.17	20.44	11.59	0.04	0.02	6259.47	5722.87	585.88	52.99	25.73
S9	2538	26.41	21.60	14.53	8.42	0.01	0.01	1221.53	1013.00	173.00	40.92	19.00

Escenario	ΔLL_{tot}	ΔL_{Acus}	ΔL_{Rch}	ΔL_{Rpe}	ΔL_{mdph}	ΔL_{Ych}	ΔL_{Ype}	ΔL_{Pch}	ΔL_{Ppe}	ΔL_{Pcru}	ΔL_{devR}	ΔL_{devNo}
S1	44.1	2.8	6.0	1.1	0.8	0.0	0.0	2.4	3.8	0.0	20.2	10.4
S2	40.5	3.4	5.4	1.7	1.6	0.0	0.0	0.0	1.3	1.4	21.5	7.8
S3	43.0	2.8	5.7	1.0	0.7	0.0	0.0	1.8	3.6	0.0	18.6	12.2
S4	42.5	2.9	4.6	0.9	0.5	0.0	0.0	1.7	4.3	0.0	16.5	14.6
S5	0.0	1.9	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0
S6	15.6	2.2	1.7	0.3	1.1	0.0	0.0	0.7	1.4	0.2	7.7	3.8
S7	55.8	0.0	4.0	0.9	0.0	0.0	0.0	5.4	11.0	0.1	25.0	13.0
S8		6.9	16.6	7.0	4.0	0.0	0.0				32.3	17.1
S9	44.1	2.8	6.0	1.1	0.8	0.0	0.0	2.4	3.8	0.0	20.2	10.4



3.2 Objetivo específico 2.

Establecer el estatus actualizado de estos recursos, sobre la base de sus principales indicadores de estado y flujo, incorporando la incertidumbre de estimación involucrada, empleando el mejor conocimiento e información disponible a la fecha de ejecución del estudio, acorde con los estándares definidos por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura y recomendados por los Comités Científico y Técnico respectivos.

La **Figura 31a** muestra la proporción de reducción de la biomasa desovante por recluta (BDPR) a distintos niveles de F respecto de la biomasa desovante por recluta virginal ($BDPR/BDPR_{F=0}$). Se entrega el valor de la mortalidad por pesca objetivo definido por el Comité Científico el año 2014 ($F_{55\%BDPR0}=0.589$) del que se destaca su variabilidad en el tiempo influenciada particularmente por variaciones en el patrón de explotación (**Figura 31 b y c**). A manera de referencia la biomasa desovante virginal se ha estimado próxima a los 4 millones de toneladas, de manera que en base a lo establecido por el Comité Científico de considerar para este recurso como proxy de Brms el 50%BD0, el valor de referencia asociado a este criterio es de 1,9 millones de toneladas (**Tabla 12**).

Considerando estos referentes, la mortalidad por pesca total muestra un patrón creciente que se incrementado cíclicamente desde el 2008 y con valores muy superiores al criterio Frms, generando con esto una persistente condición de sobrepesca (**Figura 32**). De igual modo, los resultados indican que la reducción de la biomasa ocurrida entre el 2006 y el 2008 ha llevado a la población a valores cercanos a la mitad de la biomasa al RMS, generando con ello un estado de sobre-explotación. La distribución de probabilidades tomada desde la matriz de varianza-covarianza indica que el valor más probable de la mortalidad por pesca promedio 2015 podría ubicarse al 95% de confianza entre 2.7 y 4.4 veces por sobre Frms, en tanto que la biomasa desovante se ubicaría a igual nivel de confianza entre un 43% - 69% de la Brms (**Figura 33**). La probabilidad de sobrepesca y sobre-explotación de este recurso se considera cierta bajo el actual esquema de evaluación del stock de anchoveta, lo cual queda demostrado además al examinar el diagrama de fases B-F (**Figura 34**), el que destaca la posición del par F-B para el segundo semestre 2015, lejos de la zona declarada como objetivo de manejo ($B/Brms > 1$; $F/Frms < 1$).

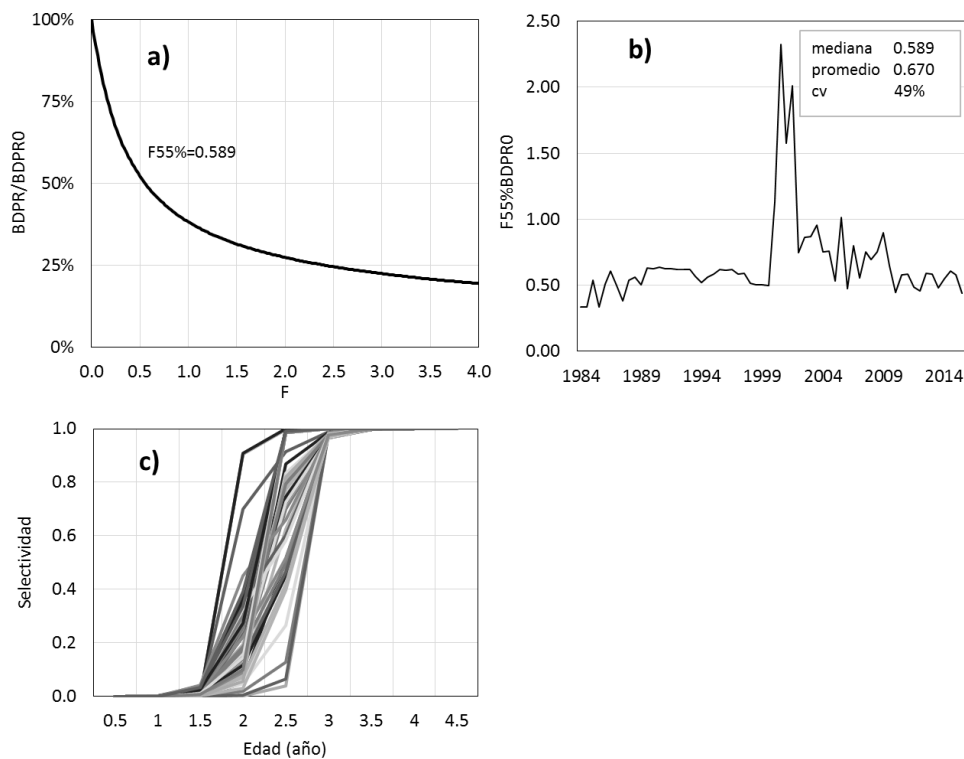


Figura 31. Biomasa desovante por recluta respecto de F (a), variabilidad semestral del $F_{55\%BDPR}$ (b), selectividad semestral (c). Anchoveta zona Sur del Perú-Norte de Chile (XV-II). Caso 1.

Tabla 12. Puntos Biológicos de Referencia (PBR). Anchoveta zona Sur del Perú-Norte de Chile (XV-II). Caso 1.

	media	Li (95%)	Ls (95%)
BDo (miles t)	3,995	3,700	4,290
Brms (50%BDo) (miles t)	1,998	1,850	2,145
Frms (55%BDPR)	0.589		

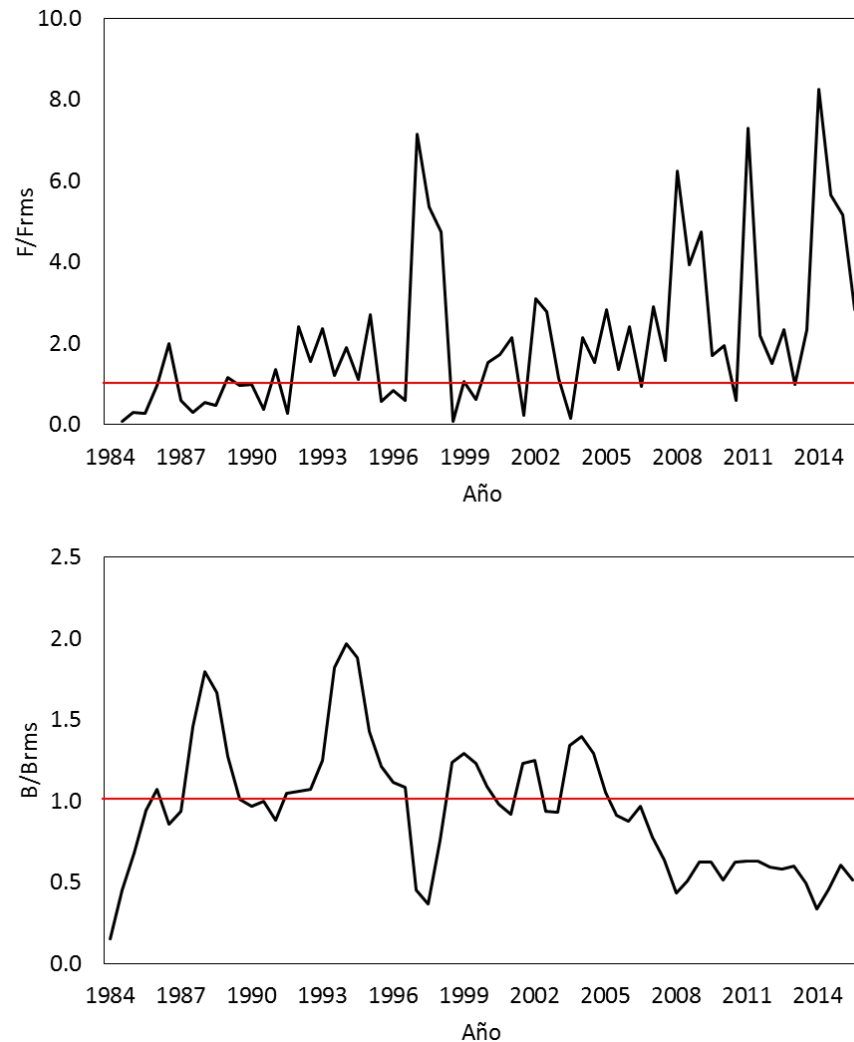


Figura 32. Raz3n de la mortalidad por pesca (arriba) y biomasa desovante (abajo) respecto de sus referentes asociados al RMS Anchoveta zona Sur del Per3-Norte de Chile (XV-II Regiones), 1984-2015. Caso 1. La l3nea roja representa el objetivo referido al RMS.

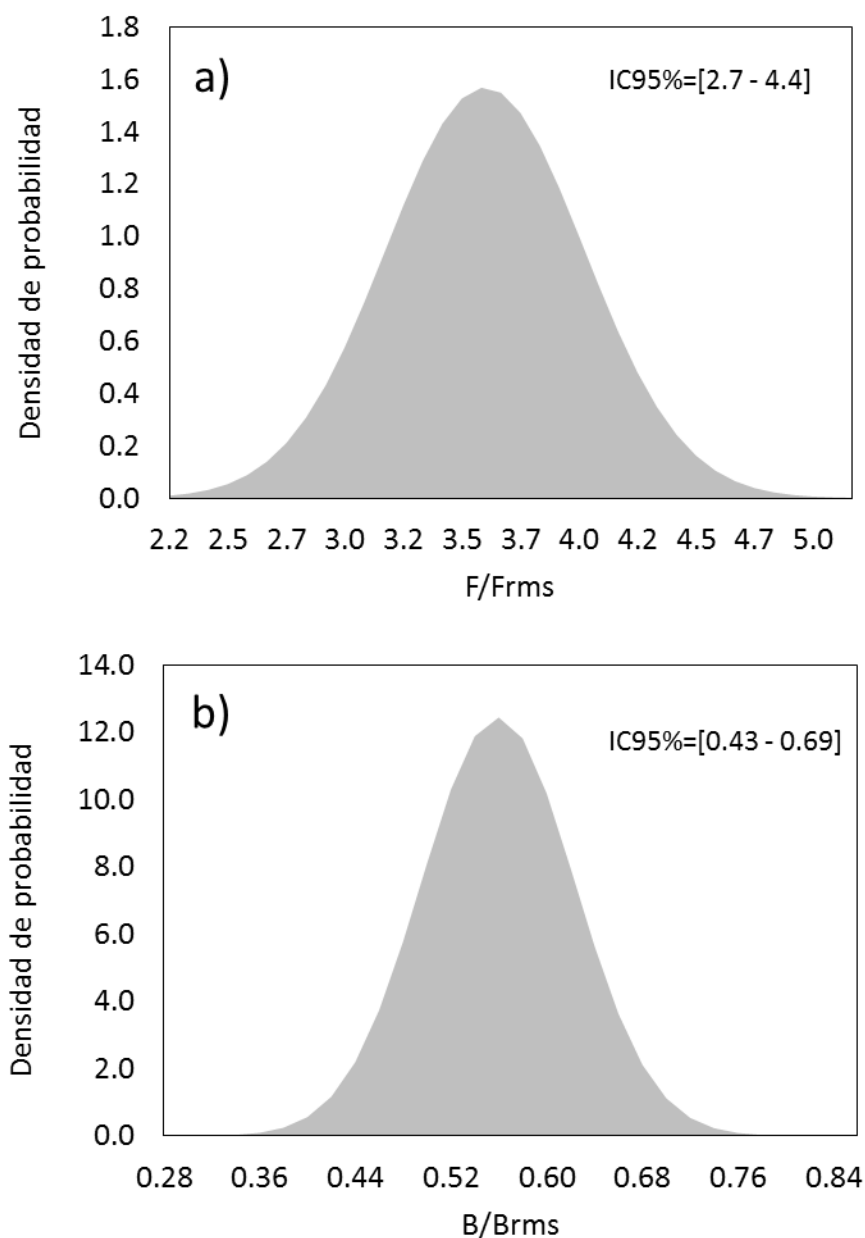


Figura 33. Distribución de probabilidad de la mortalidad por pesca anual y biomasa desovante anual 2015 respecto de sus referentes asociados al RMS generados desde la matriz de varianza. Anchoveta zona Sur del Perú-Norte de Chile (XV-II). Caso 1.

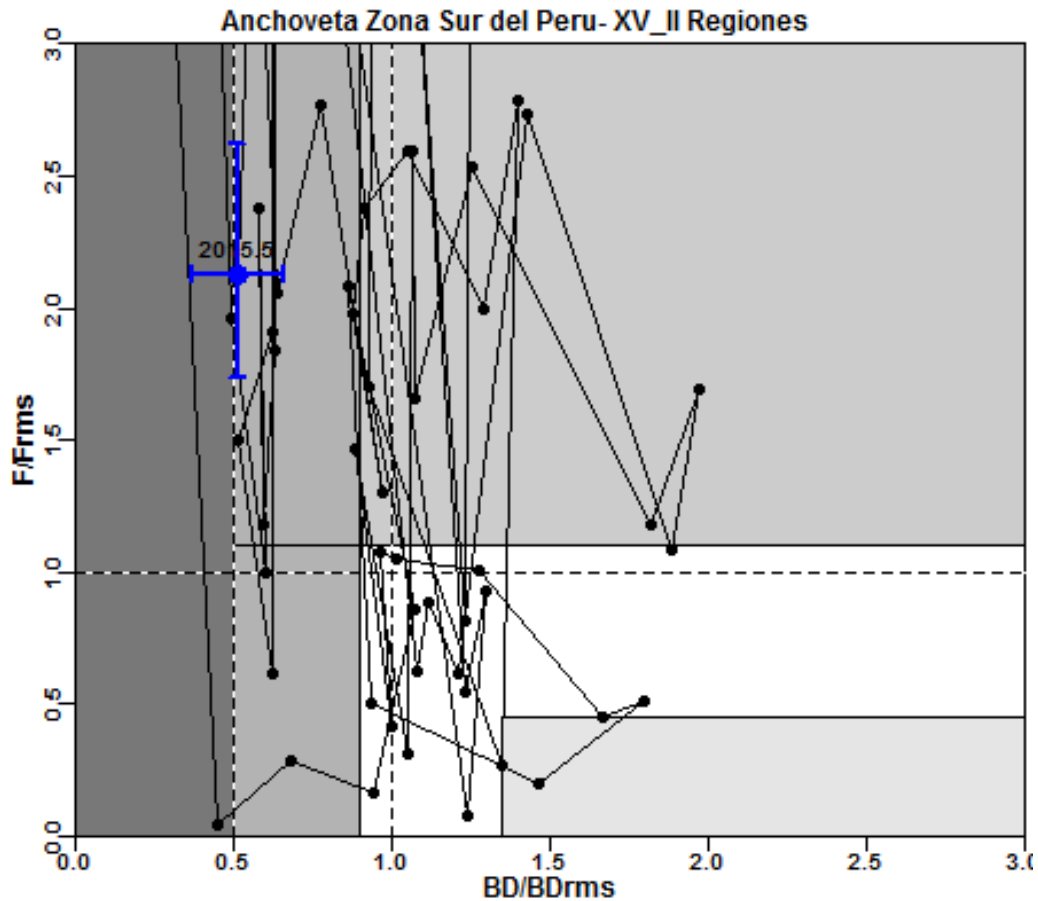


Figura 34. Diagrama de fase del stock de Anchoveta zona Sur del Perú-Norte de Chile (XV-II), 1984-2015 en escala semestral. Caso 1. En azul se destaca la condición para el 2do semestre del 2015. F =mortalidad por pesca proveniente de la evaluación de stock, F_{RMS} =mortalidad por pesca del objetivo de manejo (MRS), esto es aquella que genera un escape del 55% de la biomasa desovante virginal por recluta y B_{RMS} la biomasa al Rendimiento Máximo Sostenible equivalente al proxy del 50% de la biomasa desovante virginal.



3.3. Sardina espa1ola

La especie *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) conocida como sardina tiene una amplia distribuci3n en el Pacífico Suroriental desde el Ecuador (01°39'-37°00'LS) incluyendo las Islas Galápagos y alcanzando hasta los 42°S frente a Chile (Parrish *et al.*, 1989, Checkley *et al.*, 2009). A los menos tres stocks has sido propuesto para el Suroeste de la Costa del Pacífico, (i) Sur de Ecuador y centro de Perú, (ii) desde el sur de Perú al Norte de Chile, (iii) sur de Coquimbo (30°LS) a Talcahuano (37°LS). En períodos de alta abundancia puede ser encontrada hasta las 200 mn y alcanzando profundidades cercanas a los 100 m.

La pesquería de este recurso en Chile comenzó a mediados de la década de los 1950s con capturas del orden de las 80.000 toneladas por año hasta el año 1972. Los desembarques alcanzaron un máximo en 1985 de cerca de 3 millones de toneladas en conjunto con el sur de Perú (**Figura 35**), colapsando la pesquería alrededor del año 1994 con un incremento relativo el año 1999. Las capturas en el sur de Perú fueron siempre muy inferiores a las registradas en Chile dando cuenta solo de un 20% de los desembarques del stock total. Desde el año 2009, la sardina ha sido capturada por la flota artesanal pelágica, sin embargo, el nivel de desembarque ha sido inferior a las 10 toneladas anuales en Chile. Las escasas capturas han disminuido en forma importante la colecta de muestra, y desde el año 2003 en adelante estas son prácticamente nulas, dificultando la elaboraci3n de indicadores.

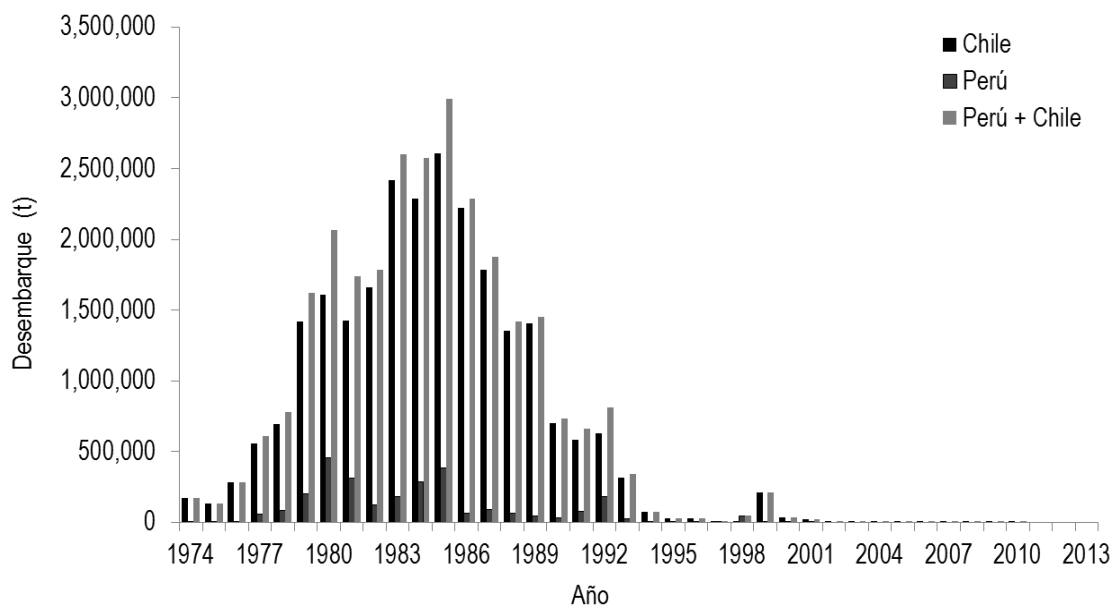


Figura 35. Desembarque de sardina espa1ola Sur de Perú y Norte de Chile entre 1974–2013.



La sardina es un pez heterosexual sin diferenciaci3n sexual. Estudios histol3gicos demuestran que la sardina espa1ola es un desovador parcial con un per3odo extendido de actividad reproductiva (Herrera *et al.*, 1994). El per3odo de desove principal ocurre de agosto a septiembre y el secundario de febrero a marzo.

La sardina se caracteriz3 por alcanzar una edad m1xima de alrededor de 11 a1os, seg3n lo identificado en agua chilenas y una longitud m1xima observada de 39.5 cm. El **Tabla 13** resume las diferentes estimaciones de crecimiento de sardina en aguas chilenas.

Tabla 13.

Par1metros de crecimiento de *Sardinops sagax* frente a la costa de Chile (Serra & Tsukayama, 1988).

M3todo	L_{∞} (cm)	k (a1o ⁻¹)	t_0 (a1o)
Tallas	37,28	0,50	0,121
Anillos	40,00	0,21	-0,916
Tallas	37,73	0,46	-0,287

La mortalidad natural de la sardina espa1ola ha sido estimada en 0.3 a1o⁻¹ usando el m3todo de Pauly (1980) (Serra *et al.*, 1988), en tanto la talla de madurez se estim3 para Chile en 26,5 cm (Mart3nez *et al.*, 1983).

La 3ltima evaluaci3n de stock de sardina fue llevada a cabo en el a1o 2003, incluyendo informaci3n hasta el a1o 2001 (Serra *et al.*, 2003). No se llevaron a cabo evaluaciones de stock posteriores debido a falta de informaci3n disponible debido a estado de baja abundancia. La aproximaci3n utilizada para evaluar la sardina fue el ADAPT (Gavaris, 1988) tomando en cuenta 3ndices independientes de la pesquer3a (Serra *et al.*, 2003). La informaci3n para desarrollar la evaluaci3n consisti3 en:

- Desembarques del Per3 y Norte de Chile 1974-2001.
- Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) Norte de Chile 1986-2001
- Captura a la edad desde 1974 al 2001
- Pesos medios a la edad 1974-2001
- Ojiva de madurez
- Mortalidad natural ($M=0.3$ a1o⁻¹)
- 3ndice de ictioplancton (densidad de larvas) 1985-2001

Un resumen de la evaluaci3n de stock de sardina para el periodo 1974 al 2001, se presenta en la **Figura 36**. Los reclutamientos m1ximos se observaron en la d3cada de los a1os 1970s y comienzos de los a1os 1980s, disminuyendo hacia inicios de los 1990s. Los niveles m1ximos de biomasa total y desovante se observaron tambi3n hacia finales de la d3cada de los 70s y comienzos de los 1980s.

Las tasas de explotaci3n m1s altas ocurrieron a comienzos de los a1os 1990s, cuando el stock ya ven1a decayendo en forma importante.

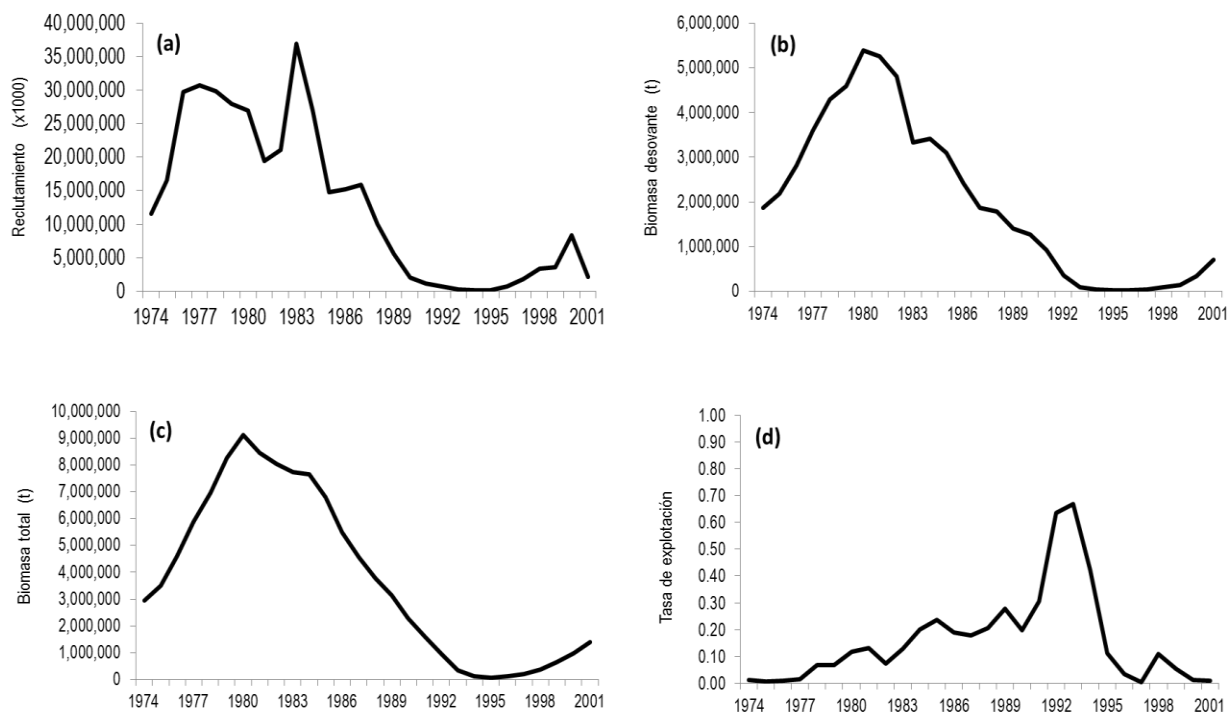


Figura 36. (a) Reclutamiento (b) biomasa desovante, (c) biomasa total y (d) tasa de explotaci3n (1974-2001) del stock de sardina espa1ola sur de Per1 y Norte de Chile (Serra *et al.*, 2003). El eje-y indexa en esta caso la variable temporal a1o.



5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN RESULTADOS

Se realizó la actualización de la evaluación de stock de anchoveta de la zona Sur del Perú-norte de Chile (XV-II Regiones) con información de capturas de las flotas de Chile y Perú, así como de índices de abundancia generados en diversos cruceros científicos. La evaluación de stock consideró un caso base condicionado a parámetros que han sido empleados en los últimos dos años, y del análisis de 8 escenarios complementarios realizado con el objeto de evaluar la incertidumbre estructural.

A diferencia de los análisis anteriores y sin que tuviera mayor impacto en las estimaciones, el modelo de crecimiento fue parametrizado nuevamente en términos del modelo de Von Bertalanffy (Loo y k) debido a que el modelo de Schnute & Fournier (1980) que venía siendo empleado hasta el año pasado, resultaba difícil de interpretar en cuanto a valor de sus parámetros. Para esto y previo a la evaluación de stock, el valor de Loo, k y L_0 del modelo de VB fue estimado luego del ajuste a las tallas estimadas del modelo de Schnute & Fournier (1980). Otra variante de menor impacto respecto del modelo del año pasado, fue la incorporación de bloques de selectividad de las flotas chilena y peruana, con lo cual se pudo reducir los efectos de correlación identificados en trabajos previos.

Los análisis de sensibilidad en la evaluación de stock permitieron establecer que los datos y el modelo de evaluación de la anchoveta no entregan información respecto del parámetro h de la relación S/R y que el supuesto inicial de una alta resiliencia $h=0.95$ es probable. El análisis asimismo indicó que la modelación de la variabilidad del reclutamiento semestral debiese ser realizado con un valor de desviación estándar mayor y cercano a $\sigma=1.0$, para el cual el ajuste del modelo general a los datos es mejor no obstante tiene bajo efecto en las estimaciones poblacionales. Asimismo y frente a un valor de M mayor lo que debería estar sustentado en nuevas evidencias sobre la longevidad de la anchoveta y de parámetros de crecimiento, el modelo de evaluación sugiere importantes mejoras en la condición poblacional las que debiesen ser analizadas con mayor atención. Este análisis permitió establecer que la situación de explotación de la anchoveta no parece discrepar significativamente frente a supuestos estructurales y se resumen en una reducción del potencial reproductivo RPR inferior a 0.48, mientras que la biomasa desovante respecto de la biomasa virginal (B/Bo) se ubicaría por debajo 0.29

Las variables poblacionales de anchoveta mostraron que desde mediados de la década pasada se habrían registrado anomalías negativas en los reclutamientos junto a la reducción de su variabilidad, lo que junto al incremento de la mortalidad por pesca particularmente de la flota Chilena, habrían generado que la población desovante se re-escalara a la mitad de sus valores históricos a partir del año 2008. La biomasa desovante promedio para el año 2015 se estima en torno a las 1.1 millón de toneladas que corresponde a la mitad de los niveles registrados antes del 2006, no obstante sujetos a un importante nivel de incertidumbre equivalente a un coeficiente de variación próximo al 50%.



En cuanto al estado de situación, la variabilidad de los patrones de explotación generó una estimación del F_{rms} (0.59) que es levemente mayor al empleado hasta el año pasado sin que con ello modificara la situación de la anchoveta, la cual se encuentra con niveles de mortalidad por pesca más de dos veces superior al máximo definido por el F_{rms} y una biomasa desovante próxima a la mitad del objetivo B_{rms} estimado en torno a los 2 millones de toneladas. Esta situación genera una probabilidad cierta de definir el stock de anchoveta en sobre-pesca y sobre-explotación. En este sentido cabe indicar que particularmente en recursos de pequeños pelágicos resulta complejo definir puntos biológicos de referencia sobre la base de una biomasa virginal de largo plazo (B_0), esto debido a las oscilaciones del reclutamiento como consecuencia de cambios de régimen en el ecosistema (Polovina, 2005). En la anchoveta se podría evaluar de manera complementaria como indicador de reducción poblacional, la Reducción del Potencial Reproductivo (RPR) que en términos dinámicos proporciona una idea de la condición de la biomasa respecto de la hubiese existido sin explotación para el actual régimen de productividad (reclutamientos). Los resultados en este sentido mostrarían que la condición de explotación no sería tan severa ($RPR=0.42$) y se ubicaría más próxima al objetivo de manejo ($RPR=0.50$), por lo que leves mejoras en el tren de reclutamientos podrían ser suficientes para al menos revertir la sobreexplotación ($B < B_{rms}$). En cuanto a la sobrepesca, se trata de una situación un tanto más compleja debido a la imposibilidad de realizar un manejo conjunto con el Perú.

Finalmente, en términos generales se puede indicar que la modelación poblacional en este recurso requiere avanzar en la mejora del tratamiento de las fuentes de incertidumbre así como en los criterios o supuestos relativos al crecimiento y de las implicancias que este puede tener en la evaluación de stock. El solo hecho de un mayor crecimiento, menor longevidad y una mortalidad natural más grande generará un cambio en la escala de las estimaciones poblacionales y probablemente una condición de explotación diferente. Un modelo de evaluación en escala anual pero con observaciones intra-anales podría ser una forma alternativa para el análisis y tratamiento de los datos, esto como una componente más de la incertidumbre estructural.



6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barros, M. 2007. Simulación de la alternancia entre anchoveta (*Engraulis ringens*) y sardina (*Sardinops sagax*) en el norte de Chile (18°20'-24°00'S). MSc. Thesis, Universidad de Concepción, Chile, 74 pp.
- Böhm, G., Hernández, C., Pérez, G., Díaz, E., Cortez, L., Ossa, L., Cerna, F., Valero, C., Machuca, C., Muñoz, L., Reyes, H., Troncoso, M., Gaspar C., Young, Z., Aravena, R. Asesoría integral para la toma de decisiones en pesca y acuicultura, 2013. Actividad 1: Recursos pelágicos: Pesquería Recursos pelágicos Zona Norte. Subsecretaría de Economía. Informe Final. 267 pp.
- Butler, J. 1989. Growth during the larval and juveniles stages of the northern anchovy *Engraulis mordax* in the California Current, 1980-1984. Fish. Bull. 87: 645-652.
- 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.
- Canales, T.,M. 2013. Size-based dynamics of the pelagic fish community off Northern Chile. PhD Thesis, University of York, UK, 172 pages.
- Canales, M. y Canales, C. 2013. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2014. Proyecto 2.6. Investigación del status y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de anchoveta y sardina española regiones XV a II, año 2014: Anchoveta XV - II Regiones, 2014. Primer Informe. Instituto de Fomento Pesquero. 39 pp. + Anexos.
- Canales, M. 2014. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2014. Proyecto 2.6. Investigación del status y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de anchoveta y sardina española regiones XV a II, año 2014: Anchoveta XV - II Regiones, 2014. Informe Final. Instituto de Fomento Pesquero. 39 pp. + Anexos.
- Canales, C., Wiff, R y Quiroz, J., C. 2011. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2012. Metas Cualitativas; Cuarto Objetivo Específico. Informe Final. 23 pp + Anexos.
- Castillo R, Peraltilla S, Aliaga A, Flores M, Ballón M, Calderón J, Gutiérrez M. 2009. Protocolo técnico para la evaluación acústica de las áreas de distribución y abundancia de recursos pelágicos en el mar peruano. Versión 2009. Informe IMARPE Vol. 36(1-2): 7-28. Enero-Junio 2009.



- Castillo, J. A. Saavedra, C. Hernández, V. Catasti, F. Leiva, J. Letelier, H. Reyes, M. Pizarro, B. Leiva, F. Cerna, A. López, L. Herrera, G. Claramunt, A. Mujica y E. Uribe. 2009. Evaluación hidroacústica reclutamiento anchoveta entre la XV y IV Regiones, año 2009. Informe Final. FIP 2008-02. 285 pp + Figuras, Tablas y Anexos.
- Castillo, J. A. Saavedra, F. Leiva, H. Reyes, M. Pizarro, F. Espíndola, V. Catasti, C. Lang, C. Hernández, B. Leiva, F. Cerna, A. López, L. Herrera, G. Claramunt, E. Oliva, P. Moreno y M. Medina. 2010. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2010. Informe Final. FIP 2009-02. 225 pp + Figuras, Tablas y Anexos.
- Castillo, J. A. Saavedra, F. Leiva, H. Reyes, M. Pizarro, V. Catasti, C. Lang, M., San Martín, B. Leiva, F. Cerna, A. López, L. Herrera. 2011. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2011. Informe Final. FIP 2010-13. 248 pp + Figuras, Tablas y Anexos.
- Castillo, J. A. Saavedra, F. Leiva, H. Reyes, M. Pizarro, V. Catasti, C. Lang, M., San Martín, B. Leiva, F. Cerna, A. López, L. Herrera. 2012. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2012. Informe Final. FIP 2010-13. 248 pp + Figuras, Tablas y Anexos.
- Castillo, J. A. Saavedra, F. Leiva, H. Reyes, M. Pizarro, V. Catasti, C. Lang, M., San Martín, B. Leiva, F. Cerna, A. López, L. Herrera. 2013. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2013. Pre-Informe Final. FIP 2012-11. 248 pp + Figuras, Tablas y Anexos.
- Chavez, F. P., and M. Messié. 2009. A comparison of Eastern Boundary Upwelling Ecosystems. *Progress in Oceanography*, 83:80–96. Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.pocean.2009.07.032.
- Checkley, D. M., P. Ayón, Baumgartner, M. Bernal, J. C. Coetzee, R. Emmett, R. Guevara-Carrasco, L. Hutchings, L. Ibaibarraiga, H. Nakata, Y. Oozeki, B. Planque, J. Schweigert, Y. Stratoudakis, and C. van der Lingen. 2009. Habitats. In: Checkley, D. (Ed.), *Climate Change and Small Pelagic Fish*. The University Press Cambridge, 351 pp.
- Chirichigno, N. y J. Vélez. 1998. Clave para identificar los peces marinos del Perú (2da edición). Pub. Esp. Inst. Mar Perú. 500 p.
- Claramunt, G., Herrera, G., Moreno, P. & Azocar, C. 2014. Evaluación de la biomasa desovante de anchoveta en la XV, I y II Regiones, Año 2013. Pre-Informe Final. FIP 2013-06.
- Córdova, J., Reyes, H., Leiva, H. & Catasti, V. 2014. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta entre la XV, I y II Regiones, año 2014. Informe de Avance. FIP 2013-03. 63 pp + Anexos.



- Cubillos, L. A., R. Serra, and P. Fréon. 2007. Synchronous pattern of fluctuation in three anchovy fisheries in the Humboldt Current System. *Aquatic Living Resources* 75:69–75.
- Francis, R. I. C. 2011. Data weighting in statistical fisheries stock assessment models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 68: 1124-1138.
- Gavaris, S., Ianelli, J. N., 2001. Statistical issues in fisheries stock assessment. *Scand. J. Statistics: Theory and Appl.*, 29, 245-272. 2001.
- Gutiérrez, M., Swartzman, G., Bertrand, A., Bertrand, S., 2007. Anchovy (*Engraulis ringens*) and sardine (*Sardinops sagax*) spatial dynamics and aggregation patterns in the Humboldt Current ecosystem, Perú, from 1983-2003. *Fish. Oceanogr.* 16, 155–168.
- Herrera, G., E. Tarifeño, and M. C. Orellana. 1987. Description off eggs and early larval stages of common sardine (*Strangomera bentincki*) and the menhaden (*Ethimidium maculatum*). *Biología Pesquera*, 16:107–113.
- Marzloff, M., Y.-J. Shin, J. Tam, M. Travers, and A. Bertrand. 2009. Trophic structure of the Peruvian marine ecosystem in 2000–2006: Insights on the effects of management scenarios for the hake fishery using the IBM trophic model Osmose. *Journal of Marine Systems*, 75:290–304. Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.jmarsys.2008.10.009.
- Medina, M., H. Arancibia, and S. Neira. 2007. Un modelo trófico preliminar del ecosistema pelágico del Norte de Chile (18°20'S-24°00'S). *Investigaciones Marinas*, 35:25–38.
- Martínez, C. *et al.* 1983. Análisis de las pesquerías 1982. Corporación de Fomento de la Producción (AP-85-39). Santiago, Chile, Instituto de Fomento Pesquero, 133 p. + Anexos.
- Melo, Y. C. 1984. Age studies on anchovy *Engraulis capensis* Gilchrist off South West Africa. *S. Afr. J. mar. Sci.* 2: 19-31.
- Martínez, C., Baros., V., Cortes., M *et al.* 1998. Programa de Marcaje de Anchoveta. Fase I: Marcacio. Informe Final FIP-IT/96-04. Fondo de Investigación Pesquera (FIP), 88 pp +Anexos.
- Martínez, C., M.G. Böhm, E. Díaz, L. Ossa, H. Reyes, J. Letelier, R. Aravena, H. Padilla, F. Cerna, C. Machuca, V. Bocic, L. Muñoz, M. Troncoso. 2009. Investigación Situación Pesquería Pelágica Zona Norte, 2008. Informe Final. IFOP/SUBPESCA.
- NRC-National Research Council. 1998. Improving Fish Stock Assessments. National Academic Press. Washington D.C.: 188 pp.
- Leal E. y Canales C. 2014. Convenio de Desempeño: “Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, 2015”. Anchoveta III-IV Regiones. Informe de estatus y cuota. 110 pp.



- Parrish, R. H., Serra, R. and Grant, W., S. 1989. The Monotypic Sardines, *Sardina* and *Sardinops*: Their Taxonomy, Distribution, Stock Structure, and Zoogeography. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46: 2019-2036.
- Payá I, C. Canales, D. Bucarey, M. Canales, F. Contreras, F. Espíndola, E. Leal, C. Montenegro, J. Quiroz & R. Tascheri. 2014a. 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.
- Payá I, C. Canales, D. Bucarey, M. Canales, F. Contreras, F. Espíndola, E. Leal, C. Montenegro, J. Quiroz & R. Tascheri. 2014b. Revisión de los puntos biológicos de referencia (Rendimiento Máximo Sostenible) en las pesquerías nacionales. Reporte Segundo Taller Internacional. Subsecretaría de Economía - IFOP. 36 pp.+ Anexos
- 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
- Prosch, R. M. 1986. Early growth in length of the anchovy *Engraulis capensis* Gilchrist off South Africa. *S. Afr. J. mar. Sci.* 4: 181-191.
- Pauly, D. 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer* 39(3): 175-192.
- Restrepo V.R., G.G. Thompson, P.M. Mace, W.L. Gabriel, L.L. Low, A.D. MacCall, R.D. Methot, J.E. Powers, B.L. Taylor, P.R. Wade, & J.F. Witzig. 1998. Technical Guidance On the Use of Precautionary Approaches to Implementing National Standard 1 of the Magnuson-Stevens Fishery Conservation and Management Act. NOAA Technical Memorandum NMFS-F/SPO.
- Reyes, H., Pizarro, M., Valenzuela, V., Moreno, P., Azócar, C., Claramunt, G., Herrera, G., Díaz, E., Moreno, P., Azócar, C., Böhm, G., Espíndola, F., Saavedra, J.C. & Catasti, V. 2014. Informe Final FIP: 2013-06. Evaluación del stock desovante de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2013. 529 pp.
- Rojas O, A Mujica, M Labra, G Lederman & H Miles. 1983. Estimación de la abundancia relativa de huevos y larvas de peces. Informe IFOP/CORFO 83-31: 1-99.
- Saavedra, J. C. 2006. Sistema de Cálculo de Indicadores, (SCI). Informe Final, IFOP-SUBPESCA, Chile.
- Schnute, J. and Fournier, D. 1980. A new approach to length-frequency analysis: Growth Structure. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(9): 1337-1351.



- Serra, R. and R. Gil. 1975. Marcación de anchoveta en la Zona norte de Chile. Metodología y trabajos preliminares. Rev. Com. Perm. Pacifico Sur, 3: 3-19.
- Serra, J.R. 1983. Changes in the abundance of pelagic resources along the Chilean coast. In: G.D. Sharp and J. Csirke (Eds.) Proceedings of the Expert Consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources. San José, Costa Rica, 18 - 29 April 1983. FAO Fish. Rep. 291 (2): 255 - 284.
- Serra, R and I. Tsukayama, 1988. Sinopsis de datos biológicos y pesqueros de la sardina *Sardinops sagax sagax* en el Pacífico suroriental. FAO Sinop. Pesca (13) Rev.1:60p.
- Serra, R., P. Barría y J. Castillo. 2001. Investigación evaluación de stock recurso anchoveta, 2001. Stock zona norte y sur del Perú. Informe Final IFOP/SUBPESCA, 41 pp.
- Serra, R. and Canales. C., 2003. Investigación evaluación de stock anchoveta y sardina española, 2003 (I II Región). Informe Final. IFOP/SUBPESCA.46 pp.
- Serra, R. y C. Canales. 2010. Investigación del estatus y evaluación de estrategias de explotación sustentables en anchoveta y sardina española, regiones XV, I y II, 2010. Informe Final. IFOP/SUBPESCA. 47 p. + anexos.
- Serra, R. y C. Canales. 2011. Investigación del Estatus y Evaluación de Estrategias de Explotación Sustentables 2011, de las Principales Pesquerías Chilenas. Actividad 1: Peces Pelágicos: Anchoveta y sardina española XV, I y II Regiones. 2011.
- Serra, R. y C. Canales. 2012. Estatus y Posibilidades de Explotación Biológicamente Sustentables de los Principales Recursos Pesqueros Nacionales, Año 2012. Evaluación de Estrategias de Explotación Sustentables 2011, de las Principales Pesquerías Chilenas. Actividad 1: Peces Pelágicos: Anchoveta y sardina española XV, I y II Regiones. 2011.
- Serra, R. y C. Canales. 2013. Investigación del Estatus y Evaluación de Estrategias de Explotación Sustentables 2013, de las Principales Pesquerías Chilenas. Actividad 1: Peces Pelágicos: Anchoveta y sardina española XV, I y II Regiones. 2011. Informe Final.
- Thiel, M., E. C. Macaya, E. Acuña, W. Arntz, H. Bastias, K. Brokordt, P. Camus, J. C. Castilla, L. Castro, M. Cortes, C. Dumont, R. Escribano, M. Fernández, J. Gajardo, C. Gaymer, I. Gómez, A. Gonzalez, H. Gonzalez, P. Haye, J.-E. Illanes, J. L. Iriarte, D. Lancelloti, G. Luna-Jorquera, C. Luxoro, P. Manríquez, M. Victor, P. Muñoz, S. Navarrete, E. Perez, E. Poulin, J. Sellanes, H. Sepulveda, W. Stotz, F. Tala, A. Thomas, C. Vargas, J. Vásquez, and A. Vega. 2007. The Humboldt Current System of Northern and Central Chile Oceanographic Processes, ecological interactions and socioeconomic feedback. Oceanography and Marine Biology: An Annual Review, 45:195–344.



- Valle-Levinson A & J Moraga-Opazo. 2006. Observations of bipolar residual circulation in two equatorward-facing semiarid bays. *Continental Shelf Research* 26: 179-193.
- Waldron, M., M.J. Armstrong y R.M. Prosch. 1989. Aspects of the variability in growth of juvenile anchovy *Engraulis capensis* in the southern Benguela System. *S. Afr. J. mar. Sci.* 8:9-19.
- Waldron, M., M.J. Armstrong y B.A. Roel. 1992. Birthdate distribution of juvenile anchovy *Engraulis capensis* caught in the southern Benguela System. *S. Afr. J. mar. Sci.* 12: 865-871.

A N E X O S

A N E X O 1

Código y datos del modelo de evaluación de la anchoveta
Sur del Perú – Norte de Chile (XV-II Regiones)
(Incluida en CD presentado al inicio del documento)



```
GLOBALS_SECTION
#include <admodel.h>
#include <stdio.h>
#include <time.h>
time_t start,finish;
long hour,minute,second;
double elapsed_time;
adstring nombre_file;
adstring nombre_data;

TOP_OF_MAIN_SECTION
time(&start);
arrmbldsize = 50000000;
gradient_structure::set_GRADSTACK_BUFFER_SIZE(1.e7);
gradient_structure::set_CMPDIF_BUFFER_SIZE(1.e7);
gradient_structure::set_MAX_NVAR_OFFSET(5000);
gradient_structure::set_NUM_DEPENDENT_VARIABLES(5000);

DATA_SECTION

init_int ntime
init_int nedades
init_int ntallas
init_matrix matdat(1,ntime,1,16)
init_vector edades(1,nedades)
init_vector Tallas(1,ntallas)
init_matrix Ctot_ch(1,ntime,1,ntallas)
init_matrix Ctot_pe(1,ntime,1,ntallas)
init_matrix Ccru(1,ntime,1,ntallas)
init_vector Wmed(1,ntallas)
init_vector msex(1,ntallas)

//!! ad_comm::change_datafile_name("mst2f_opt.ct1");

init_vector cvar(1,2)
init_int fasedevR
init_int fasedevNo

init_vector dt(1,4)

init_int nbloques1 // Chilean selectivity
init_vector ybloques1(1,nbloques1)
init_int nbloques2 // Peruvian Selectivity
init_vector ybloques2(1,nbloques2)
init_int nbloques3
init_vector ybloques3(1,nbloques3)

init_vector pars_Bio(1,7)
init_vector cvpars_Bio(1,7)
init_int opt_Linf
init_int opt_k
init_int opt_Lo
init_int opt_alfa
init_int opt_beta
init_int opt_M
init_int opt_h

number log_Linfprior // Diferencia de las tallas medias
number log_kprior
number log_Loprior
```



```
number log_alfa_prior
number log_beta_prior
number log_M_prior
number log_h_prior

// !!cout << cvpars_Bio <<endl;exit(1);

!! log_Linfprior= log(pars_Bio(1));
!! log_kprior = log(pars_Bio(2));
!! log_Loprior = log(pars_Bio(3));
!! log_alfa_prior = log(pars_Bio(4));
!! log_beta_prior = log(pars_Bio(5));
!! log_M_prior = log(pars_Bio(6));
!! log_h_prior = log(pars_Bio(7));

init_number A50
init_number rango
init_number cv_A50
init_number cv_rango

init_int      opt_Scrul
init_int      opt1_fase
init_int      opt_q
init_int      faseF
number logA50_prior
number logRango_prior

!!logA50_prior=log(A50);
!!logRango_prior=log(rango);

init_number cvF
init_int      npbr
init_vector pbr(1,npbr)
init_int ntime_sim
init_int sem1
init_int sem2
init_int opt_Str
init_number RPRmsy
init_number pR
init_number multFO

INITIALIZATION_SECTION
// defino un valor inicial de log_reclutamiento promedio (factor de escala)

// log_Linf      log_Linfprior
// log_k         log_kprior
log_Lo          log_Loprior
log_alfa        log_alfa_prior
log_beta        log_beta_prior
// log_M         log_M_prior
// log_h         log_h_prior
log_A50f_ch     logA50_prior
log_A50f_pe     logA50_prior
log_A50c        logA50_prior
log_rangof_ch   logRango_prior
log_rangof_pe   logRango_prior
log_rangoc      logRango_prior
```



PARAMETER_SECTION

```
// Selectividad paramétrica
init_vector log_A50f_ch(1,nbloques1,opt1_fase)
init_vector log_rangof_ch(1,nbloques1,opt1_fase)
init_vector log_A50f_pe(1,nbloques2,opt1_fase)
init_vector log_rangof_pe(1,nbloques2,opt1_fase)
init_vector log_A50c(1,nbloques3,opt_Scrul)
init_vector log_rangoc(1,nbloques3,opt_Scrul)
// init_number log_M(opt_M)
// init_number log_h(opt_h)

// Parametros reclutamientos y mortalidades)
init_number log_Ro(1)
init_bounded_dev_vector dev_log_Ro(1,ntime,-10,10,fasedevR)
init_bounded_vector dev_log_No(1,nedades-1,-10,10,fasedevNo)
init_bounded_vector log_Ft_ch(1,ntime,-50,1.39,faseF) // log mortalidad por pesca por
flota
init_bounded_vector log_Ft_pe(1,ntime,-50,1.39,faseF) // log mortalidad por pesca por
flota

// capturabilidades
init_number log_qacus(opt_q)
init_number log_qrch(opt_q)
init_number log_qrpe(opt_q)
init_number log_qmph(opt_q)

// Crecim y M

// init_number log_Linf(opt_Linf)
// init_number log_k(opt_k)
init_number log_Lo(opt_Lo)
init_number log_alfa(opt_alfa)
init_number log_beta(opt_beta)

//Defino las variables de estado
vector BMflo(1,ntime)
vector Bcru(1,ntime)
vector Brec(1,ntime)
vector pred_Acus(1,ntime);
vector pred_RCH(1,ntime);
vector pred_RPE(1,ntime);
vector pred_Ictio(1,ntime);
vector pred_MPH(1,ntime);
vector pred_CPUE(1,ntime);
vector pred_Desemb_ch(1,ntime);
vector pred_Desemb_pe(1,ntime);
vector anos(1,ntime);
vector Acus(1,ntime);
vector RCH(1,ntime);
vector RPE(1,ntime);
vector Ictio(1,ntime);
vector MPH(1,ntime);
vector CPUE(1,ntime);
vector Desemb_ch(1,ntime);
vector Desemb_pe(1,ntime);
vector likeval(1,15);
vector Neq(1,nedades);
```



```
vector Rpred(1,ntime);
vector Unos_edad(1,nedades);
vector Unos_anos(1,ntime);
vector Unos_tallas(1,ntallas);
vector mu_edad(1,nedades);
vector sigma_edad(1,nedades);
vector BDo(1,ntime);
vector No(1,nedades)
vector prior(1,10)
vector Lmed_Chi_obs(1,ntime)
vector Lmed_Chi_pre(1,ntime)
vector Lmed_Per_obs(1,ntime)
vector Lmed_Per_pre(1,ntime)
vector Lmed_Cru_obs(1,ntime)
vector Lmed_Cru_pre(1,ntime)

matrix cv_index(1,6,1,ntime)
matrix nm(1,3,1,ntime)
matrix Sel_f_ch(1,ntime,1,nedades)
matrix Sel_f_pe(1,ntime,1,nedades)
matrix Scru(1,ntime,1,nedades)
matrix Ftot_ch(1,ntime,1,nedades)
matrix Ftot_pe(1,ntime,1,nedades)
matrix Ftot(1,ntime,1,nedades)
matrix Z(1,ntime,1,nedades)
matrix N(1,ntime,1,nedades)
matrix NM(1,ntime,1,nedades)
matrix NMD(1,ntime,1,ntallas)
matrix NDv(1,ntime,1,ntallas)
matrix Nrec(1,ntime,1,ntallas)
matrix NVcru(1,ntime,1,ntallas)
matrix NVflo(1,ntime,1,ntallas)
matrix pred_Ctot_ch(1,ntime,1,ntallas)
matrix pred_Ctot_pe(1,ntime,1,ntallas)
matrix S(1,ntime,1,nedades)
matrix pobs_fch(1,ntime,1,ntallas)
matrix ppred_fch(1,ntime,1,ntallas)
matrix pobs_fpe(1,ntime,1,ntallas)
matrix ppred_fpe(1,ntime,1,ntallas)
matrix pobs_cru(1,ntime,1,ntallas)
matrix ppred_cru(1,ntime,1,ntallas)
matrix Prob_talla(1,nedades,1,ntallas)
matrix P1(1,nedades,1,ntallas)
matrix P2(1,nedades,1,ntallas)
matrix P3(1,nedades,1,ntallas)
matrix Nv(1,ntime,1,nedades)
matrix NMDv(1,ntime,1,nedades)

matrix S1(1,nbloques1,1,nedades)
matrix S2(1,nbloques2,1,nedades)
matrix S3(1,nbloques3,1,nedades)

number suma1
number suma2
number suma3
number suma4
number suma5
number suma6
number suma7
number suma8
```



```
number res1
number res2
number res3
number res4
number n1
number n2
number n3
number n4
number cuenta1
number cuenta2
number cuenta3

number t1
number t2

number So
number Linf
number k
number K
number Lo
number M
number h
number BDp
number Npplus
number RPRp
number Fref
number alfa
number beta

vector Np(1,nedades)
vector Zpbr(1,nedades)
vector Fpbr(1,nedades)
vector Sp(1,nedades)
vector CTP(1,ntallas)
vector NMDp(1,ntallas);
vector Bp_anch(1,ntime_sim)
matrix YTP(1,ntime_sim,1,npbr)
matrix SSBp(1,ntime_sim,1,npbr)
matrix matFpbr(1,ntime_sim,1,npbr)
vector Nvp(1,nedades);
number Nvplus;
vector SDvp(1,ntime_sim);
matrix v(1,ntime_sim,1,npbr);
matrix Depl(1,ntime_sim,1,npbr);

objective_function_value f

sdreport_vector BD(1,ntime) //
sdreport_vector BT(1,ntime) //
sdreport_vector RPR(1,ntime) //
sdreport_vector RPRlp(1,ntime) //
sdreport_vector Reclutas(1,ntime) //
sdreport_vector CBA(1,npbr)
sdreport_number SSBo
sdreport_vector Ftot_ref(1,ntime)

likeprof_number F_fin;
likeprof_number Deple_fin;
```



```
vector log_Fch_prior(1,ntime)
vector log_Fpe_prior(1,ntime)

PRELIMINARY_CALCS_SECTION
// leo la matriz de indices

if(log_rangoc(1)!=logRango_prior){ // si no son iguales entonces lee *.pin
    log_Fch_prior=log_Ft_ch; // log mortalidad por pesca por flota
    log_Fpe_prior=log_Ft_pe; // log mortalidad por pesca por flota
}

anos=column(matdat,1); // asigno la 1 columna de indices a "anos"
Acus=column(matdat,2);
cv_index(1)=column(matdat,3);
RCH=column(matdat,4);
cv_index(2)=column(matdat,5);
RPE=column(matdat,6);
cv_index(3)=column(matdat,7);
MPH=column(matdat,8);
cv_index(4)=column(matdat,9);
Desemb_ch=column(matdat,10);
cv_index(5)=column(matdat,11);
Desemb_pe=column(matdat,12);
cv_index(6)=column(matdat,13);
nm(1)=column(matdat,14);
nm(2)=column(matdat,15);
nm(3)=column(matdat,16);

Unos_edad=1; // lo uso en operaciones matriciales con la edad
Unos_anos=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 200,500,500,2500,2500
// convergence_criteria 1.e-2,1.e-2,1.e-3,1e-5,1e-5

convergence_criteria 1.e-1,1.e-01,1.e-03,1e-5,1e-5
maximum_function_evaluations 100,100,200,3000,5000

PROCEDURE_SECTION
// se listan las funciones que contienen los calculos

Eval_prob_talla_edad();
Eval_selectividad_logis();
Eval_mortalidades();
Eval_abundancia();
Eval_biomosas();
Eval_capturas_predichas();
Eval_indices();
Eval_deinteres();
Eval_logverosim();
Eval_funcion_objetivo();

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



```
FUNCTION Eval_prob_talla_edad

int i, j;

Linf=exp(log_Linfprior);
k=exp(log_kprior);
Lo=exp(log_Lo);

//cout<<Lo<<endl;exit(1);

mu_edad(1)=Lo;
for (i=2;i<=nedades;i++){
    mu_edad(i)=mu_edad(i-1)*exp(-k)+Linf*(1-exp(-k));
}

sigma_edad=exp(log_alfa)+exp(log_beta)*mu_edad;

for (i=1;i<=nedades;i++){
    P1(i)=(Tallas-mu_edad(i))/sigma_edad(i); // estandarización a N(0,sigma)

    for (j=1;j<=ntallas;j++){
        P2(i,j)=cumd_norm(P1(i,j));}

    for (i=1;i<=nedades;i++){
        for (j=2;j<=ntallas;j++){
            P3(i,j)=P2(i,j)-P2(i,j-1);}

    Prob_talla=elem_div(P3+1e-16,outer_prod(rowsum(P3+1e-16),Unos_tallas));

FUNCTION Eval_selectividad_logis
int i,j;

for (j=1;j<=nbloques1;j++){
    S1(j)=(elem_div(Unos_edad,(1+exp(-1.0*log(19)*(edades-
        exp(log_A50f_ch(j)))/exp(log_rangof_ch(j))))));
}

for (j=1;j<=nbloques2;j++){
    S2(j)=(elem_div(Unos_edad,(1+exp(-1.0*log(19)*(edades-
        exp(log_A50f_pe(j)))/exp(log_rangof_pe(j))))));
}

for (i=1;i<=ntime;i++){
    for (j=1;j<=nbloques1;j++){
        if (anos(i)>=ybloques1(j)){
            Sel_f_ch(i)=S1(j);}
    }
}

for (i=1;i<=ntime;i++){
    for (j=1;j<=nbloques2;j++){
        if (anos(i)>=ybloques2(j)){
```



```
        Sel_f_pe(i)=S2(j);}
    }
}

// Selectividad de cruceros

for (j=1;j<=nbloques3;j++){
    S3(j) =(elem_div(Unos_edad, (1+exp(-1.0*log(19)*(edades-
        exp(log_A50c(j)))/exp(log_rangoc(j))))));}

    for (i=1;i<=ntime;i++){
        for (j=1;j<=nbloques3;j++){
            if (anos(i)>=ybloques3(j)){
                Scru(i)=S3(j);}
        }
    }

FUNCTION Eval_mortalidades

M=exp(log_M_prior);

Ftot_ch=elem_prod(Sel_f_ch,outer_prod(mfexp(log_Ft_ch),Unos_edad));
Ftot_pe=elem_prod(Sel_f_pe,outer_prod(mfexp(log_Ft_pe),Unos_edad));
Ftot=Ftot_ch+Ftot_pe;

Z=Ftot_ch+Ftot_pe+M;
S=mfexp(-1.0*Z);

Ftot_ref=mfexp(log_Ft_ch)+mfexp(log_Ft_pe);
F_fin=0.5*(Ftot_ref(ntime-1)+Ftot_ref(ntime));// F promedio dos ultimo y penultimo
        semestres

FUNCTION Eval_abundancia
int i, j;

// Biomasa desovante virgen de largo plazo

No(1)=exp(log_Ro+0.5*square(cvar(1)));
for (int j=2;j<=nedades;j++){
    {
        No(j)=No(j-1)*exp(-1.*M);
    }
    No(nedades)=No(nedades)/(1-exp(-1.*M));

SSBo=sum(elem_prod(No*exp(-dt(4)*M)*Prob_talla,elem_prod(msex,Wmed)));

// Stock-recluta
h=exp(log_h_prior);

alfa=4*h*exp(log_Ro)/(5*h-1);//
beta=(1-h)*SSBo/(5*h-1);//

for (i=1;i<=ntime;i++){
    {N(i,1)=mfexp(log_Ro+dev_log_Ro(i));}
}

// Abundancia inicial
```



```
// genero una estructura inicial de equilibrio como referencia para el primer a1o
Neq(1)=N(1,1);
for (j=2;j<=nedades;j++)
{Neq(j)=Neq(j-1)*exp(-Z(1,j-1));}

for (j=2;j<=nedades;j++)// reclutas a la poblacion inicial en torno a Neq
{N(1,j)=Neq(j)*exp(dev_log_No(j-1));}

BD(1)=sum(elem_prod(elem_prod(N(1),mfexp(-dt(4)*Z(1)))*Prob_talla,elem_prod(Wmed,msex)));
Rpred(1)=N(1,1);

for (i=1;i<ntime;i++)
{
  Rpred(i+1)=alfa*BD(i)/(beta+BD(i));
  N(i+1,1)=Rpred(i+1)*exp(dev_log_Ro(i+1));//+0.5*sqrt(cvar(1));
  N(i+1)(2,nedades)=++elem_prod(N(i)(1,nedades-1),S(i)(1,nedades-1));
  N(i+1,nedades)=N(i+1,nedades)+N(i,nedades)*S(i,nedades);// grupo plus
  BD(i+1)=sum(elem_prod(elem_prod(N(i+1),mfexp(-
    dt(4)*Z(i+1)))*Prob_talla,elem_prod(Wmed,msex)));
}

FUNCTION Eval_biomosas

// matrices y vectores de abundancias derivadas
Reclutas=column(N,1);
NVcru=elem_prod(elem_prod(N,mfexp(-dt(1)*Z)),Scru)*Prob_talla;//acoustic

NMD=elem_prod(N,mfexp(-dt(4)*Z))*Prob_talla;//spawning season
NMD=elem_prod(NMD,outer_prod(Unos_anos,msex));

// vectores de biomosas derivadas
Brec=outer_prod(Reclutas,Prob_talla(1))*Wmed;
Bcru=NVcru*Wmed;
BT=(N*Prob_talla)*Wmed;

FUNCTION Eval_capturas_predichas

// matrices de capturas predichas por edad y a1o
pred_Ctot_ch=elem_prod(elem_div(Ftot_ch,Z),elem_prod(1.-S,N))*Prob_talla;
pred_Ctot_pe=elem_prod(elem_div(Ftot_pe,Z),elem_prod(1.-S,N))*Prob_talla;

// vectores de desembarques predichos por a1o
pred_Desemb_ch=pred_Ctot_ch*Wmed;
pred_Desemb_pe=pred_Ctot_pe*Wmed;

// matrices de proporcion de capturas por edad y a1o
pobs_fch=elem_div(Ctot_ch,outer_prod(rowsum(Ctot_ch+1e-10),Unos_tallas));
ppred_fch=elem_div(pred_Ctot_ch,outer_prod(rowsum(pred_Ctot_ch+1e-10),Unos_tallas));

pobs_fpe=elem_div(Ctot_pe,outer_prod(rowsum(Ctot_pe+1e-10),Unos_tallas));
ppred_fpe=elem_div(pred_Ctot_pe,outer_prod(rowsum(pred_Ctot_pe+1e-10),Unos_tallas));

pobs_cru=elem_div(Ccru,outer_prod(rowsum(Ccru+1e-10),Unos_tallas));
ppred_cru=elem_div(NVcru,outer_prod(rowsum(NVcru),Unos_tallas));

FUNCTION Eval_indices
```



```
int i;

pred_Acus=exp(log_qacus)*Bcru;
pred_RCH=exp(log_qrch)*Brec;
pred_RPE=exp(log_qrpe)*Brec;
pred_MPH=exp(log_qmph)*BD;

FUNCTION Eval_deinteres
// aca pongo las variables de interes para mcmc y otras yerbas

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

for (int i=1;i<ntime;i++)
{
    Nv(i+1) (2,nedades)=++Nv(i) (1,nedades-1)*exp(-1.0*M);
}
for (int i=2;i<ntime;i++)
{
    Nv(i,nedades)=Nv(i,nedades)+exp(-1.0*M)*Nv(i,nedades); // grupo plus
}

NDv=elem_prod((Nv*exp(-dt(4)*M))*Prob_talla,outer_prod(Unos_anos,msex));
BDo=NDv*Wmed;
RPR=elem_div(BD,BDo);
RPRlp=BD/SSBo;
Deple_fin=0.5*(RPRlp(ntime-1)+RPRlp(ntime)); // F promedio dos ultimos penultimo semestres

Lmed_Chi_obs=Tallas*trans(pobs_fch);
Lmed_Chi_pre=Tallas*trans(ppred_fch);
Lmed_Per_obs=Tallas*trans(pobs_fpe);
Lmed_Per_pre=Tallas*trans(ppred_fpe);
Lmed_Cru_obs=Tallas*trans(pobs_cru);
Lmed_Cru_pre=Tallas*trans(ppred_cru);

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

suma1=0; suma2=0; suma3=0; suma4=0; suma5=0; suma6=0; suma7=0; suma8=0;
res1=0; res2=0; res3=0; res4=0;
n1=0; n2=0; n3=0; n4=0;

for (i=1;i<=ntime;i++)
{
    if (Acus(i)>0){
        suma1+=square((log(Acus(i))-log(pred_Acus(i)))/cv_index(1,i));
        res1+=square(log(Acus(i))-log(pred_Acus(i)));
        n1+=1;}

    if (RCH(i)>0){
        suma2+=square((log(RCH(i))-log(pred_RCH(i)))/cv_index(2,i));
        res2+=square(log(RCH(i))-log(pred_RCH(i)));
        n2+=1;}

    if (RPE(i)>0){
```



```
suma3+=square((log(RPE(i))-log(pred_RPE(i)))/cv_index(3,i));
res3+=square(log(RPE(i))-log(pred_RPE(i)));
n3+=1;}

if (MPH(i)>0){
  suma4+=square((log(MPH(i))-log(pred_MPH(i)))/cv_index(4,i));
  res4+=square(log(MPH(i))-log(pred_MPH(i)));
  n4+=1;}

if (Desemb_ch(i)>0){
  suma5+=square((log(Desemb_ch(i)+1e-5)-log(pred_Desemb_ch(i)))/cv_index(5,i));}

if (Desemb_pe(i)>0){
  suma6+=square((log(Desemb_pe(i)+1e-5)-log(pred_Desemb_pe(i)))/cv_index(6,i));}
}

FUNCTION Eval_funcion_objetivo
// se calcula la F.O. como la suma de las -logver
// lognormal

likeval(1)=0.5*suma1;//acustica
likeval(2)=0.5*suma2;//rch
likeval(3)=0.5*suma3;//rpe
likeval(4)=0.5*suma4;//DEPM
likeval(5)=0.5*suma5;//Desemb_ch
likeval(6)=0.5*suma6;//Desemb_pe

// multinomial

likeval(7)=-
  1.0*sum(elem_prod(elem_prod(pobs_fch,outer_prod(nm(1),Unos_tallas)),log(ppred_fch
  )));
likeval(8)=-
  1.0*sum(elem_prod(elem_prod(pobs_fpe,outer_prod(nm(2),Unos_tallas)),log(ppred_fpe
  )));
likeval(9)=-
  1.0*sum(elem_prod(elem_prod(pobs_cru,outer_prod(nm(2),Unos_tallas)),log(ppred_cru
  )));

// lognormal Ninicial y Reclutas
likeval(10)=1./(2*square(cvar(1)))*norm2(dev_log_Ro);
likeval(11)=1./(2*square(cvar(2)))*norm2(dev_log_No);

// prioris
//prior(1)=1./(2*square(cvpars_Bio(1)))*square(log_Linf-log_Linfprior);
//prior(2)=1./(2*square(cvpars_Bio(2)))*square(log_k-log_kprior);
prior(3)=1./(2*square(cvpars_Bio(3)))*square(log_Lo-log_Loprior);
prior(4)=1./(2*square(cv_A50))*norm2(log_A50f_ch-logA50_prior);
prior(5)=1./(2*square(cv_A50))*norm2(log_A50f_pe-logA50_prior);
prior(6)=1./(2*square(cv_rango))*norm2(log_rangof_ch- logRango_prior);
prior(7)=1./(2*square(cv_rango))*norm2(log_rangof_pe- logRango_prior);

f=multFO*(sum(likeval)+sum(prior)+0.5/square(cvF)*(norm2(log_Ft_ch-
  log_Fch_prior)+norm2(log_Ft_pe-log_Fpe_prior)));

// f=multFO*(sum(likeval)+sum(prior)+15*(norm2(log_Ft_ch-mean(log_Ft_ch))+norm2(log_Ft_pe-
  mean(log_Ft_pe))));
```



```
// if(last_phase()){
//f=multFO*(sum(likeval)+sum(prior));}

FUNCTION Eval_CTP

random_number_generator r(1234567890);

for (int j=1;j<=npbr;j++){ //
// Se proyecta desde el mismo semestre

Np=N(ntime);
Sp=S(ntime);
BDp=BD(ntime);
Fpbr=Ftot(ntime);//
Zpbr=Z(ntime);
Sp=S(ntime);
Nvp=Nv(ntime);
RPRp=RPR(ntime);

for (int i=1;i<=ntime_sim;i++)
{

Fref=pbr(j);

if(opt_Str==0){
// Regla de decisi3n-----
if(RPRp/RPRmsy<1){
Fref=pbr(j)*RPRp/RPRmsy;}
//-----
}

Fpbr=(Ftot(ntime)/max(Ftot(ntime))) * pbr(j);
matFpbr(i,j)=Fref;

Zpbr=Fpbr+M;
Sp=exp(-1.*Zpbr);

Bp_anch(i)=sum(elem_prod(Np*Prob_talla,Wmed));
NMDp=elem_prod(Np,mfexp(-dt(4)*Zpbr))*Prob_talla;
BDp=sum(elem_prod(elem_prod(NMDp,msex),Wmed));
CTP=elem_prod(elem_div(Fpbr,Zpbr),elem_prod(Np,(1-Sp)))*Prob_talla;
YTP(i,j)=sum(elem_prod(CTP,Wmed));
SDvp(i)=sum(elem_prod((Nvp*exp(-dt(4)*M))*Prob_talla,elem_prod(Wmed,msex)));

SSBp(i,j)=BDp;
RPRp=BDp/SDvp(i);
Depl(i,j)=RPRp;

// semestre siguiente
Npplus=Np(nedades)*Sp(nedades);
Np(2,nedades)=++elem_prod(Np(1,nedades-1),Sp(1,nedades-1));
Np(nedades)+=Npplus;
Np(1)=pR*exp(log_Ro+0.5*square(cvar(1)));

// biomasa virginal
Npplus=Nvp(nedades)*exp(-1.0*M);
Nvp(2,nedades)=++Nvp(1,nedades-1)*exp(-1.0*M);
Nvp(nedades)=Nvp(nedades)+Npplus;
```



```
Nvp(1)=pR*exp(log_Ro+0.5*square(cvar(1)));

}

}

for (int i=1;i<=npbr;i++){
CBA(i)=YTP(sem1,i)+YTP(sem2,i);
}

if(mceval_phase())
{
ofstream out("mst2f_mcmc.csv",ios::app);
out << BD(ntime) << ", "<< RPRlp(ntime) << ", "<< max(Ftot(ntime)) << endl;
out.close();
}

//-----

REPORT_SECTION

report << anos << endl;
report << "Acus_obs" << endl;
report << Acus << endl;
report << pred_Acus << endl;
report << "cv_acus" << endl;
report << cv_index(1) << endl;

report << "RCH_obs" << endl;
report << RCH << endl;
report << pred_RCH << endl;
report << "cv_RCH" << endl;
report << cv_index(2) << endl;

report << "RPE_obs" << endl;
report << RPE << endl;
report << pred_RPE << endl;
report << "cv_RPE" << endl;
report << cv_index(3) << endl;

report << "MPH_obs" << endl;
report << MPH << endl;
report << pred_MPH << endl;
report << "cv_MPH" << endl;
report << cv_index(4) << endl;

report << "Desem_Chi_obs" << endl;
report << Desemb_ch << endl;
report << pred_Desemb_ch << endl;
report << "cv_Desemb_ch" << endl;
report << cv_index(5) << endl;

report << "Desem_Per_obs" << endl;
report << Desemb_pe << endl;
report << pred_Desemb_pe << endl;
report << "cv_Desemb_pe" << endl;
report << cv_index(6) << endl;

report << "Lmed Chi_obs&pre" << endl;
report << Lmed_Chi_obs << endl;
```



```
report << Lmed_Chi_pre << endl;
report << "Lmed_Per_obs&pre" << endl;
report << Lmed_Per_obs << endl;
report << Lmed_Per_pre << endl;
report << "Lmed_Crucero_obs&pre" << endl;
report << Lmed_Cru_obs << endl;
report << Lmed_Cru_pre << endl;
```

```
report << "Biom_deso" << endl;
report << BD << endl;
report << "Biom_cero" << endl;
report << BDo << endl;
report << "Biom_total" << endl;
report << BT << endl;
report << "Reclu_obs" << endl;
report << Reclutas << endl;
report << "Reclu_dev" << endl;
report << dev_log_Ro << endl;
report << "RPR_dina" << endl;
report << RPR << endl;
report << "RPR_long" << endl;
report << RPRlp << endl;
report << "F_Chile" << endl;
report << exp(log_Ft_ch) << endl;
report << "F_Peru" << endl;
report << exp(log_Ft_pe) << endl;
report << "F_total" << endl;
report << Ftot_ref << endl;
report << "Selec_flo_Chi" << endl;
report << Sel_f_ch << endl;
report << "Selec_flo_Per" << endl;
report << Sel_f_pe << endl;
report << "Selec_cru" << endl;
report << Scru << endl;
report << "Edades" << endl;
report << edades << endl;
report << "F_ch" << endl;
report << Ftot_ch << endl;
report << "F_pe" << endl;
report << Ftot_pe << endl;
```

```
report << "Pro_flo_chi_obs" << endl;
report << pobs_fch << endl;
report << "Pro_flo_chi_pre" << endl;
report << ppred_fch << endl;
report << "sz_Pro_flo_chi" << endl;
report << nm(1) << endl;
```

```
report << "Pro_flo_per_obs" << endl;
report << pobs_fpe << endl;
report << "Pro_flo_per_pre" << endl;
report << ppred_fpe << endl;
report << "sz_Pro_flo_per" << endl;
report << nm(2) << endl;
```

```
report << "Pro_cru_obs" << endl;
report << pobs_cru << endl;
report << "Pro_cru_pre" << endl;
report << ppred_cru << endl;
report << "sz_Pro_cru_obs" << endl;
```



```
report << nm(3) << endl;

report << "Tallas" << endl;
report << Tallas << endl;
report << "N " << endl;
report << N << endl;

report << "log_like" << endl;
// report << " L_Acus L_Rch L_Rpe L_mdph L_Ych L_Ype L_Pch L_Ppe L_Pcru
L_devR L_devNo " << endl;
//report << "-----" << endl;
report << "-----" << endl;
report << likeval << endl;
report << "log_priors" << endl;
//report << " p_Linf p_k p_Lo p_A50ch p_A50pe p_Dch p_Dpe" << endl;
//report << "-----" << endl;
report << "-----" << endl;
report << prior << endl;

report << "Prob_talla" << endl;
report << Prob_talla << endl;
report << "L_edad" << endl;
report << mu_edad << endl;
report << "Sigma_edad" << endl;
report << sigma_edad << endl;
report << "Linf k Lo alfa beta M h" << endl;
report << Linf << " << k << " << Lo << " << exp(log_alfa) << " << exp(log_beta) << " << M << "
<< h << endl;
report << "CTP_seme" << endl;
report << YTP << endl;
report << "BT_proy_seme" << endl;
report << Bp_anch << endl;
report << "BD_proy_seme" << endl;
report << SSBp << endl;
report << "BD_virg_proy" << endl;
report << SDvp << endl;
report << "Fproy" << endl;
report << matFpbr << endl;
report << "RPR_proy" << endl;
report << Depl << endl;
report << "Biomasa desovante virginal" << endl;
report << SSB0 << endl;
report << "-----" << endl;

report << " " << endl;

report << "Madurez a la edad" << endl;
report << msex*trans(Prob_talla) << endl;

report << "Peso medio a la edad" << endl;
report << Wmed*trans(Prob_talla) << endl;
report << "-----" << endl;

report << " " << endl;
report << "cv_Acus cv_RCH cv_RPE cv_MPH" << endl;
report << sqrt(1/n1*res1) << " << sqrt(1/n2*res2) << " << sqrt(1/n3*res3) << " <<
sqrt(1/n4*res4) << endl;
report << " " << endl;
```



```
//-----  
// ESTIMA nm  
  
suma1=0; suma2=0;n1=1;n2=1;n3=1;cuenta1=0;cuenta2=0;cuenta3=0;  
  
for (int i=1;i<=ntime;i++){ //  
  
    if (sum(pobs_fch(i))>0){  
        suma1=sum(elem_prod(ppred_fch(i),1-ppred_fch(i)));  
        suma2=norm2(pobs_fch(i)-ppred_fch(i));  
        n1=n1*suma1/suma2;  
        cuenta1+=1;  
    }  
  
    if (sum(pobs_fpe(i))>0){  
        suma1=sum(elem_prod(ppred_fpe(i),1-ppred_fpe(i)));  
        suma2=norm2(pobs_fpe(i)-ppred_fpe(i));  
        n2=n2*suma1/suma2;  
        cuenta2+=1;  
    }  
  
    if (sum(pobs_cru(i))>0){  
        suma1=sum(elem_prod(ppred_cru(i),1-ppred_cru(i)));  
        suma2=norm2(pobs_cru(i)-ppred_cru(i));  
        n3=n3*suma1/suma2;  
        cuenta3+=1;  
    }  
}  
  
report << "Tama1o posteriori Flota Chile, Peru y Crucero" <<endl;  
report <<pow(n1,1/cuenta1)<<" "<<pow(n2,1/cuenta2)<<" "<<pow(n3,1/cuenta3)<<endl;  
  
report << " " <<endl;  
report << "-----" <<endl;  
report << "Outputs para graficar" <<endl;  
report << "-----" <<endl;  
  
report<<"ACUSTICO"<<endl;  
  
for (int i=1;i<=ntime;i++)  
{  
  
    if (Acus(i)>0){  
        report<<anos(i)<<" "<<Acus(i)<<" "<<pred_Acus(i)<<endl;}  
    }  
  
    report<<"RCH"<<endl;  
    for (int i=1;i<=ntime;i++)  
    {  
  
        if (RCH(i)>0){  
            report<<anos(i)<<" "<<RCH(i)<<" "<<pred_RCH(i)<<endl;}}  
  
    report<<"RPE"<<endl;  
    for (int i=1;i<=ntime;i++)  
    {
```



```
if (RPE(i)>0){
    report<<anos(i)<<" "<<RPE(i)<<" "<<pred_RPE(i)<<endl;}}

    report<<"MPH"<<endl;
for (int i=1;i<=ntime;i++)
{

    if (MPH(i)>0){
        report<<anos(i)<<" "<<MPH(i)<<" "<<pred_MPH(i)<<endl;}

    }

    report<<"S/R"<<endl;
    report<<"alfa    beta"<<endl;
    report<<alfa<<" "<< beta<<endl;

    report<<"año"<<" "<<"BD"<<" "<<" Rpred "<<" "<<"Rest"<<endl;

for (int i=1;i<=ntime;i++){ //

    report<<anos(i)<<" "<<BD(i)<<" "<<Rpred(i)<<" "<<Reclutas(i)<<endl;

}

FINAL_SECTION

time(&finish);
elapsed_time=difftime(finish,start);
hour=long(elapsed_time)/3600;
minute=long(elapsed_time)%3600/60;
second=(long(elapsed_time)%3600)%60;
cout<<endl<<endl<<"*****"<<endl;
cout<<"--Start time: "<<ctime(&start)<<endl;
cout<<"--Finish time: "<<ctime(&finish)<<endl;
cout<<"--Runtime: ";
cout<<hour<<" hours, "<<minute<<" minutes, "<<second<<" seconds"<<endl;
cout<<"*****"<<endl;
```




INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

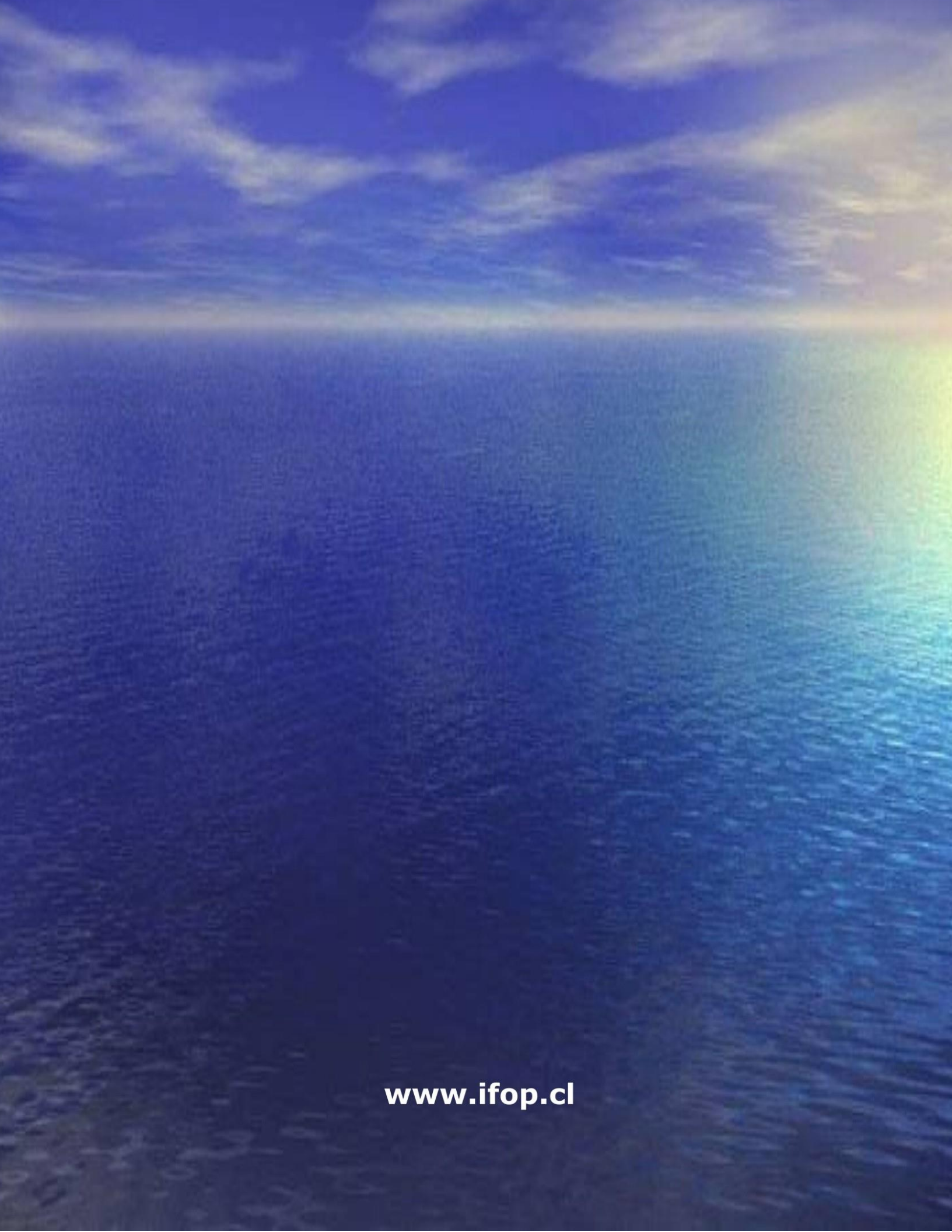
Sección Ediciones y Producción

Almte. Manuel Blanco Encalada 839,

Fono 56-32-2151500

Valparaíso, Chile

www.ifop.cl



www.ifop.cl