Evaluación de los stocks de anchoveta (*Cetengraulis mysticetus*) y arenque (*Opisthonema sp.*) en el Golfo de Panamá

Dr. Cristian M. Canales

Consultor

Indice

1. Introducción 2

2. Materiales y métodos 3

2.1. Información empleada 3

a) Estadísticas de capturas y composiciones de tallas 3

b) Captura por Unidad de Esfuerzo 3

c) Estimaciones Hidroacústicas 5

d) Unidad de stock y parámetros biológicos 6

2.2. Modelo de evaluación 8

2.3. Escenarios de evaluación 9

3. Resultados 11

3.1. Indice de abundancia relativa (CPUE) 11

3.2. Evaluación poblacional 18

3.2.1. Anchoveta 18

Ajuste del modelo y estimación de parámetros 18

Variables poblacionales y diagnóstico 24

3.2.2. Arenque 31

Ajuste del modelo y estimación de parámetros 31

Variables poblacionales y diagnóstico 36

4. Discusión 45

5. Referencias 47

1. Introducción

Las pesquería de pelágicos pequeños en Panamá está compuesta principalmente por dos especies: anchoveta (*Cetengraulis mysticetus*) y arenque (*Opisthonema sp.*). La historia de estas pesquerías es antigua y se remonta hacia fines de los cincuentas (**Figura 1)**. Los desembarques de anchoveta y arenque han variado en torno a 45 mil y 24 mil toneladas respectivamente, siendo la anchoveta la especie mas importante en las capturas. Esta especie alcanzó más de 200 mil toneladas a mediados de los 80s mientras el arenque solo en el año 2003 superó apenas las 50 mil toneladas, aportando en promedio cerca del 25% de los desembarques de ambos recursos.

La estacionalidad de estas pesquerías es notable y se caracterizan por su corta temporada y la alternancia que tienen sus patrones de disponibilidad en la escala intra-anual. De acuerdo con CeDePesca (2015), entre abril y julio la anchoveta es la especie principal, y cuando esta inicia su proceso reproductivo, el esfuerzo de pesca es orientado principalmente hacia el arenque. Esta última especie sostiene entonces la actividad pesquera hasta fines de octubre, disminuyendo luego su disponibilidad debido posiblemente por fines reproductivos. De esta forma, la actividad vuelve a iniciarse en abril del año siguiente.

En estas pesquerías se vienen realizando esfuerzos de monitoreo y recolección de datos biológico-pesqueros realizados tanto por la Autoridad de Recursos Acuáticos de Panamá, CeDepesca y el apoyo de la industria desde mitad de los noventa. Recientemente, la empresa pesquera “Promarina” ha financiado el desarrollo de tres cruceros acústicos con el fin de poner a disposición estimaciones de biomasa para fines de recomendaciones de manejo. Sin embargo, este conjunto de datos al ser interpretadas de manera independiente no permite establecer juicios sobre su calidad y nivel de información sobre los principales procesos de la dinámica poblacional de estos recursos, como es el reclutamiento y mortalidad de estas especies.

Este documento representa el primer esfuerzo en la implementación de un modelo integrado de evaluación de poblaciones, con el objeto de establecer el diagnóstico y puntos biológicos de referencia para estas pesquerías en Panamá. Para tales fines se consideró toda la información y conocimiento disponible de las pesquerías y biología de las especies. Se modelo la información diaria de las capturas por buque con el fin de obtener un índice de abundancia relativa. Del mismo modo, se modela la dinámica de las poblaciones de ambas especies por separado en escala trimestral, considerando como atributo sus composiciones de tallas, y se identifican patrones temporales del reclutamiento a la talla y del efecto que ha tenido la mortalidad por pesca sobre estas poblaciones.

Los resultados del modelo son sensibilizados a distintas hipótesis sobre procesos biológicos como es la mortalidad natural, crecimiento, resiliencia stock-recluta y efectos de hiper-estabilidad en la CPUE. Se consideró como proxy del Rendimiento Máximo Sostenido una biomasa equivalente al 60% de la biomasa desovante virginal, y se determina finalmente el estado de situación probable de las poblaciones de anchoveta y arenque en Panamá.

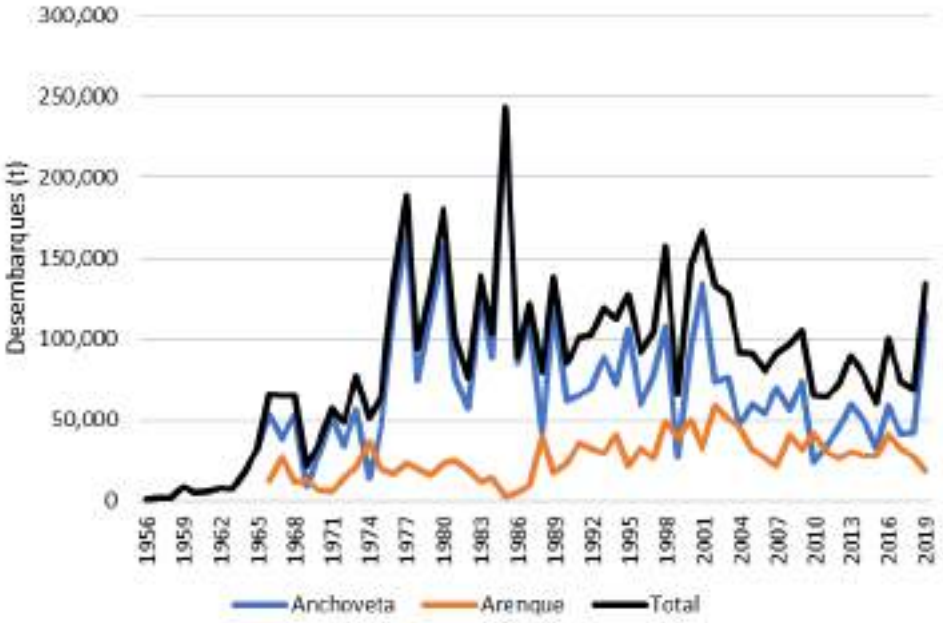

Figura 1. Desembarques anuales de anchoveta y arenque en Panamá (Fuente. CeDePesca, 2015)

2. Materiales y métodos

2.1. Información empleada

a) Estadísticas de capturas y composiciones de tallas

La información empleada corresponde a registros de bitácoras de pesca diarias de la flota y de muestreos biológicos de las capturas impulsadas por el Programa de Observadores a Bordo CeDePesca-Promarina. Se dispone de capturas por viaje de pesca desde 1995 al 2019, y composiciones de tallas de las capturas mensuales expandidas al desembarque registrado desde el 2014.

b) Captura por Unidad de Esfuerzo

Se estimaron índices de abundancia a partir de la información operacional de la flota. La captura por unidad de esfuerzo (CPUE) es una medida de abundancia relativa pero es influenciada por diferentes factores, incluyendo variaciones espaciales y temporales de la biomasa, cambios en la eficiencia de las embarcaciones, así como también por factores ambientales (Hinton & Nakano, 1996). Desde este punto de vista, los datos de captura y

esfuerzo provenientes del seguimiento de la actividad comercial proveen una poderosa fuente de información de los cambios en los patrones de la biomasa de un stock, siempre que las variaciones de las tasas de captura asociadas a la eficiencia de la flota sean removidas adecuadamente desde las observaciones (Punt et al., 2000).

La separación de los diferentes factores que influencian las tasas de captura se llevó a cabo mediante la estandarización de éstas. El enfoque empleado para esto fueron Modelos Lineales Generalizados (GLM), el cual consiste en aislar los factores que determinan la variabilidad de las tasas de captura (o rendimientos de pesca) de manera se concentrar el análisis en los efectos fijos por separado. Cabe destacar que los GLM son flexibles a diferentes formas de analizar la información, en especial en la exploración de diferentes alternativas para la distribución de la variable respuesta (Punt et al., 2000) y en la actualidad son ampliamente utilizados para generar índices de abundancia relativa (Maunder & Punt, 2004). Se analizó la información histórica disponible 1995-2019 de las dos pesquerías a nivel de viajes en 5 zonas de pesca (**Figura 2**). El logaritmo de la captura (o captura por viaje) fue modelado por un predictor lineal compuesto por efectos fijos año (A), zona (Z), y trimestre (T). Se descartó el uso del efecto buque debido a que la flota está compuesta por buques relativamente homogéneos cuyas esloras varían entre 21 y 25 metros. En la implementación de los GLM se probaron dos modelos de error (ε): normal y gamma, y la función de enlace fue la identidad.

$$logCPUE_{y,j,t,l} = \mu + A_y + Z_j + T_t + \varepsilon_{i,j,k,l}$$

y entonces el índice de abundancia por trimestre y año fue estimado como $I_{y,t} = e^{\mu + A_{y+} T_t}$

Figura 2. Zonas de Pesca de pelágicos pequeños de Panamá (CeDePesca, 2015).

c) Estimaciones Hidroacústicas

Se consideró la información generada en tres cruceros acústicos realizados los años 2017 (febrero), 2018 (marzo) y 2019 (febrero). La anchoveta ha sido ligeramente mas predominante con una biomasa promedio de 205 mil t equivalente al 52% de ambas especies (**Tabla 1**). Cabe destacar que, a diferencia de la flota, las frecuencias de tallas en anchoveta muestran la significativa presencia de dos modas principales, una menor a 14 cm y otra de peces mas grandes y longevos en torno a los 18 cm. (**Figura 3**). Por su parte, las composiciones de tallas del arenque presentan menor polimodalidad con una moda en torno a los 18 cm registrada los último dos cruceros acústicos.

Tabla 1. Estimaciones acústicas de la biomasa (miles t) de pequeños pelágicos en Panamá. (Fuente: Promarina, 2019)

		2017			2018			2019		
		Sardina	*Arenque*	*Ambas*	*Sardina*	*Arenque*	*Ambas*	*Sardina*	*Arenque*	*Ambas*
Biomasas (t)	Puntual	233,136	151,042	384,180	249,851	180,493	430,344	135,595	220,567	356,163
	Límite superior	342,509	209,927		372,787	264,864		248,675	297,679	
	Límite inferior	123,767	92,157		126,915	96,122		22,517	143,496	
Límite de confianza		46.91%	38.99%		49.20%	46.74%		83.39%	34.95%	

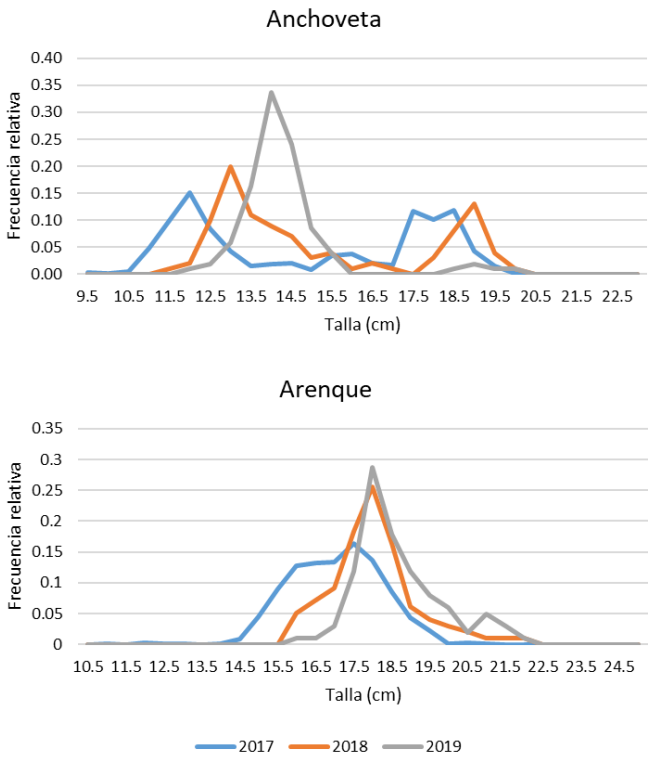

Figura 3. Frecuencia de tallas de anchoveta y arenque en cruceros acústicos.

d) Unidad de stock y parámetros biológicos

No existen estudios sobre los límites de unidades poblacionales de estos recursos en aguas Panameñas. A falta de mayor conocimiento, se supuso que la flota es capaz de distribuirse casi por completo sobre unidades poblacionales cerradas, lo cual significa entre otros, que las variaciones poblacionales debido a flujos migratorios son mínimas. En estas condiciones se supone que tanto las fallas de reclutamientos como la presión pesquera son los principales responsables de las variaciones en la biomasa desovante. El reclutamiento es un proceso aleatorio difícil de vincular con el stock progenitor, mientras la biomasa desovante/adulta se encuentra permanentemente alterada por la captura de los individuos más grandes, pudiendo este efecto generar la disminución poblacional.

Por su parte, los parámetros biológicos corresponden a los informados por CeDePesca (2015) y alternativamente a los revisados en literatura. El modelo consideró como escala el trimestre, por lo que tanto el coeficiente de crecimiento *k* y la mortalidad natural M corresponde a un cuarto del valor anual. El coeficiente *k* fue estimado por el modelo junto al resto de los parámetros y el valor de mortalidad natural correspondió a 2 veces el valor de *k* inicial (0.2). El valor de la talla del reclutamiento (Lo) de anchoveta fue estimada a partir de la información de los cruceros y fue considerado como valor fijo, mientras en el arenque fue estimado junto al resto de los restantes parámetros. En ambos recursos se supuso que la relación stock recluta no era determinante y que las variaciones en el reclutamiento de deben

mayormente a los efectos ambientales, razón por la cual el valor de steepness fue fijado en h=1.0 (**Tabla 2**)

Tabla 2. Parámetros biológicos empleados en el modelo base de la evaluación de las poblaciones de anchoveta y arenque de Panamá. L50ms es la talla al 50% de madurez

	Anchoveta (*Cetengraulis mysticetus*)	Arenque (*Opisthonema sp.*)
Loo (cm)	22.1	27.8
k ($trim^{-1}$)	0.17 (estimado)	0.07 (estimado)
M ($trim^{-1}$)	0.4	0.33
Lo (cm)	12.0	14.2 (estimado)
L50ms (cm)	14.7	18.5
h	1.0	1.0
Peso-talla	$W = 0.0035\ L^{3.4}$	$W = 0.0144\ L^{3.0507}$

2.2. Modelo de evaluación

El modelo de la dinámica poblacional corresponde al formulado por Canales et al (2018) para la anchoveta del norte de Chile y sur del Perú. Este modelo tiene la ventaja de reducir significativamente el número de parámetros en un modelo integrado de evaluación de stock, al incluir la hipótesis de separabilidad en el reclutamiento por medio de un efecto estacional y otro anual. El modelo esta codificado en ADMB y es ajustado a la información biológico-pesquera en escala trimestral de la anchoveta y arenque. La extensión temporal del modelo es de 100 trimestres en 25 años (1995 - 2019). El modelo combina un enfoque de dinámica poblacional talla-estructurado (e.g., Sullivan et al., 1990; Punt & Kennedy, 1997; Zheng & Siddeek, 2011; Turnok et al., 2013) y una distribución explícita del reclutamiento a la talla. Tanto la dinámica poblacional como las observaciones están basadas en tallas con lo cual se logra reducir la incertidumbre sobre la longevidad de las especies analizadas. El modelo supone lo siguiente:

- La selectividad de la flota y los cruceros se modela de tipo doble-normal, lo cual permite mayor flexibilidad en el ajuste del efecto selectivo contenido en los datos de composiciones de tallas
- La biomasa en los cruceros acústicos representa, con error de observación, la escala de la población verdadera. Esto significa que el coeficiente de capturabilidad es uno.
- La tasa de sobrevivencia natural es invariante con la talla/edad de los individuos.
- El reclutamiento trimestral sigue un patrón de distribución normal $\varphi \sim N(L_r, s_r)$
- El reclutamiento es trimestral y cuenta con dos componentes de fluctuación. El primero es el componente sistématico y viene dado por la relación stock-recluta del tipo Beverton y Holt, el segundo componente es el error de proceso (log-normal) que se expresa en términos aditivos a través de efectos fijos trimestrales (Q_j) y otro efecto aleatorio anual (Y_i).

$$R_{i,j} = \frac{\alpha\ BD_{j-1}}{BD_{j-1} + \beta} e^{Y_i + Q_j}$$

$$Y_i \sim N(0, \sigma_R)$$

- Los individuos primero sobreviven a la mortalidad por pesca y natural, y luego crecen de manera estocástica e instantánea hacia fines de cada período. El crecimiento es estocástico pues existe una distribución de probabilidad de tallas (T) que cada individuo puede lograr, pudiendo incluso permanecer en su misma talla conforme se aproximan a la longitud asintótica.

$$N_{i,j} = T\left(N_{i,j-1}\, e^{-Z_{i,j-1}}\right) + \varphi R_{i,j}$$

Para el primer trimestre y año, el modelo genera una composición de tallas de la población en equilibrio en torno a la mortalidad total. El proceso de estimación de parámetros desconocidos en función de los datos disponibles considera funciones de log-verosimilitud.

Para el desembarque y los índices de biomasa se asume una función de log-verosimilitud log normal. Para la proporción de individuos capturados por talla, tanto por la flota como crucero se considera una log-verosimilitud multinomial. La función objetivo además incluye las funciones de log-verosimilitud, las penalizaciones asociadas con la información a priori de algunos parámetros del stock. En la ponderación de las diferentes piezas de información en la función de log-verosimilitud total se consideraron los criterios del estimador de McAllister y Ianelli (1997) (**Tabla 3**).

Tabla 3. Tamaños de muestra efectivo y coeficientes de variación de las distintas piezas de información empleadas en el ajuste del modelo de evaluación a los datos de anchoveta y arenque

Set de datos	Anchoveta	Arenque
Desembarques (cv)	0.05	0.05
Biomasa acustica (cv)	0.35	0.35
CPUE (cv)	0.15	0.15
Comp. Tallas flota	45	60
Comp. Tallas cruceros	15	30

2.3. Escenarios de evaluación

La evaluación de stock representa un conjunto de hipótesis expresadas en el mejor set de parámetros biológicos, o de importancia de la información. Si bien la evaluación fue realizada en un escenario base (S1), se exploró el desempeño a distintas hipótesis alternativas. En el escenario S2 se exploró el desempeño del modelo a un escenario de mayor denso-dependencia entre stock y reclutas (h=0.75). Un tercer escenario S3 consideró la incertidumbre en el crecimiento y la mortalidad natural de estas especies, incrementando dichos parámetros. Otro escenario S4 exploró la hiper-estabilidad de la CPUE como índice de abundancia mientras que un quinto escenario S5 propuso la viabilidad de estimar el valor de la mortalidad natural dentro del modelo de evaluación (**Tabla 4**).

Tabla 4. Escenarios de análisis del modelo de evaluación de stock ajustado a los datos de anchoveta y arenque.

Escenarios	**Anchoveta**	**Arenque**
S1	Base (Loo=22.1, k=0.20, M=0.40)	Base (Loo=27.8, k=0.16, M=0.33)
S2	S1+h=0.75	S1+h=0.75
S3	S1 + Loo=17, k=0.32, M=0.6	S1 + Loo=30, k=0.3, M=0.6
S4	S1+b=0.5	S1+b=0.5
S5	S1+M estimado	S1+M estimado

3. Resultados

3.1. Indice de abundancia relativa (CPUE)

El análisis de abundancia basado en modelo GLM mostró que la distribución de error tipo normal y función de enlace canónica tuvo el mejor desempeño tanto en anchoveta como arenque, lo cual se justifica por la mayor disminución de la devianza residual (**Tabla 5**). Ambos modelos resultaron significativos y el porcentaje de la devianza explicado por estos fue un 19% en el caso Anchoveta y 15% en el Arenque. Los coeficientes del modelo se entregan en **Tablas 6** y **7** y en las **Figuras 4** y **5** se proporciona el diagnóstico gráfico del desempeño de estos modelos. En general, los GLM aplicados se ajustaron a los supuestos de normalidad de la variable analizada no obstante se observaron tendencias de menor magnitud en los residuales.

El efecto fijo anual muestra que ambos recursos han presentado una tendencia creciente en la abundancia relativa con notables patrones cíclicos sincrónicos en la abundancia de estas especies (**Figura 6, Tabla 8**). Por su parte, el efecto trimestral indica que la abundancia/ disponibilidad de anchoveta es máxima en el segundo trimestre y disminuye sostenidamente hacia el cuarto trimestre, mientras que en el arenque, su abundancia aumenta precisamente cuando disminuye la de anchoveta y es máxima en el tercer trimestre. A nivel espacial y para ambos recursos, los resultados muestran que la zona 4 es la más productiva de todas. (**Figura 6**).

Tabla 5. Resumen del análisis de devianza GLM para cada recurso analizado

	Dev Null	Dev Res	g.l.	% Explicado
Anchoveta	20690183	16854162	17989	19%
Arenque	11280630	9620966	18797	15%

Tabla 6. Coeficiente del modelo GLM ajustado a los datos de Anchoveta

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)	
(Intercept)	3.828331	0.040919	93.559	< 2e-16	***
year1996	-0.137996	0.034539	-3.995	6.49e-05	***
year1997	-0.078384	0.030458	-2.574	0.01007	*
year1998	0.169633	0.025923	6.544	6.17e-11	***
year1999	-0.252300	0.046057	-5.478	4.36e-08	***
year2000	0.304477	0.027541	11.056	< 2e-16	***
year2001	0.448282	0.024633	18.199	< 2e-16	***
year2002	0.397219	0.026928	14.751	< 2e-16	***
year2003	0.318063	0.028271	11.251	< 2e-16	***
year2004	0.105966	0.034178	3.100	0.00194	**
year2005	0.041293	0.032937	1.254	0.20997	
year2006	0.258239	0.027280	9.466	< 2e-16	***
year2007	0.341166	0.025550	13.353	< 2e-16	***
year2008	0.350681	0.026327	13.320	< 2e-16	***
year2009	0.399084	0.024757	16.120	< 2e-16	***
year2010	-0.030698	0.036276	-0.846	0.39744	
year2011	0.053814	0.031537	1.706	0.08795	.
year2012	0.325412	0.027566	11.805	< 2e-16	***
year2013	0.389563	0.025772	15.116	< 2e-16	***
year2014	0.357477	0.026783	13.347	< 2e-16	***
year2015	0.128637	0.031455	4.090	4.34e-05	***
year2016	0.352393	0.025810	13.654	< 2e-16	***
year2017	0.237855	0.029735	7.999	1.33e-15	***
year2018	0.303899	0.027357	11.109	< 2e-16	***
year2019	0.668900	0.022646	29.538	< 2e-16	***
zona2	0.194233	0.009364	20.743	< 2e-16	***
zona3	0.228765	0.008952	25.554	< 2e-16	***
zona4	0.310903	0.017784	17.482	< 2e-16	***
zona5	0.053307	0.027500	1.938	0.05258	.
time2	-0.039822	0.042475	-0.938	0.34850	
time3	-0.349291	0.043891	-7.958	1.85e-15	***

Signif. codes: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 928.3489)

Null deviance: 20690183 on 18019 degrees of freedom
Residual deviance: 16700058 on 17989 degrees of freedom
AIC: 174310

Tabla 7. Coeficiente del modelo GLM ajustado a los datos de Arenque

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)	
(Intercept)	2.96949	0.05738	51.751	< 2e-16	***
year1996	-0.11941	0.05054	-2.363	0.01816	*
year1997	-0.12125	0.05390	-2.250	0.02447	*
year1998	0.25722	0.04715	5.455	4.95e-08	***
year1999	0.11042	0.04958	2.227	0.02595	*
year2000	0.31888	0.05407	5.898	3.74e-09	***
year2001	0.61473	0.04715	13.038	< 2e-16	***
year2002	0.34116	0.04563	7.477	7.95e-14	***
year2003	0.19949	0.04638	4.301	1.71e-05	***
year2004	-0.02453	0.04979	-0.493	0.62218	
year2005	-0.23160	0.05494	-4.215	2.51e-05	***
year2006	0.11516	0.04797	2.401	0.01638	*
year2007	0.21139	0.04983	4.242	2.22e-05	***
year2008	0.27284	0.04446	6.136	8.63e-10	***
year2009	0.39909	0.04535	8.800	< 2e-16	***
year2010	0.11900	0.04518	2.634	0.00845	**
year2011	-0.05776	0.04771	-1.211	0.22598	
year2012	0.19050	0.04722	4.035	5.49e-05	***
year2013	0.52875	0.04486	11.786	< 2e-16	***
year2014	0.35191	0.04663	7.547	4.67e-14	***
year2015	0.21991	0.04709	4.670	3.03e-06	***
year2016	0.53493	0.04435	12.062	< 2e-16	***
year2017	0.22712	0.04642	4.893	1.00e-06	***
year2018	0.31073	0.04579	6.786	1.18e-11	***
year2019	0.59463	0.04724	12.586	< 2e-16	***
zona2	0.20510	0.02754	7.447	9.99e-14	***
zona3	0.31664	0.01747	18.128	< 2e-16	***
zona4	0.57860	0.01296	44.662	< 2e-16	***
zona5	0.25431	0.02041	12.458	< 2e-16	***
time2	0.33044	0.04581	7.213	5.69e-13	***
time3	0.10020	0.04498	2.228	0.02591	*
time4	-0.02840	0.04664	-0.609	0.54259	

Signif. codes: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 511.8384)

Null deviance: 11280630 on 18828 degrees of freedom
Residual deviance: 9620966 on 18797 degrees of freedom
AIC: 170924

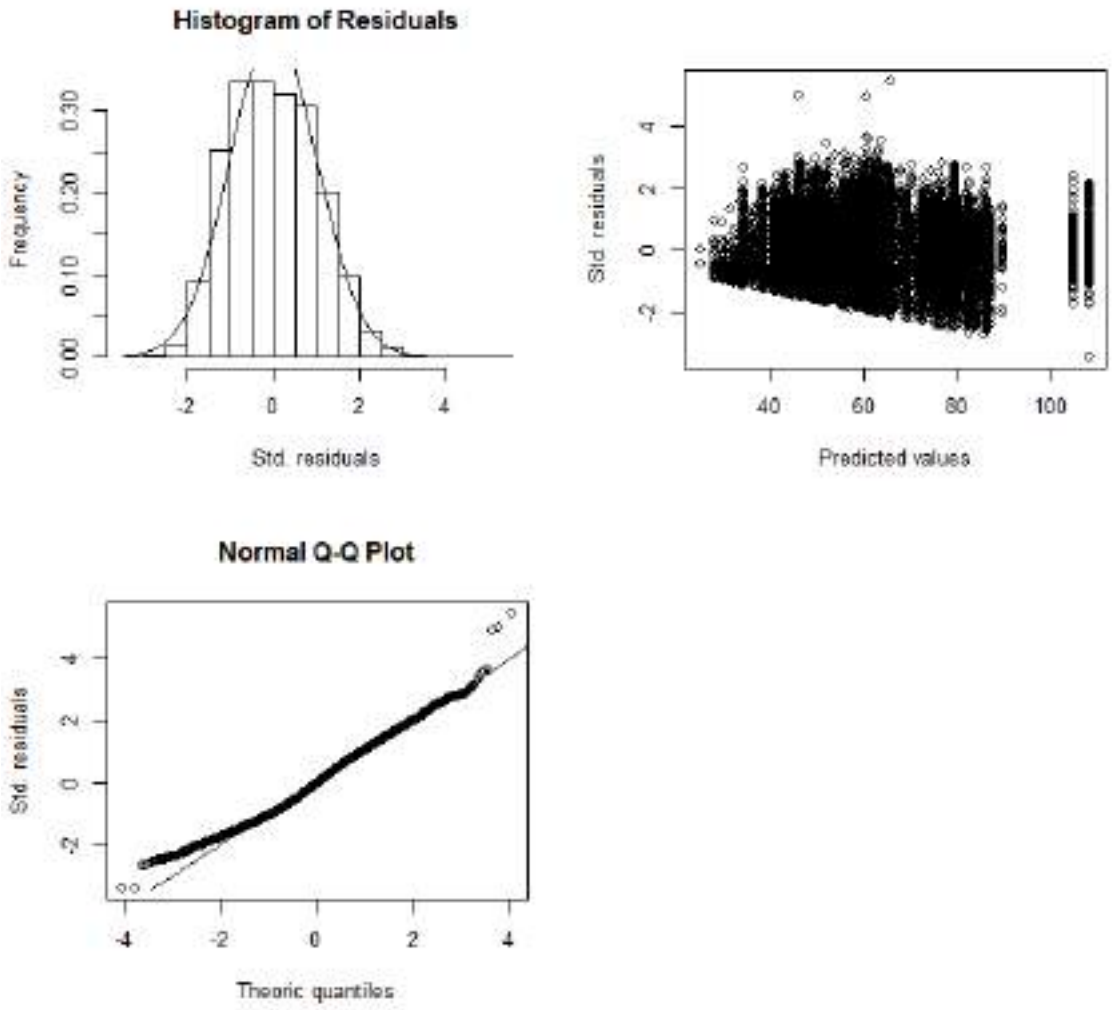

Figura 4. Diagnóstico gráfico del modelo GLM ajustado a los datos de Anchoveta

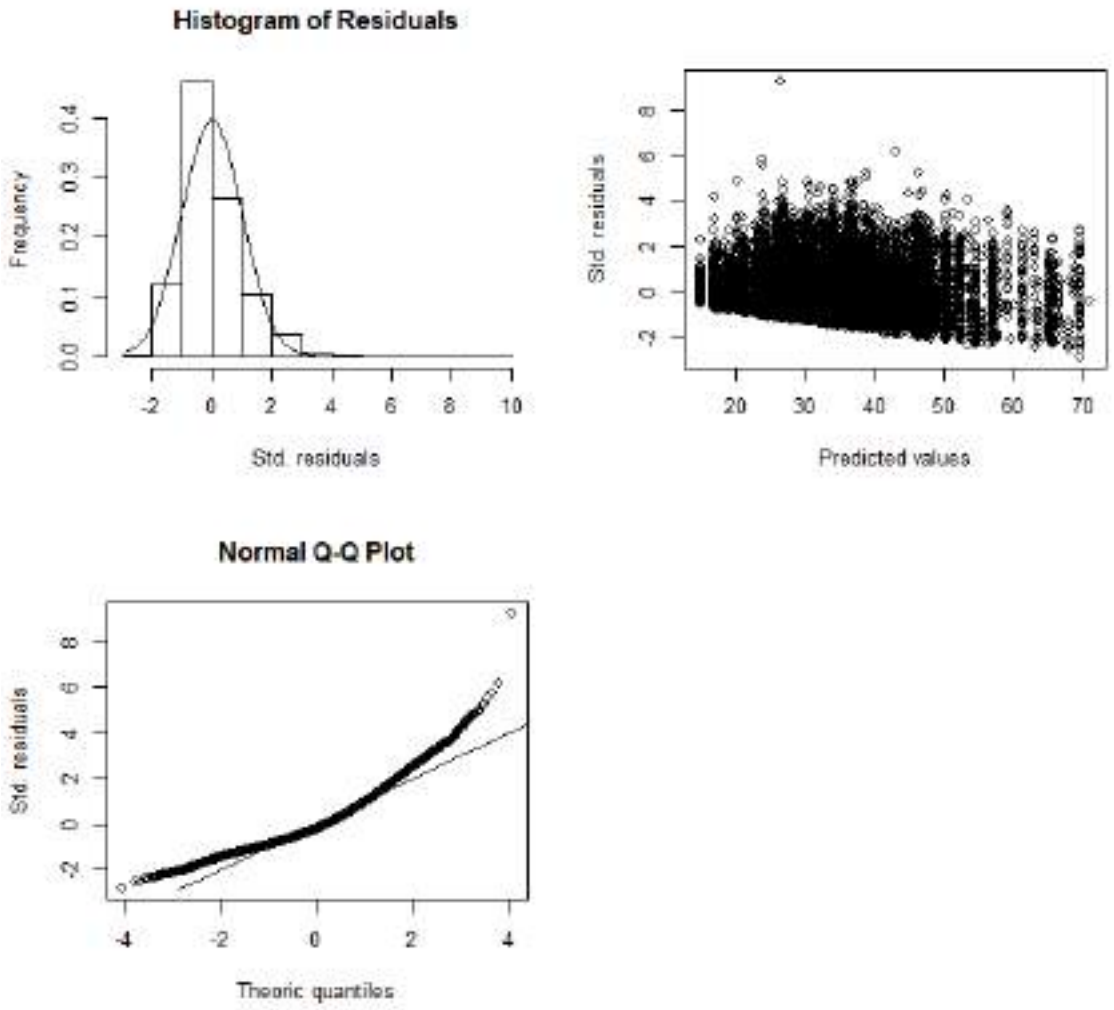

Figura 5. Diagnóstico gráfico del modelo GLM ajustado a los datos de Arenque

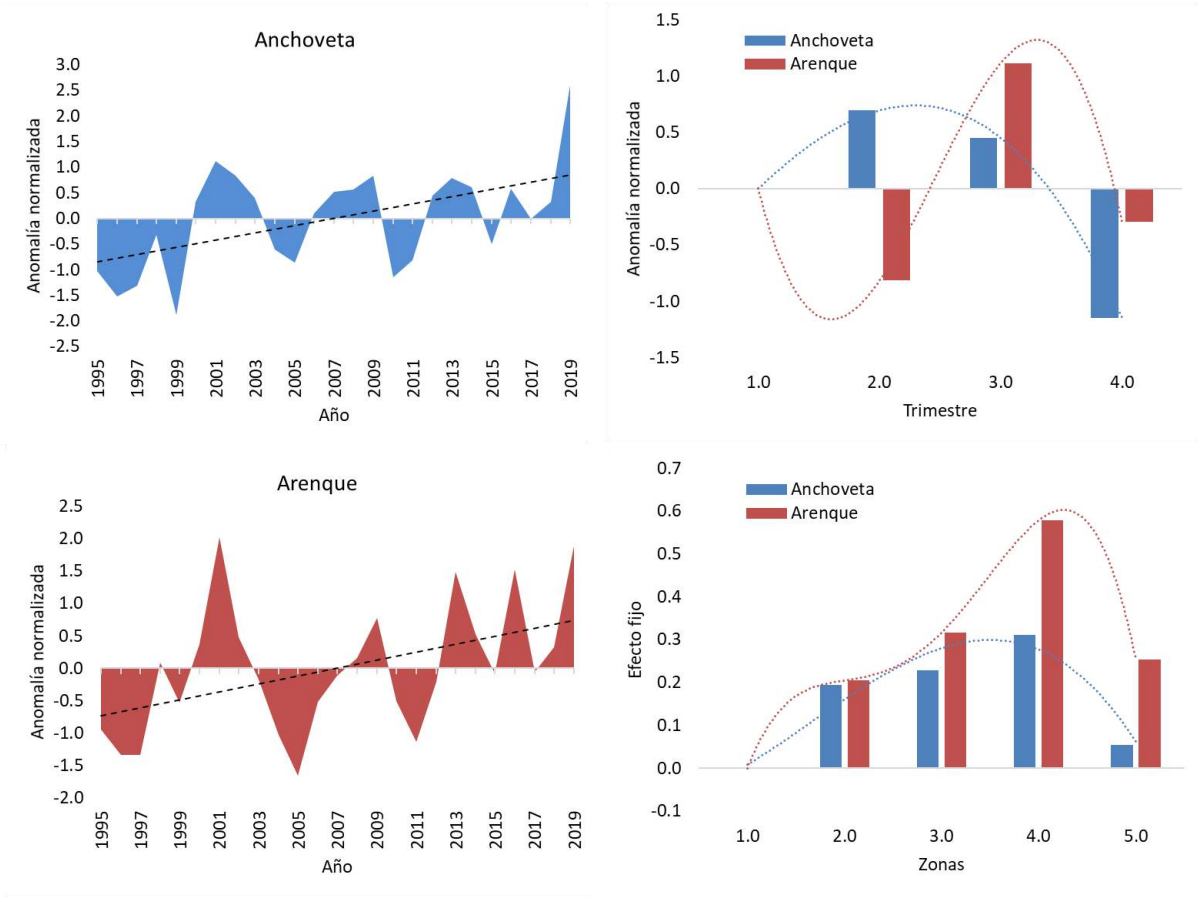

Figura 6. Anomalías normalizadas de la CPUE para los efectos fijos año, trimestre y zona de Anchoveta (a) y Arenque (b). Las líneas representan tendencias.

Tabla 8. CPUE (t/viaje) estandarizada por año y trimestre de anchoveta y arenque de Panamá 1995-2019

	Anchoveta			Arenque		
	1er trim	2do trim	3er trim	1er trim	2do trim	3er trim
1995	46.0	44.2	32.4	19.5	27.1	21.5
1996	40.1	38.5	28.2	17.3	24.1	19.1
1997	42.5	40.9	30.0	17.3	24.0	19.1
1998	54.5	52.4	38.4	25.2	35.1	27.9
1999	35.7	34.3	25.2	21.8	30.3	24.0
2000	62.4	59.9	44.0	26.8	37.3	29.6
2001	72.0	69.2	50.8	36.0	50.1	39.8
2002	68.4	65.7	48.2	27.4	38.1	30.3
2003	63.2	60.7	44.6	23.8	33.1	26.3
2004	51.1	49.1	36.1	19.0	26.5	21.0
2005	47.9	46.1	33.8	15.5	21.5	17.1
2006	59.5	57.2	42.0	21.9	30.4	24.2
2007	64.7	62.2	45.6	24.1	33.5	26.6
2008	65.3	62.8	46.0	25.6	35.6	28.3
2009	68.5	65.9	48.3	29.0	40.4	32.1
2010	44.6	42.9	31.4	21.9	30.5	24.3
2011	48.5	46.6	34.2	18.4	25.6	20.3
2012	63.7	61.2	44.9	23.6	32.8	26.1
2013	67.9	65.2	47.9	33.1	46.0	36.5
2014	65.7	63.2	46.4	27.7	38.5	30.6
2015	52.3	50.3	36.9	24.3	33.8	26.8
2016	65.4	62.9	46.1	33.3	46.3	36.8
2017	58.3	56.1	41.1	24.4	34.0	27.0
2018	62.3	59.9	43.9	26.6	37.0	29.4
2019	89.8	86.3	63.3	35.3	49.1	39.0

3.2. Evaluación poblacional

3.2.1. Anchoveta

Ajuste del modelo y estimación de parámetros

En la **Figuras 7, 8, 9 y 10** se muestra el ajuste del modelo de evaluación a los distintos set de datos de anchoveta, mientras el conjunto de parámetros resueltos se reporta en la **Tabla 9**. Los resultados muestran que el modelo se ajusta bien a la señal de CPUE trimestral siendo esta la principal pieza de información en el modelo. Sin perjuicio de esto, su ligera tendencia al alza hacia el último año se contradice con la notable disminución que registro la biomasa acústica en el 2019 (**Figura 7**).

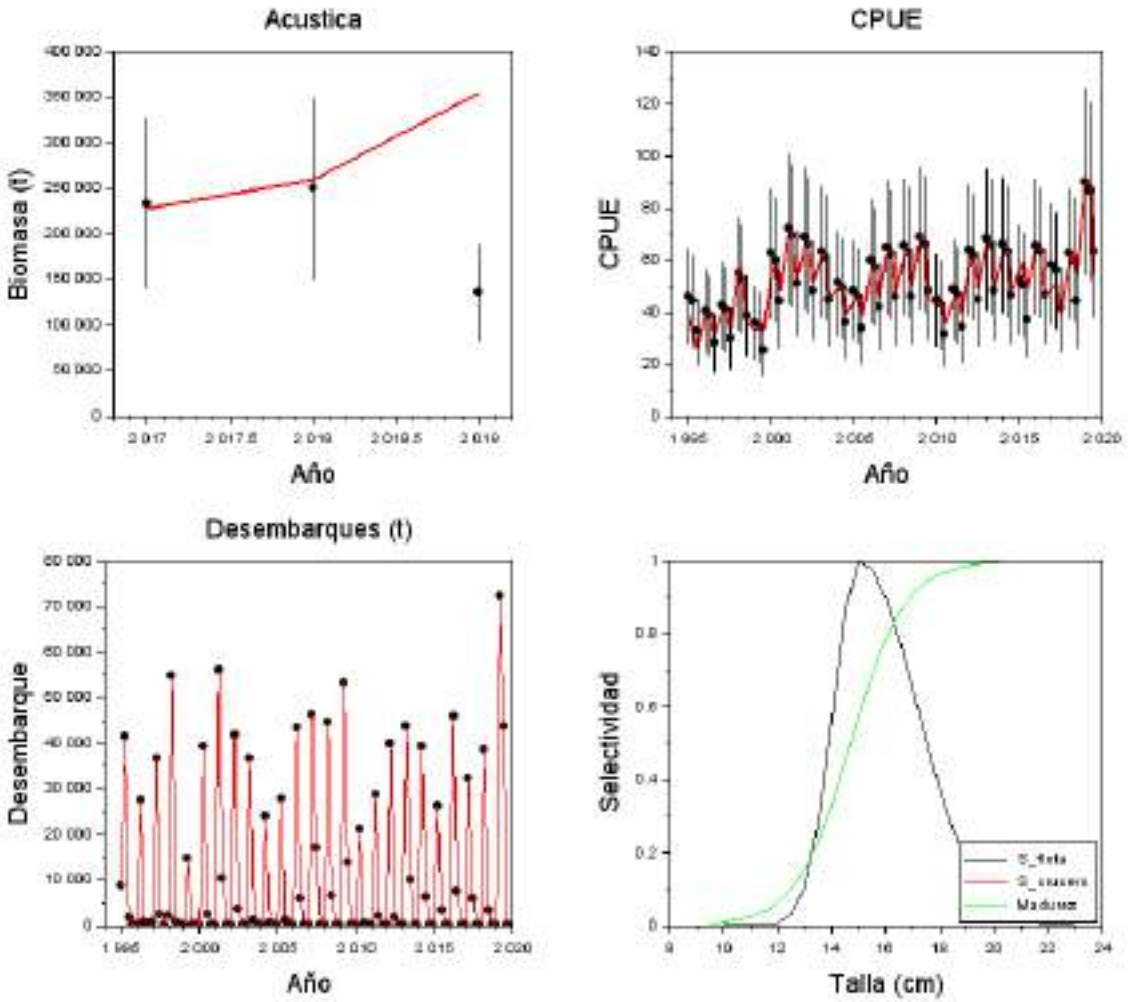

Figura 7. Ajuste del modelo a la serie de biomasa acústica, CPUE y desembarques de anchoveta, junto al patrón de selectividad a la talla

Uno de los hechos que llama la atención es la bimodalidad y la presencia de individuos grandes en las composiciones de tallas de los cruceros acústicos en el verano 2017 y 2018 (**Figura 10**) y que no es advertido por la flota en los meses previos. Esto indicaría que la población de anchoveta de segrega espacialmente por tamaños y que la flota no vulneraría individuos mayores a 16 cm. Esta evidencia genera dos resultados relevantes: uno es que la selectividad o patrón de explotación de la flota es tipo acampanado o domo (**Figura 7**), y la otra, es que la presencia de una moda de peces grandes sugiere que los niveles de mortalidad por pesca de la flota son bajos y permiten la sobrevivencia hasta edades adultas. Esto último es la evidencia a favor del tipo de patrón de explotación de la flota.

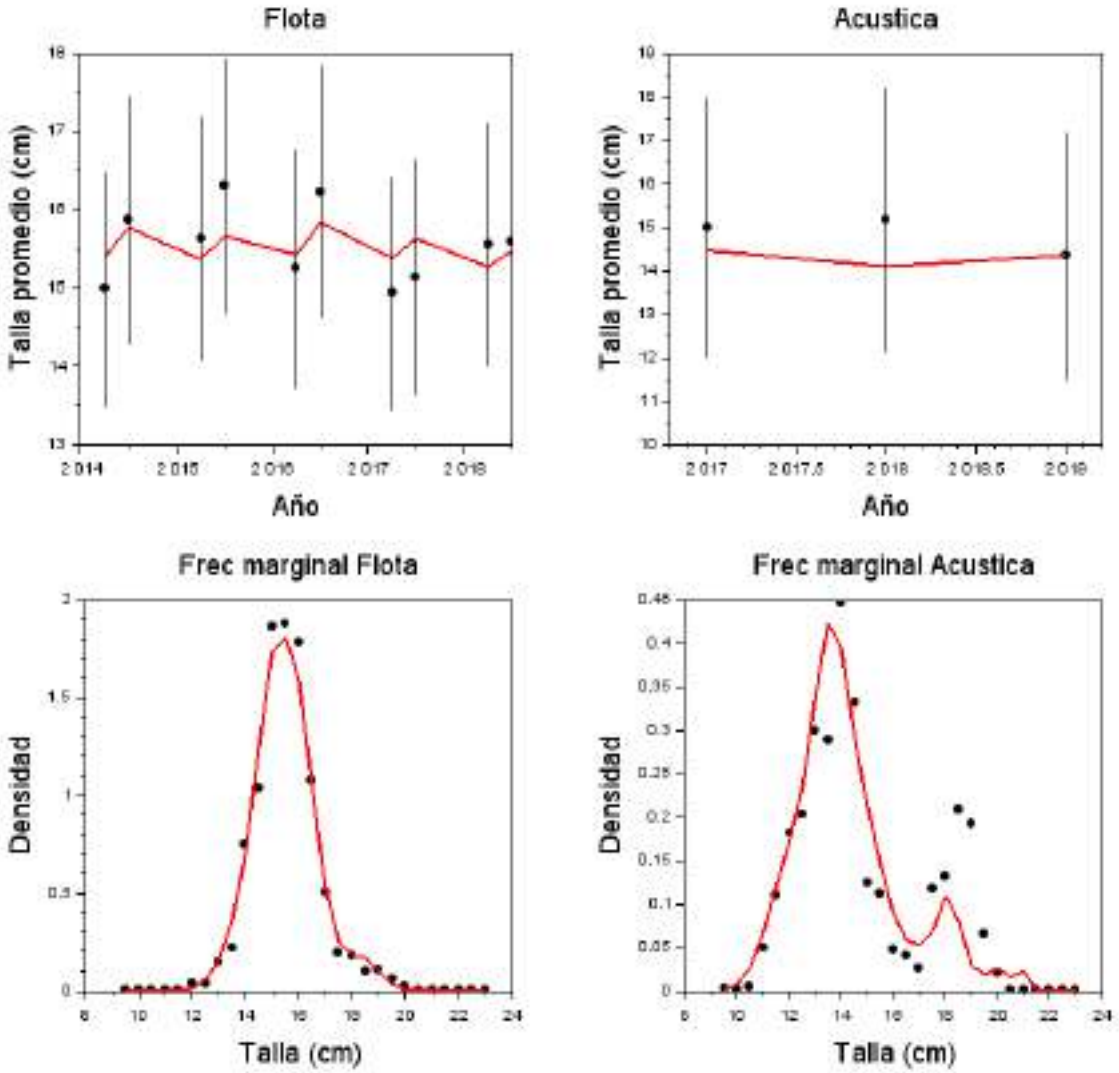

Figura 8. Ajuste del modelo a la serie de talla promedio de las capturas trimestrales, acústica, y frecuencia de tallas marginales de las capturas y acústica de anchoveta.

En este mismo contexto, se observa que el patrón de explotación de la flota se encuentra mayoritariamente por sobre la talla de madurez, lo que, visto desde la perspectiva de la conservación, resulta deseable y recomendable con el fin de asegurar la renovabilidad de la población. Los resultados también muestran que la composición de tallas de los cruceros representaría a toda la población, no siendo significativo el efecto de selectividad del arte de pesca empleado en la prospección. El ajuste del modelo a las composiciones de tallas de las capturas (**Figura 8 y 9**) muestra que en general el incremento observado de talla promedio entre trimestres es reproducido por el modelo, pero con menor magnitud. Este resultado sugiere que el coeficiente de crecimiento individual podría ser mayor al empleado, explicando de paso el hecho que la composición de tallas del crucero acústico no logra ser bien ajustado en el segmento de los individuos mayores a 16 cm (**Figura 10**).

La variabilidad trimestral y tendencia de las composiciones de tallas fue reproducida por el modelo bajo el uso de patrones de explotación invariantes en el tiempo. Contrariamente, el modelo no pudo reproducir la dinámica del crecimiento que sugieren las composiciones de tallas de los cruceros acústicos. Esta información anual muestra una sostenida progresión modal que va desde los 12 cm el 2017 a 14 cm el 2018. Esta progresión no parece consistente con la dinámica del crecimiento que muestran las composiciones de tallas de las capturas, y coincidiría más bien con la talla esperada para otros trimestres distintos a aquellos donde se realizan los cruceros acústicos (1er trimestre). Esta contradictoria información indicaría en el diseño de muestreo empleado en la evaluación acústica, existirían importantes cambios en el patrón de selectividad del crucero como parte del error de proceso. A menudo variaciones en el efecto selectivo se asocian a error de observación y por ende tienden a disminuir la información contenida en esta pieza de información.

En cuanto al reclutamiento y su proyección trimestral, los resultados muestran que en las composiciones de tallas de las capturas no habrían más de 8 grupos trimestrales de edad (2 años) **(Figura 11**). El reclutamiento de anchoveta se distribuye en torno a 12 cm, tiene un marcado patrón estacional siendo máximo durante el cuarto trimestre de cada año y log-anomalías positivas anuales que ha sido dominantes en los años más recientes (**Figura 11**).

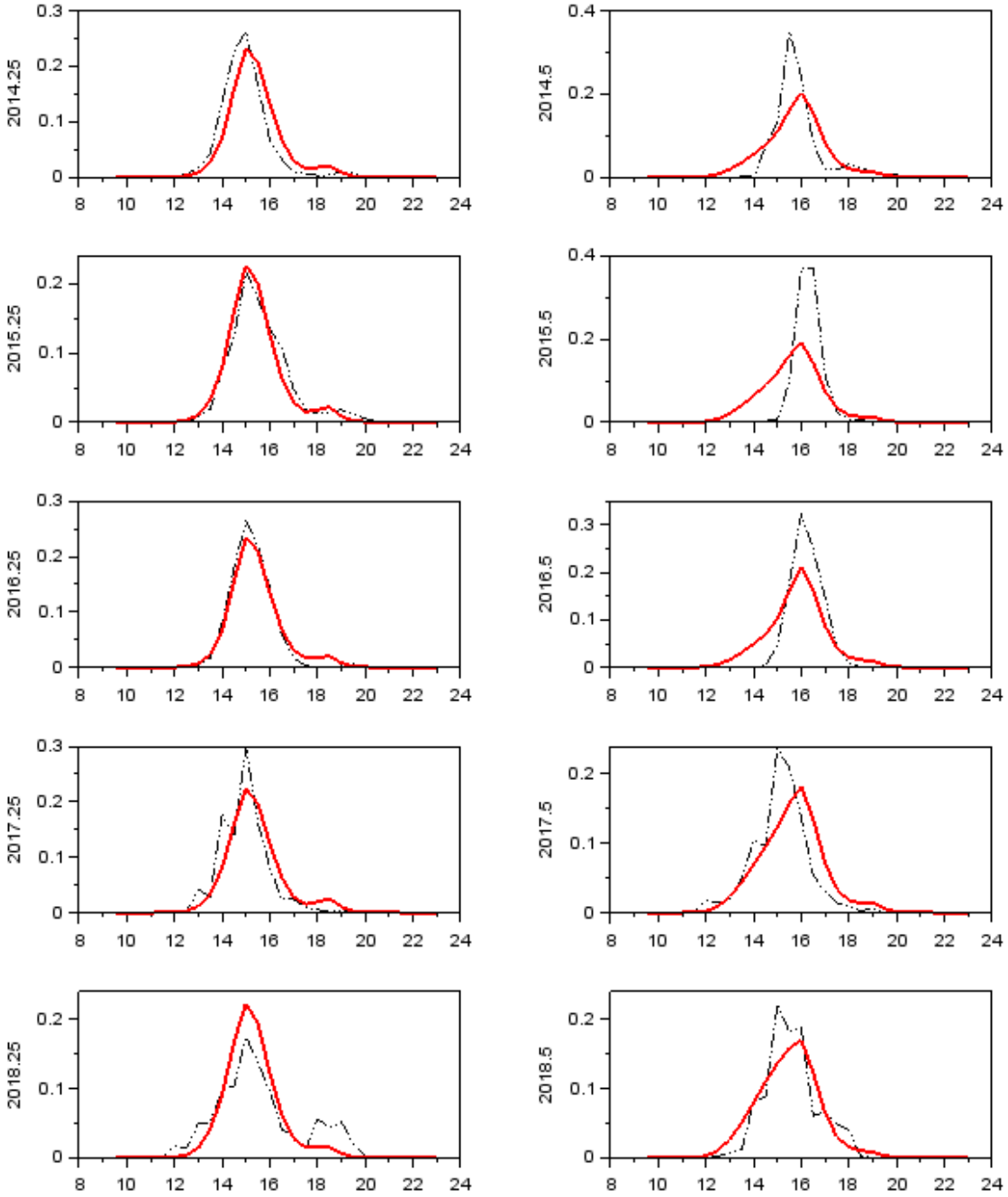

Figura 9. Ajuste del modelo a las composiciones de tallas de las capturas trimestrales de anchoveta.

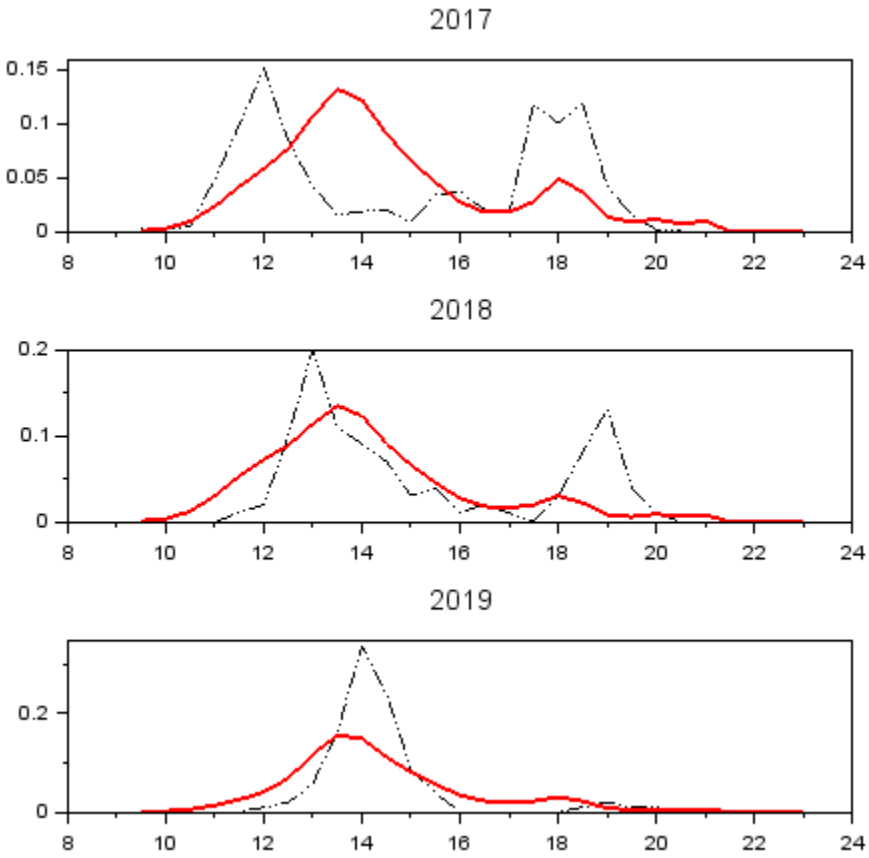

Figura 10. Ajuste del modelo a las composiciones de tallas de las campañas acústicas de anchoveta.

Tabla 9. Parámetros del modelo de evaluación trimestral ajustado a los datos de anchoveta

Number of parameters = 137 Objective function value = 1140.52 Maximum gradient component = 4.12481e-005
log_L50:
 2.70961
log_sigma1:
 -0.0438485
log_sigma2:
 0.752255
log_L50c:
3.09848118892
log_sigma1c:
14.9722891492
log_sigma2c:
6.90775527898
log_Rmed:
7.76772169966
log_desv_Rt:
 -0.332192911733 -0.327738803424 0.117466162529 -0.658082573516 0.0492542731335 0.270547608299
0.177903499111 0.0917169470434 -0.173574748419 -0.253131063075 0.0412722727888 0.157811602162
0.130579302136 0.273710413678 -0.327339768352 -0.228488196254 0.0933146612433 0.172509602864
0.119877763370 -0.0179228936331 0.171930746882 -0.160710990675 0.0638747093471 0.547063516892
0.000348867603073
log_desv_Rs:
 -0.455946945662 -0.753785795956 0.219425905480 0.990306836138
log_F:
 -2.23402675446 -0.485380297165 -3.47980117391 -13.2634551544 -7.23223339765 -1.11049566847 -4.26019999768 -
13.3269255398 -4.45452267353 -0.835286181111 -3.35423796308 -13.5669590590 -3.96932008656 -0.732282586887 -
4.40504376279 -13.3005207743 -13.4146786980 -1.58902639470 -7.44537219272 -13.5239962694 -8.65161450077 -
1.13876528806 -3.67321977882 -13.8321145002 -14.1717906118 -0.964738904679 -2.33247521040 -13.8046046196 -
14.1007567201 -1.20658951266 -3.35147096796 -13.7858617913 -14.0400831070 -1.24864743191 -4.42498922151 -
13.6268092542 -13.8194386051 -1.46829924751 -4.84541081962 -13.4927305599 -13.7223347399 -1.24400914946 -
4.19518397414 -13.6046994908 -13.9455781839 -1.01213589716 -2.76962799987 -13.7262151564 -14.0610189159 -
1.06313479877 -1.72603696211 -13.7020061574 -14.0340818098 -1.08738833073 -2.76967685974 -13.8414527985 -
14.1717039916 -0.990338205498 -1.92056593411 -13.5217477310 -13.6849640039 -1.46706710791 -4.75326122236 -
13.4405498501 -13.7174673711 -1.22212970248 -3.58732799899 -13.6349946433 -13.9892521143 -1.16565132768 -
4.12618401634 -13.7988042919 -14.0978395082 -1.14802921953 -2.30871163686 -13.7575685250 -14.0462541878 -
1.20760172746 -2.74019265935 -13.6838148316 -13.9375554097 -1.54733608143 -3.41459479595 -13.7911097793 -
14.0914691631 -1.08271064340 -2.52667623119 -13.6063354867 -13.8206937593 -1.17833474567 -2.63782886426 -
13.6171024950 -13.9687546339 -1.20963546622 -3.47010704610 -14.0281903402 -14.4161397842 -0.949594299035 -
0.950397471616 -13.6737301722
log_qflo:
 -7.61956798140
log_qcru:
0.00000000000
log_b:
0.00000000000
log_Linf:
3.09557760852
log_k:
-1.73846833784
log_Lr:
2.48490664979
log_sr:
-0.186329578191
log_beta:
-1.89711998489
log_M:
-0.916290731874

log_h:
0.00000000000

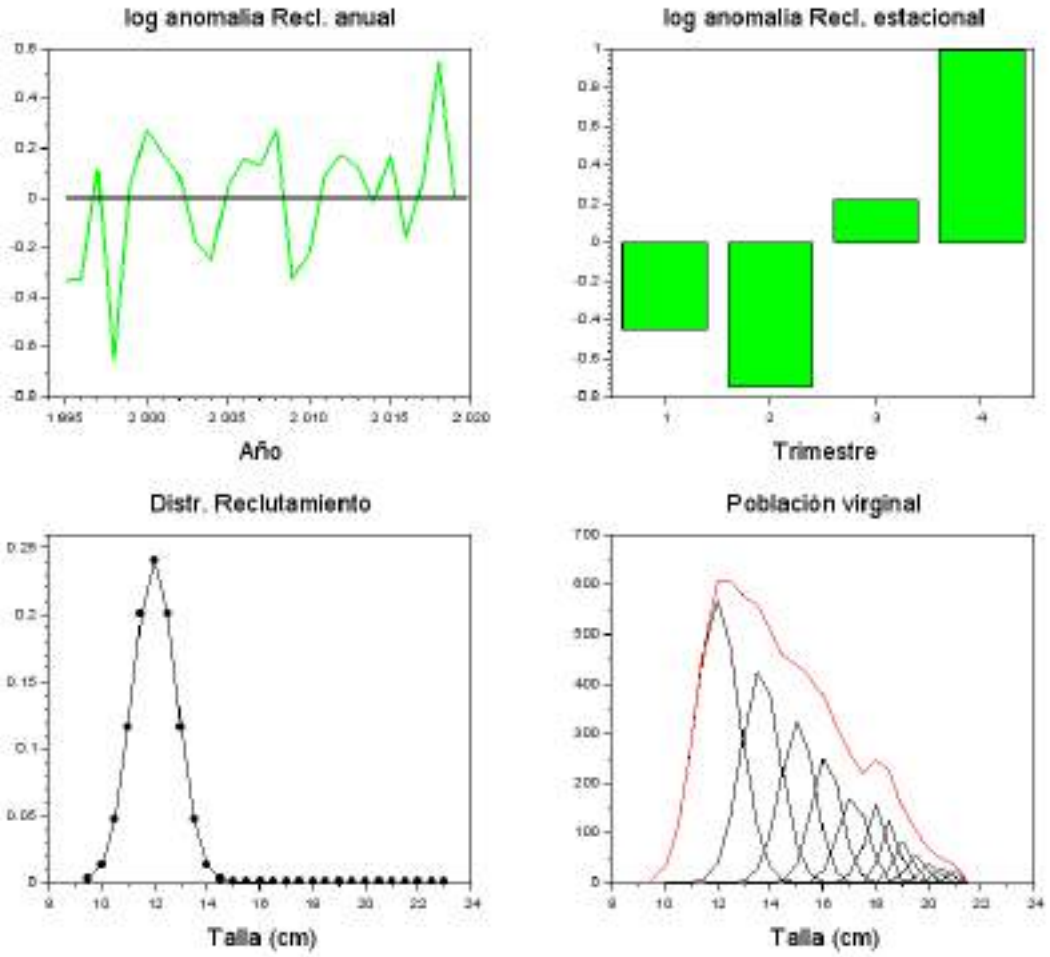

Figura 11. Log anomalías anuales y trimestrales del reclutamiento, y distribución del reclutamiento a la talla de la anchoveta

Variables poblacionales y diagnóstico

El patrón estacional de los reclutamientos ha sido determinante en la variabilidad de la biomasa de anchoveta. La biomasa total ha variado en torno a 300 mil toneladas en tanto la biomasa desovante y explotable lo han hecho en torno las 100 mil toneladas. Se estima que el incremento poblacional del 2019 se debió al fuerte reclutamiento del año 2018, generando con ello máximos históricos de capturas. Las medidas de precisión en las estimaciones corresponden a coeficientes de variación del 20% en biomasa desovante e igualmente indican que la biomasa desovante es significativamente (al 95%) mayor que la Brms (**Figura 12, 13 y Tabla 9**). Complementariamente con los análisis, la modelación en dos escenarios de reclutamientos permitió examinar posible diferencias en las tendencias y escalas de las

variables poblacionales. El modelo extendido sin efectos fijos (modelo 1) genero estimaciones de biomasa desovante levemente menores a las del modelo base reducido con efectos fijos en el reclutamiento (modelo 2) (**Figura 14**). El modelo 2 acentúa la variabilidad de los reclutamientos y genera menor magnitud en el valor de la mortalidad por pesca. En términos del agotamiento de la población %B0, el modelo 2 tiende a estimar niveles ligeramente mayores que el modelo 1 pero en ambos casos por sobre el 60% de la biomasa desovante virginal (**Figura 14**). De acuerdo con el modelo base (modelo 2), la proporción de biomasa virginal se estima en promedio del 70%.

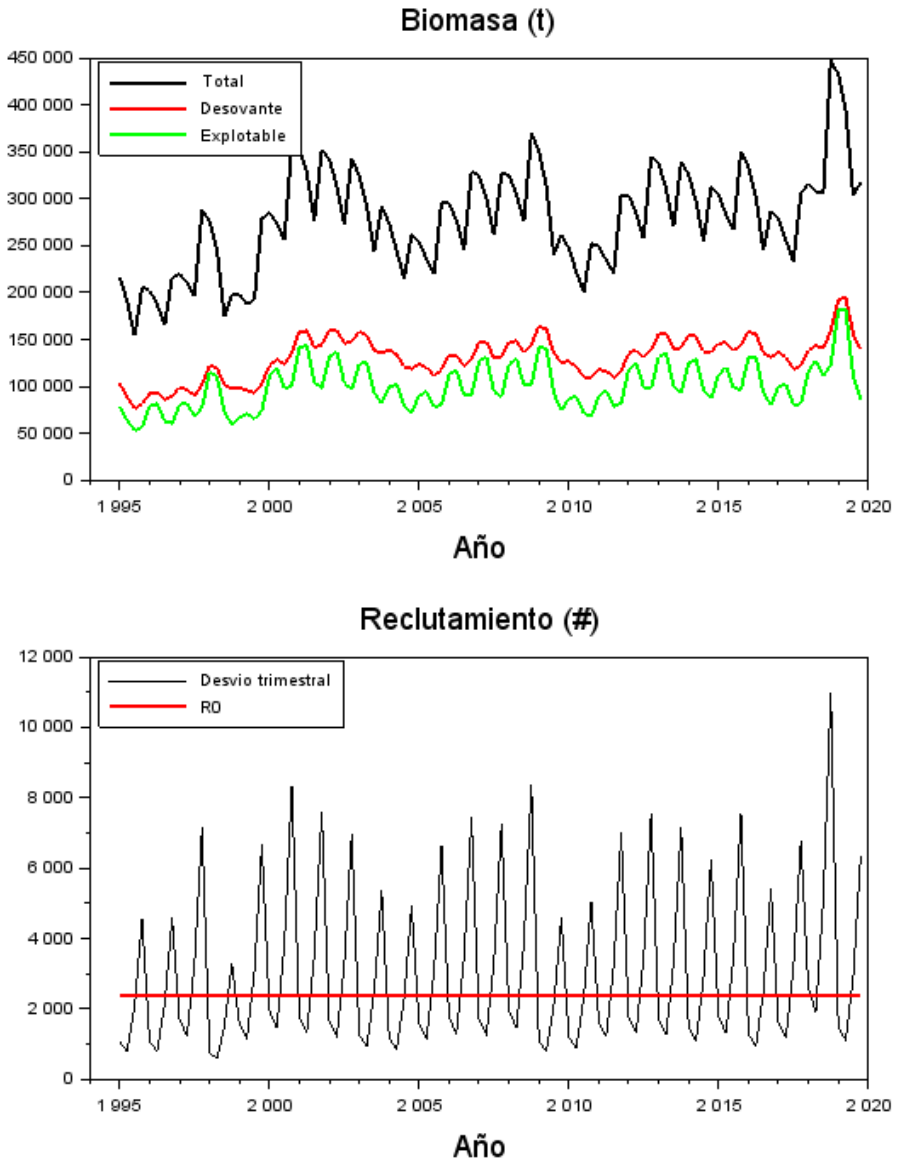

Figura 12. Biomasas y reclutamiento trimestales de anchoveta en torno al reclutamiento de largo plazo (R0).

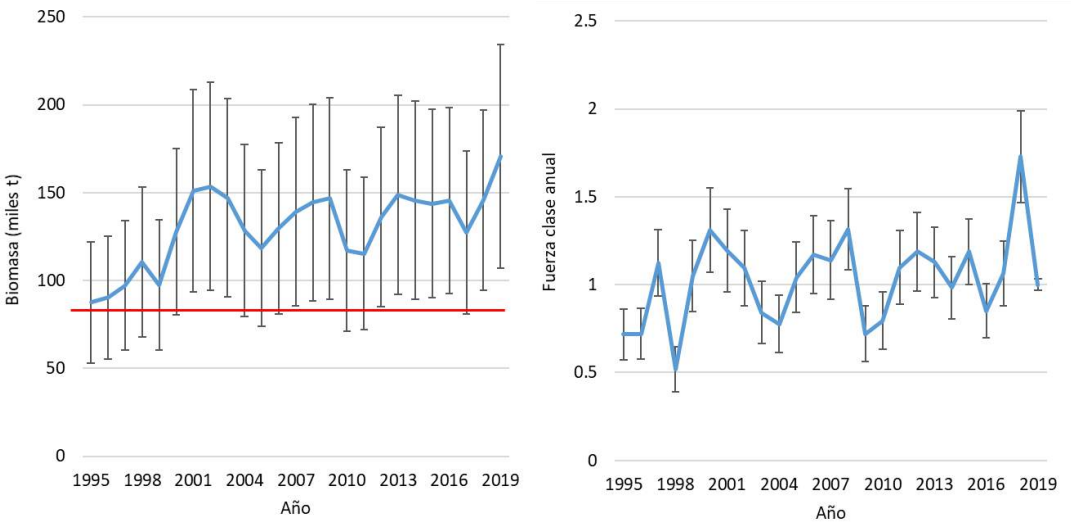

Figura 13. Biomasa desovante y fuerza de la clase anual promedio anual de anchoveta. Las barras representan intervalos de confianza al 95%. La línea azul es la mediana y la línea roja es la Brms.

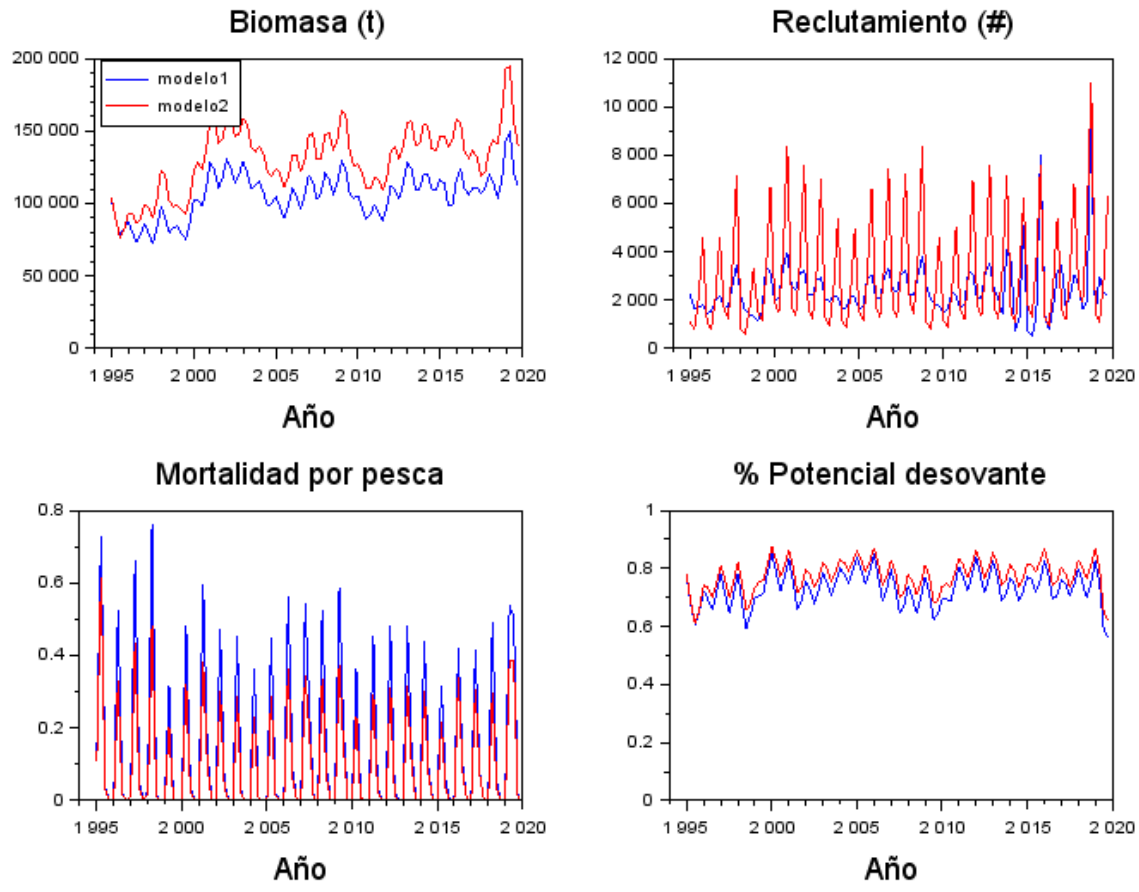

Figura 14. Biomasa desovante, reclutamiento, mortalidad por pesca y proporción de biomasa desovante virginal trimestral de anchoveta para un modelo extendido sin efectos fijos (modelo 1) y el modelo base con efectos fijos (modelo 2).

Tabla 9. Estimaciones de biomasa, reclutamiento, mortalidad por pesca promedio trimestral y potencial desovante (%B0) de anchoveta

Año	Biomasa total (t)	Biomasa desovante (t)	Desembarque (t)	Reclutamiento (1E6)	F ($trim^{-1}$)	%B0
1995	191,839	87,518	51,863	2,137	0.251	0.683
1996	192,774	90,269	28,325	2,146	0.115	0.731
1997	228,806	97,123	39,862	3,350	0.160	0.755
1998	223,704	110,495	57,820	1,542	0.171	0.725
1999	214,342	97,634	14,790	3,129	0.068	0.765
2000	293,337	127,683	41,584	3,904	0.115	0.821
2001	327,891	151,089	66,221	3,559	0.159	0.779
2002	317,863	153,601	45,302	3,265	0.111	0.769
2003	287,979	146,959	37,938	2,504	0.100	0.791
2004	248,765	128,377	24,518	2,312	0.079	0.816
2005	251,581	118,486	28,840	3,104	0.101	0.826
2006	286,652	129,553	49,170	3,488	0.142	0.800
2007	303,234	139,141	63,190	3,394	0.174	0.759
2008	318,818	144,385	50,938	3,916	0.133	0.748
2009	291,518	146,778	67,070	2,147	0.173	0.738
2010	230,586	117,052	21,579	2,370	0.080	0.750
2011	252,295	115,339	30,815	3,270	0.107	0.806
2012	297,653	136,028	41,318	3,539	0.109	0.814
2013	314,198	148,543	53,910	3,358	0.139	0.793
2014	297,540	145,596	45,449	2,926	0.121	0.776
2015	301,580	143,782	29,398	3,537	0.082	0.809
2016	291,838	145,397	53,556	2,536	0.140	0.796
2017	267,923	127,218	38,062	3,175	0.126	0.772
2018	344,141	145,758	42,012	5,148	0.110	0.801
2019	361,650	170,580	115,747	2,980	0.258	0.734
Promedio	277,540	130,575	45,571	3,069	0.133	0.774

Para fines de diagnóstico se propuso como referente un objetivo de manejo equivalente a cautelar el 60% de la biomasa desovante virginal. El rol ecológico de la anchoveta en la cadena trófica involucra mayor escape de biomasa que otras especies demersales. Los Puntos Biológicos de Referencia (PBR) para la anchoveta fueron estimados proyectando trimestralmente la biomasa en el largo plazo para diferentes valores de mortalidad por pesca promedio anual. En cada escenario se evaluó el valor de biomasa estacionaria respecto de la

biomasa virginal junto a la captura anual en equilibrio de largo plazo (**Figura 15**). Se estimó como proxy del rendimiento máximo sostenido una biomasa desovante Brms=79.6 mil toneladas y un nivel de Rendimiento Máximo Sostenido de 71 mil toneladas. La mortalidad por pesca que permite este objetivo de manejo tiene un valor Frms=0.21 (**Figura 15**).

De acuerdo con lo anterior, si bien la mortalidad por pesca sobre la anchoveta ha tendido situaciones puntuales de sobrepesca (F>Frms), estas no han sido sostenidas en el tiempo como para generar efectos se sobreexplotación (B<Brms) (**Figura 16**). La biomasa desovante se estima en promedio en torno al 77% de la biomasa virginal y a excepción de su disminución del 2019 debido al gran desembarque registrado, las capturas anuales han variado en torno a 45 mil toneladas y por debajo de RMS, explicando por ende la favorable condición actual de la población. Consecuentemente, esto se traduce en niveles de mortalidad por pesca promedio trimestral de 0.13, lo cual equivale al 63% del valor de referencia Frms.

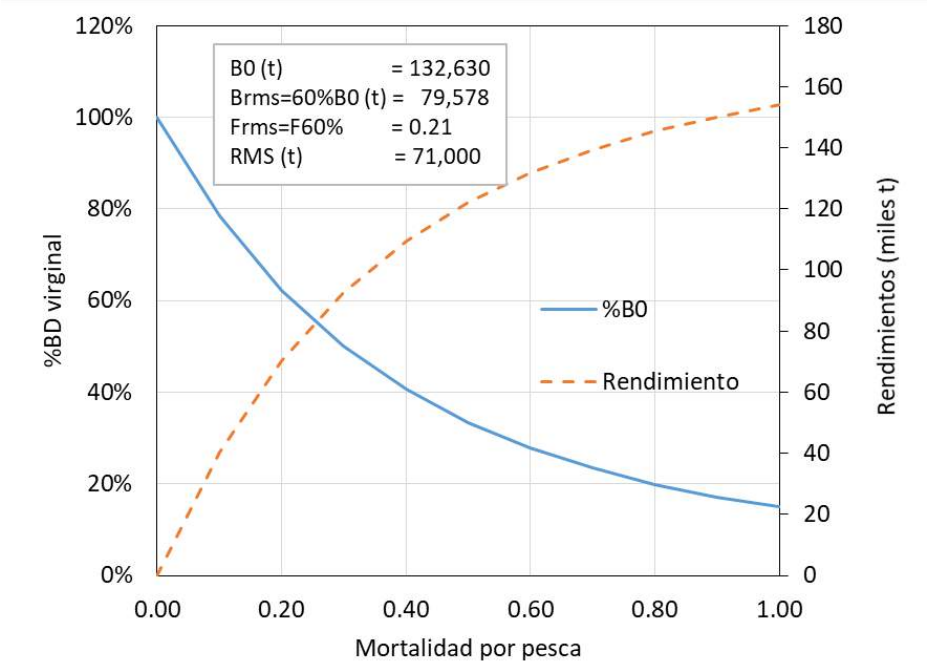

Figura 15. Proporción de la biomasa desovante virginal y rendimiento de largo plazo de la anchoveta para diferentes niveles de mortalidad por pesca anual. En el recuadro se proporcionan los Puntos Biologicos de Referencia propuestos. El RMS es en escala anual.

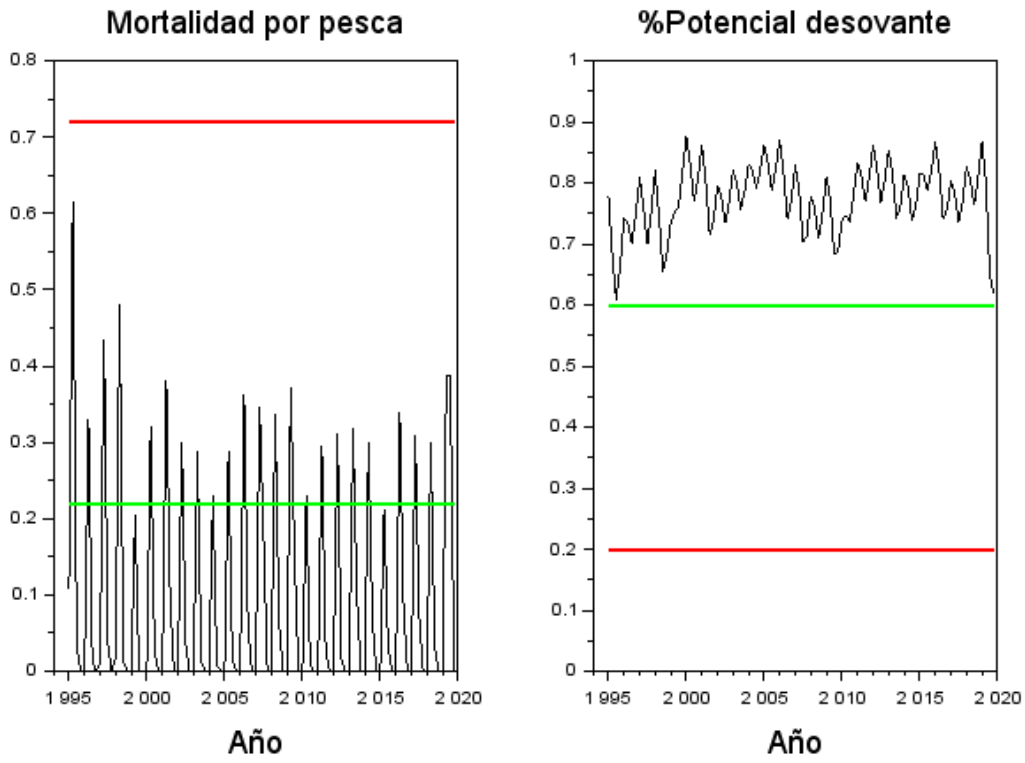

Figura 16. Mortalidad por pesca y potencial desovante de la anchoveta. La línea roja representa el PBR límite y la línea verde el PBR objetivo.

Una extensión del análisis consideró seis escenarios adicionales de evaluación a fin de evaluar la incertidumbre estructural en la estimación y el diagnóstico de la anchoveta. Los resultados mostraron que los diferentes escenarios generan diferencias notables en la escala de la biomasa poblacional. Bajo un escenario de mayor densodependencia en el reclutamiento (S2), o suponer un crecimiento mas acelerado con menor longevidad (S3), o hiper-estabilidad en la CPUE (S4) o la estimación de M al interior del modelo (S5), el desempeño del modelo empeoró significativamente dado el aumento de la log-verosimilitud en mas de dos unidades, razón por la cual estas hipótesis fueron descartadas. Sin perjuicio de esta decisión estadística, y para el caso con mayor reducción de la biomasa desovante (S4), dicha medida se estimó en un 58%, apenas por debajo del objetivo de manejo propuesto. Este escenario fue además el más próximo al escenario base en cuanto al valor de verosimilitud, mayor en tan solo 4 unidades (con 2 unidades se consideran diferencias significativas). En este escenario, la hipótesis de CPUE hiper-estable muestra un ligero mejor ajuste del modelo a las composiciones de tallas de capturas y acústica respecto del escenario base (**Tabla 10, Figura 17**).

Tabla 10. Log-verosimilitud para las distintas piezas de información y penalización de los reclutamientos en 5 escenarios de Anchoveta. Entre paréntesis se muestra la diferencia en log-verosimilitud respecto del mínimo de cada conjunto de datos. S1: Base; S2: h=0.75, S3: S1 + Loo=17, k=0.32, M=0.6, S4: S1+b=0.5, S5: S1+M estimado.

	S1	S2	S3	S4	S5
CPUE	15 (0)	36 (21)	32 (17)	22 (6)	37 (21)
Acustica	4 (0)	6 (3)	4 (0)	4 (0)	9 (5)
Capturas	0 (0)	1 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
P.Tallas Capt	990 (7)	1079 (96)	1441 (458)	983 (0)	1074 (91)
P.Tallas Acus	127 (0)	226 (100)	253 (127)	126 (0)	128 (2)
Dev Reclutas	5 (0)	9 (4)	10 (5)	10 (5)	9 (4)
Total	1140 (0)	1357 (217)	1740 (600)	1144 (4)	1257 (117)
Biomasa (t)	139,801	210,154	112,535	123,240	221,513
%B0	62%	71%	67%	58%	72%

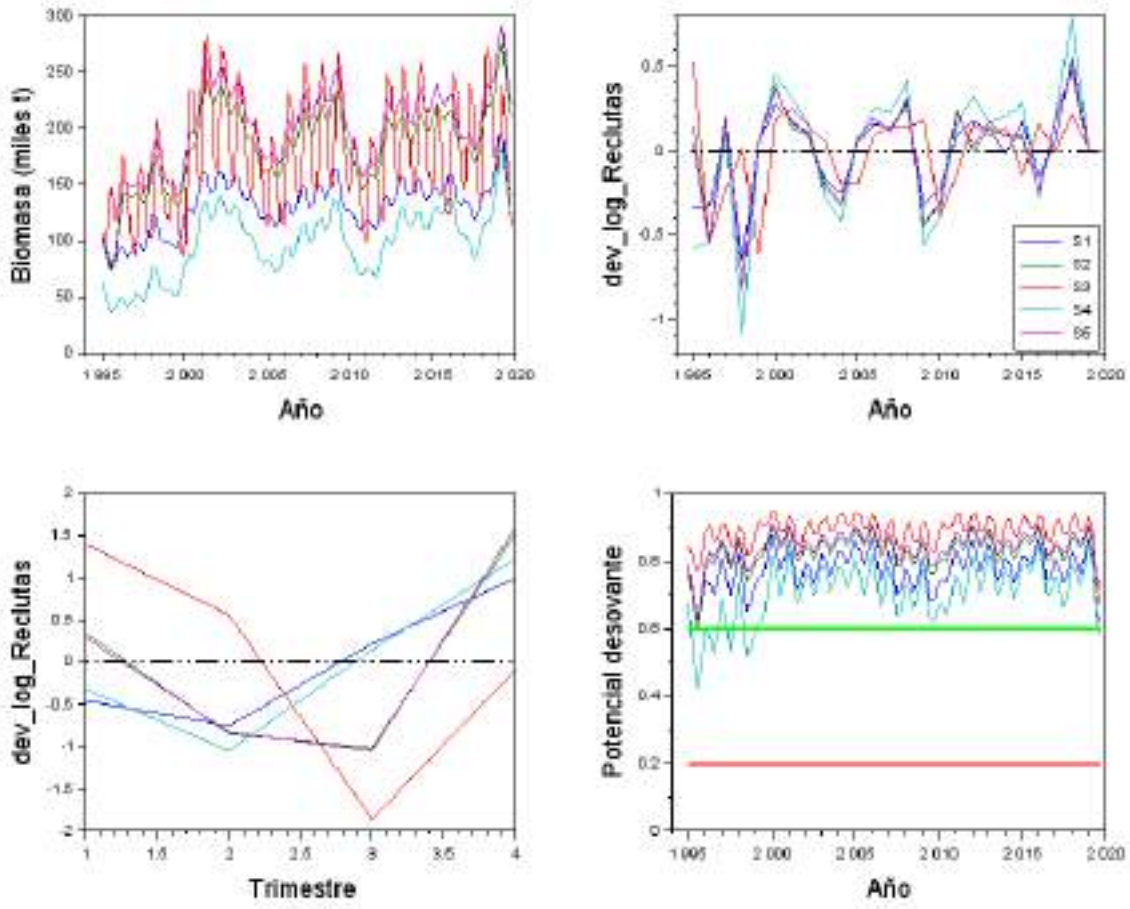

Figura 17. Biomasa desovante, log desvíos de reclutas y potencial desovante de anchoveta para 5 escenarios de análisis

3.2.2. Arenque

Ajuste del modelo y estimación de parámetros

Al igual que la anchoveta, los resultados muestran que el modelo se ajusta bien a la señal de CPUE trimestral siendo esta la principal pieza de información en el modelo, y del mismo modo la tendencia al alza que registro la biomasa acústica (**Figura 18**).

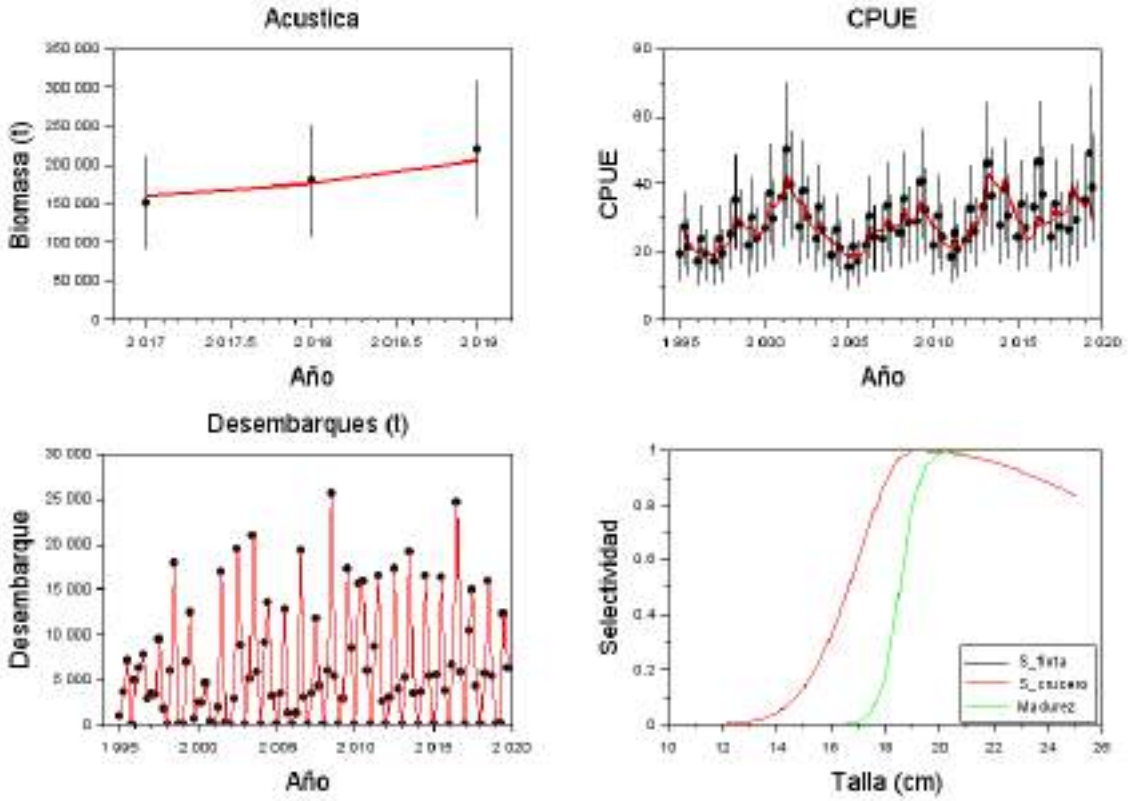

Figura 18. Ajuste del modelo a la serie de biomasa acústica, CPUE y desembarques de arenque, junto al patrón de selectividad a la talla.

Cabe recordar que la capturabilidad del crucero fue asumida igual a uno, lo cual significa que en promedio las estimaciones reflejarían la escala de la realidad. La selectividad del crucero se estimó del tipo domo debido a que en general y por sobre la talla modal, se reportan individuos más pequeños que los que observa la flota. Además, y mientras esta última fuente cubrió en un 100% todo el rango de individuos entre los 10 y 26 cm de longitud, por el lado de los individuos incompletamente reclutados a la pesquería, el crucero registra tallas mayores que la flota. Esto podría significar que el crucero no cubriría la mejor época para

identificar el pulso de la clase anual entrante, dado que no es capaz de advertir de manera significativa la presencia de reclutas. Por su parte y dado el hecho que no exista selectividad por parte de la flota, significa que esta población resulta potencialmente más vulnerable que la anchoveta (**Figura 18**).

El modelo reprodujo en promedio la variabilidad de las composiciones de tallas de las capturas no obstante considerar patrones de explotación constantes. A partir del año 2016 se observó una disminución de la talla promedio que podría relacionarse con variaciones en el efecto selectivo, y que la historia de las composiciones de tallas de las capturas puede resumirse en dos modas conforme se aprecia al integrar todos los trimestres (**Figura 19**). De la misma forma, los datos de tallas de los cruceros muestran una progresión cuyo incremento en longitud no sería esperable dado el set de parámetros de crecimiento empleados. En este mismo sentido, se estima que la falta de ajuste del modelo a la estacionalidad en el incremento de la talla promedio de las capturas, se podría relacionar al valor del coeficiente de crecimiento (k) el que debería ser mayor, junto a una talla asintótica menor a lo considerado.

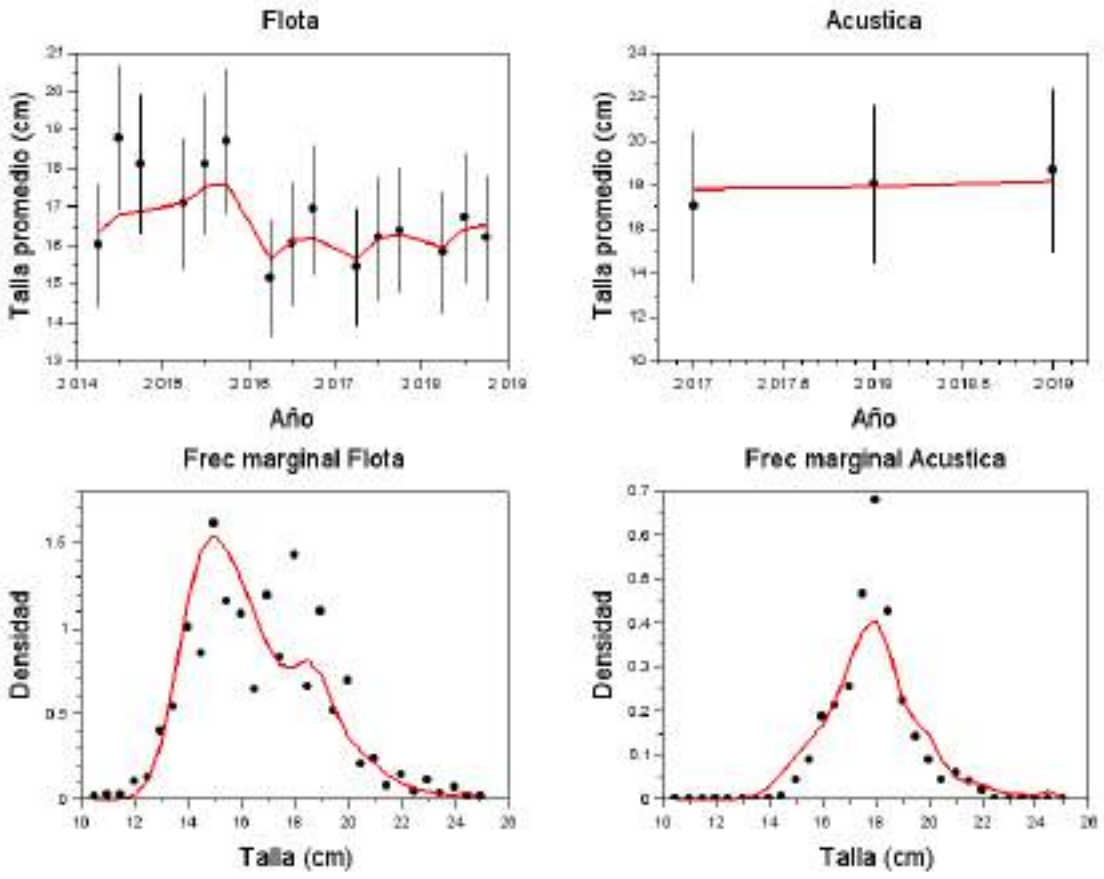

Figura 19. Ajuste del modelo a la serie de talla promedio de las capturas trimestrales, acústica, y frecuencia de tallas marginales de las capturas y acústica de arenque.

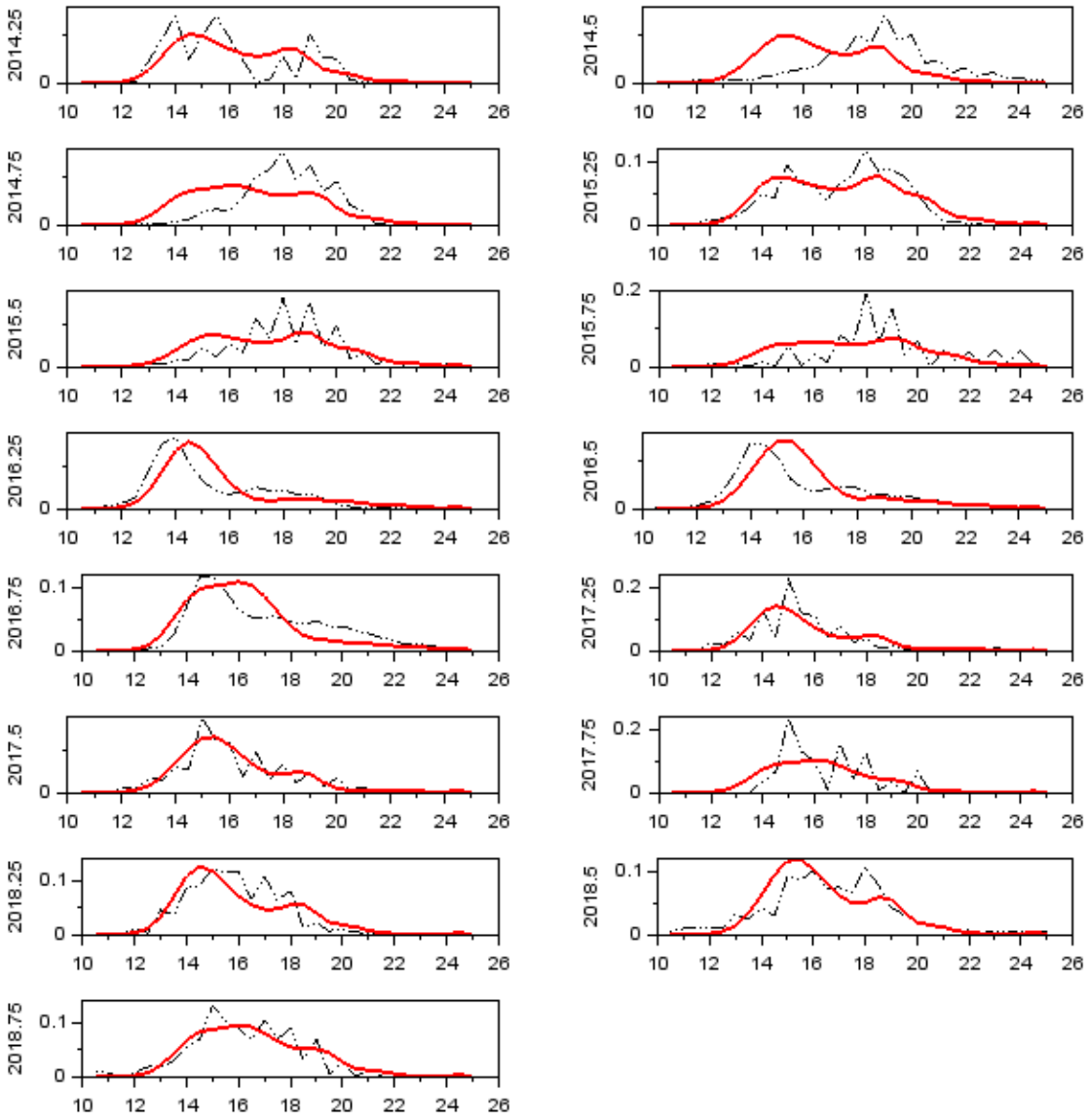

Figura 20. Ajuste del modelo a las composiciones de tallas de las capturas trimestrales de arenque.

A partir de la falta de ajuste del modelo a las composiciones de tallas de los cruceros, se podría deducir que el diseño de muestreo generaría cambios sustanciales en el patrón de selectividad talla-específica. Sin perjuicio de esto, a nivel integrado, el modelo reproduce la forma general que presentan los datos de composición de tallas integrada del crucero. En la **Figuras 20 y 21** se muestra el detalle del ajuste del modelo a las frecuencias de tallas trimestrales y el conjunto de parámetros resueltos se reporta en la **Tabla 11**. El ajuste del modelo sugiere que la irregularidad de los datos se explicaría por tamaños muestrales bajos, y no obstante esto, ajusta la generalidad de patrón observado caracterizado por distribuciones de tallas sesgadas hacia los individuos grandes (**Figura 20**). La falta de mayor ajuste en

algunos trimestres/años se debería al error de observación de los datos, o bien error de proceso producto de cambios en los patrones de explotación que no fueron considerados. Cabe mencionar que la inclusión de variabilidad en el patrón de explotación/selectividad de la flota en un modelo debería ser bien justificado, pues significa de cierto modo reducir la influencia que tienen estas composiciones de tallas en el ajuste total.

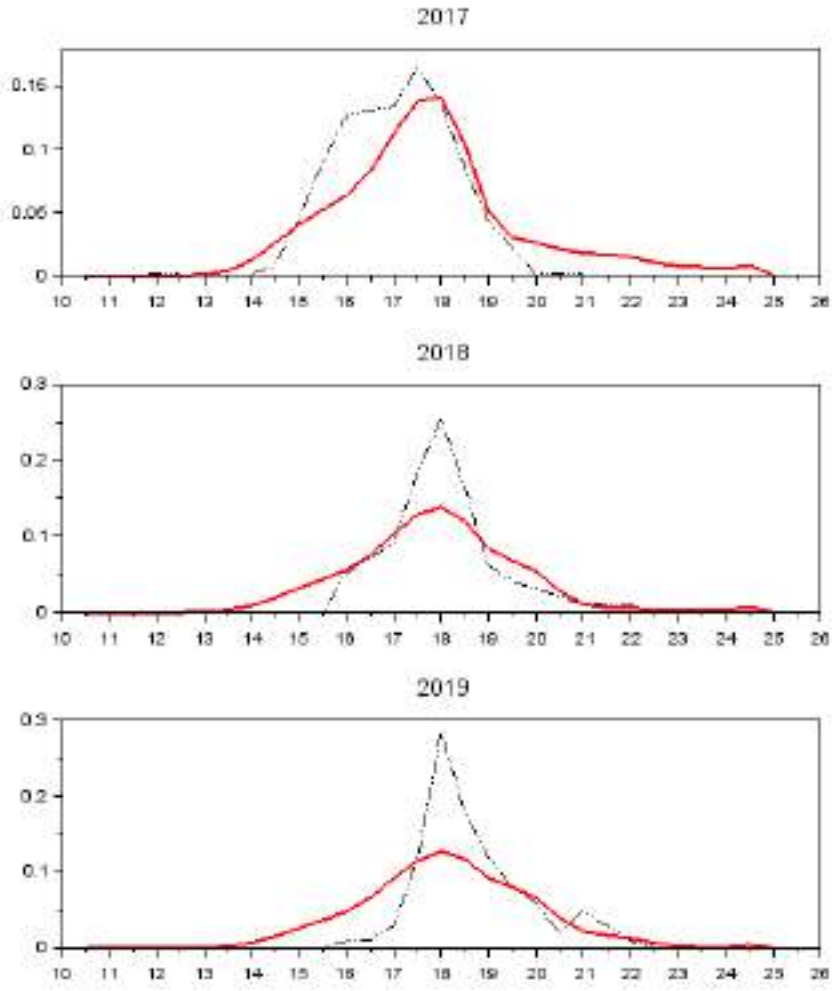

Figura 21. Ajuste del modelo a las composiciones de tallas de las campañas acústicas de arenque.

En cuanto al reclutamiento y a partir de su proyección trimestral bajo condiciones virginales, se estima que su paso y supervivencia a través de las composiciones de tallas de las capturas, daría cuenta de poco más de 8 grupos trimestrales de edad (2-3 años) **(Figura 22**). El reclutamiento de arenque tendría una distribución de tallas en torno a 14 cm extendido más o menos entre los 12.5 cm y 16 cm. Además de esto, este proceso presentaría un marcado patrón estacional con máximos durante el segundo trimestre del año, mientras que a nivel

interanual, las log-anomalías anuales no muestran tendencias significativas durante los años más recientes (**Figura 22**).

Tabla 11. Parámetros del modelo de evaluación trimestral ajustado a los datos de arenque

Number of parameters = 135 Objective function value = 2905.14 Maximum gradient component = 1.11749e-005
log_L50:
8.43334776315631
log_sigma1:
23.7104029275700
log_sigma2:
6.90775527898214
log_L50c:
2.94443897917
log_sigma1c:
0.693147180560
log_sigma2c:
2.30258509299
log_Rmed:
7.21279909874
log_desv_Rt:
-0.535745041081 -0.387302507380 -0.0914692642154 0.227155263508 -0.238491991248 0.451323737273 0.372931852903 -0.183534973079 -0.0670974993695 -0.474083352177 -0.354423519988 0.223128355064 -0.00492848931270 0.259202374121 0.141452946653 -0.357914445945 -0.230729727263 0.467706779592 0.636427248634 0.0725035056000 -0.831849420116 0.256163896041 0.385076726187 0.262573695262 0.00192385033511
log_desv_Rs:
0.141555894499 0.581136157200 -0.563803049214 -0.158889002485
log_F:
-5.84151004307 -4.46679191241 -3.66270332958 -12.4322646379 -3.91260833477 -3.72901572324 -3.40616910536 -4.36271894350 -4.22731334730 -4.45503587406 -3.30911832327 -4.98961268434 -12.5815393251 -4.09938796521 -2.92911867686 -12.7142849520 -12.6994735426 -3.90951931538 -3.19424583308 -6.18060398072 -4.96560548717 -5.19008769453 -4.47814771604 -7.15490387172 -12.9906008753 -5.56991224373 -3.30312550530 -7.87687316586 -12.9523057989 -5.03383927744 -2.94014624472 -3.61931301680 -12.6878101607 -4.25918023697 -2.70490244978 -3.91665172338 -12.5287931047 -3.43676247199 -2.89254592667 -4.27445271301 -12.3255576408 -4.30703189437 -2.86898884969 -5.14095938897 -12.4503706484 -5.53757544141 -2.78864217277 -4.63398035282 -12.6885815127 -4.66873421775 -3.34266509010 -4.30548039048 -12.7390346376 -4.23633924437 -2.67104163462 -4.18509870516 -12.8109673598 -4.98914116384 -3.07366177965 -3.72984165722 -12.7174480318 -3.07876897070 -2.88629328229 -3.77122400388 -12.4618644022 -3.49729534404 -2.72808038407 -4.57039147331 -12.6016571725 -4.91245116711 -3.10583081193 -4.60303616674 -13.0085431717 -4.69158751698 -3.30412594006 -4.99756103715 -13.1150239468 -4.95942217120 -3.30966056120 -4.34146621912 -12.8000777296 -4.10583331884 -2.82983244917 -4.14124369389 -12.5047112085 -3.97102135077 -2.55551236680 -3.97329870065 -12.7753028479 -3.73477293062 -3.29902680778 -4.52593460359 -12.9302360406 -4.40425147898 -3.28683776173 -4.31300294735 -12.8857425225 -7.68126978220 -3.42446224063 -4.01647234247
log_qflo:
-9.41154968900
log_qcru:
0.00000000000
log_b:
0.00000000000
log_Linf:
3.32503602070
log_k:
-2.57393371570
log_Lr:
2.65658154011
log_sr:
-0.186329578191

log_beta:
-1.89711998489
log_M:
-1.10866262452

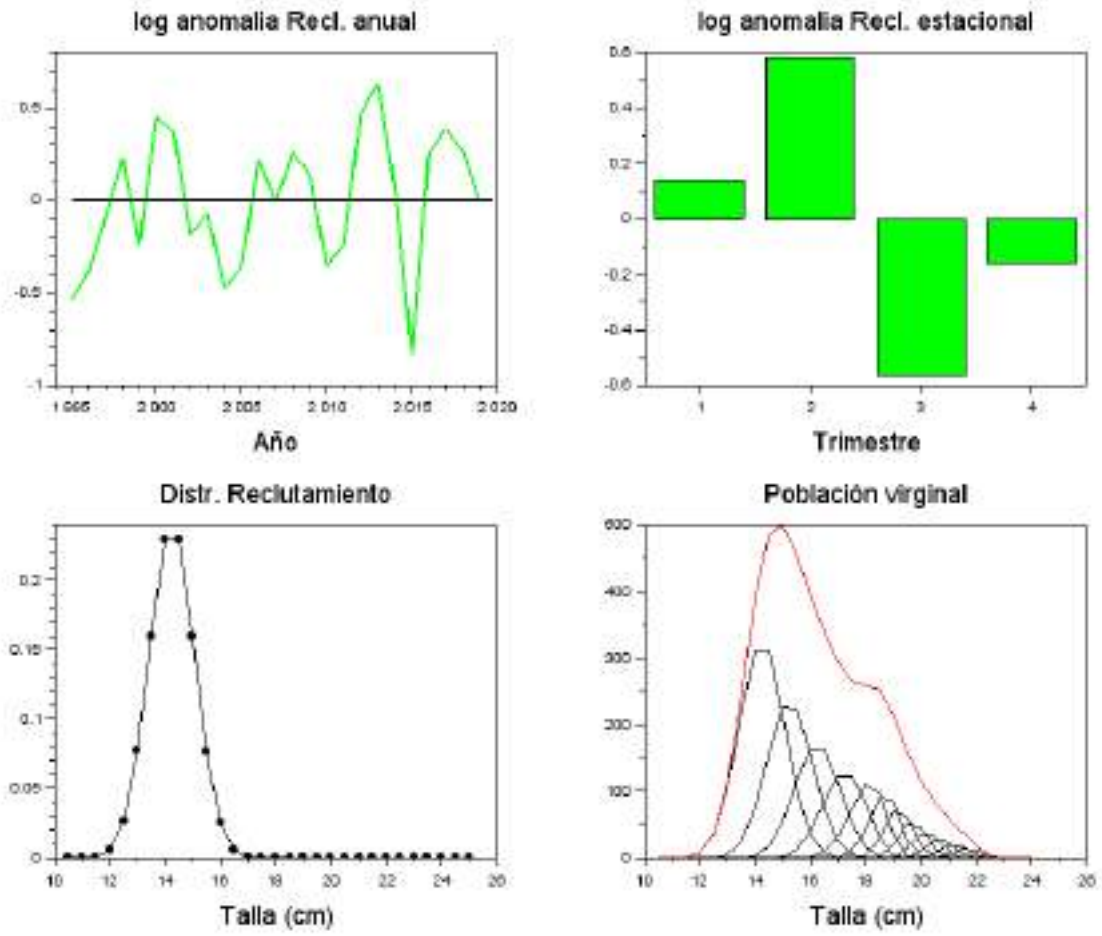

Figura 22. Log anomalías anuales y trimestrales del reclutamiento, y distribución del reclutamiento a la talla de arenque

Variables poblacionales y diagnóstico

La variabilidad y ciclicidad de los reclutamientos ha sido determinante en los cambios de escala de la biomasa de arenque. La biomasa total habría variado en torno a 400 mil toneladas, en tanto la biomasa desovante y explotable lo han hecho en torno las 100 mil y 340 mil toneladas respectivamente. Se estima que el patrón cíclico de la población tendría una extensión de más o menos 5 años, y que el stock podría estar iniciando una natural disminución lo cual se refleja de algún modo en las capturas del 2019 (18 mil t), una de las más bajas de los últimos 10 años (**Tabla 12**). La precisión en las estimaciones de biomasa desovante se traducen en coeficientes de variación del 22% y significativamente (al 95%) por sobre el valor objetivo Brms (**Figura 24**).

El modelo empleado para la evaluación de esta especie es reducido y parsimonioso en cuanto a la cantidad de parámetros (135), y una extensión en la modelación de los reclutamientos permitió examinar posibles diferencias en las tendencias y escalas de las variables poblacionales. Una versión extendida sin efectos fijos (modelo 1) de 207 parámetros genero estimaciones de biomasa desovante menores (**Figura 25**). El modelo 1 estima el reclutamiento trimestralmente y acentúa la variabilidad de los reclutamientos y genera mayor magnitud en el valor de la mortalidad por pesca. En términos del agotamiento de la población %B0, el modelo 1 tiende a estimar niveles ligeramente menores que el modelo 1 pero en ambos casos por sobre el 70% de la biomasa desovante virginal (**Figura 25**).

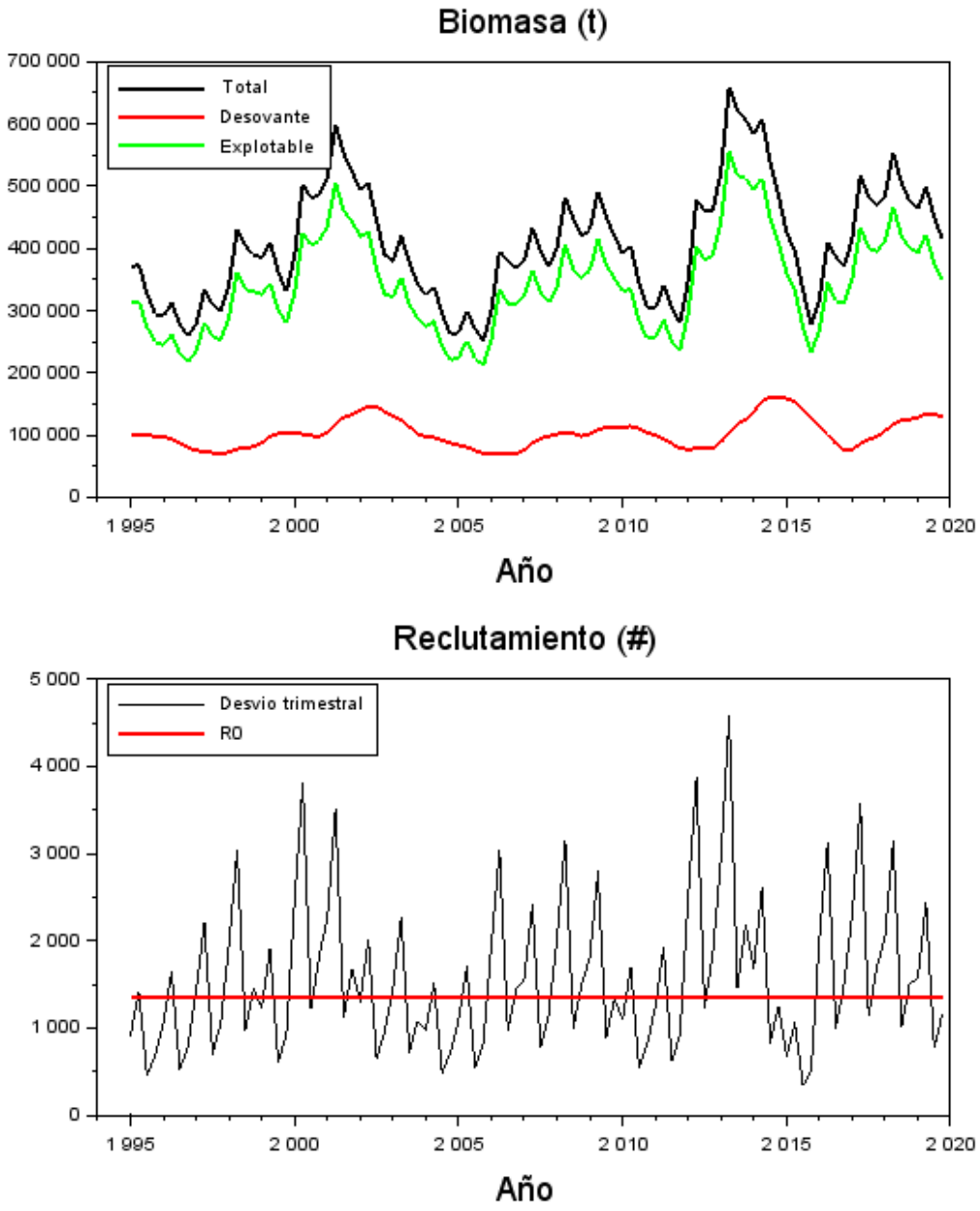

Figura 23. Biomasas y reclutamiento trimestales de arenque en torno al reclutamiento de largo plazo (R0).

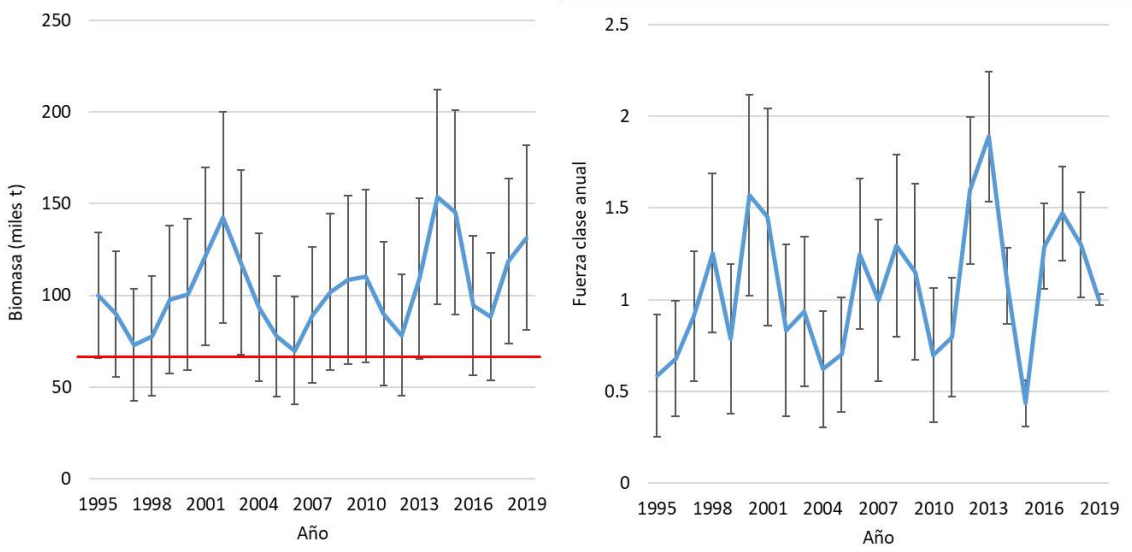

Figura 24. Biomasa desovante y fuerza de la clase anual promedio anual de arenque. Las barras representan intervalos de confianza al 95%. La línea azul es la mediana y la línea roja es la Brms.

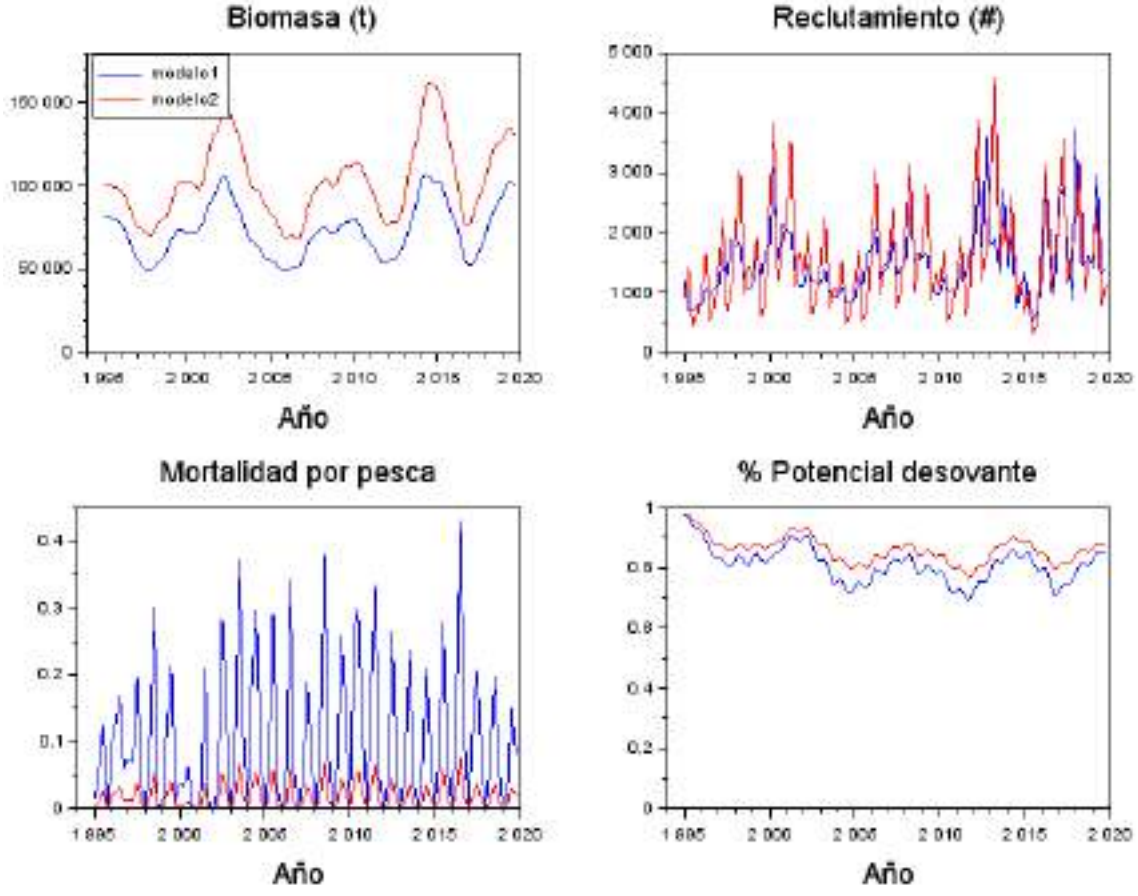

Figura 25. Biomasa desovante, reclutamiento, mortalidad por pesca y proporción de biomasa desovante virginal trimestral de arenque para un modelo extendido sin efectos fijos (modelo 1) y el modelo base con efectos fijos (modelo 2).

Tabla 12. Estimaciones de biomasa, reclutamiento, mortalidad por pesca promedio trimestral y potencial desovante (%B0) de arenque.

Año	Biomasa total (t)	Biomasa desovante (t)	Desembarques (t)	Reclutas (1E6)	F ($trim^{-1}$)	%B0
1995	341,609	100,027	11,626	866	0.010	0.965
1996	285,032	89,870	21,743	1,004	0.022	0.912
1997	305,751	72,989	17,959	1,350	0.017	0.868
1998	392,023	77,909	23,986	1,857	0.018	0.870
1999	372,179	97,852	19,963	1,166	0.016	0.874
2000	464,741	100,542	9,633	2,323	0.006	0.883
2001	547,090	121,287	19,111	2,148	0.010	0.924
2002	458,380	142,401	31,068	1,231	0.022	0.916
2003	380,516	117,990	31,655	1,384	0.025	0.859
2004	304,953	93,455	25,759	921	0.025	0.816
2005	271,522	77,664	17,432	1,038	0.019	0.808
2006	361,088	69,847	23,676	1,849	0.019	0.831
2007	395,038	89,212	19,390	1,472	0.015	0.863
2008	437,478	101,912	36,819	1,917	0.025	0.864
2009	447,869	108,486	28,672	1,704	0.019	0.848
2010	360,948	110,443	37,297	1,034	0.031	0.824
2011	307,380	89,946	27,582	1,175	0.026	0.788
2012	437,086	78,349	24,133	2,362	0.016	0.804
2013	602,905	109,255	27,751	2,796	0.013	0.865
2014	553,850	153,796	25,535	1,591	0.014	0.893
2015	357,791	145,187	25,621	644	0.023	0.874
2016	371,411	94,477	37,037	1,912	0.029	0.824
2017	471,060	88,550	29,591	2,175	0.018	0.816
2018	504,967	118,687	26,967	1,924	0.016	0.854
2019	456,732	131,509	18,809	1,482	0.013	0.876
Promedio	407,576	103,266	24,753	1,573	0.019	0.861

Al igual que en anchoveta, para fines de diagnóstico se propuso como referente un objetivo de manejo equivalente a cautelar el 60% de la biomasa desovante virginal, esto dado el rol ecológico que tiene el arenque en la cadena trófica. Los Puntos Biológicos de Referencia (PBR) para esta especie fueron estimados proyectando trimestralmente la biomasa en el largo plazo para diferentes valores de mortalidad por pesca promedio anual. En cada escenario, se evaluó el valor de biomasa estacionaria promedio respecto de la biomasa virginal junto a la captura anual en equilibrio de largo plazo (**Figura 26**). Se estimó como proxy del rendimiento

máximo sostenido una biomasa desovante Brms de 68.4 mil toneladas y un nivel de Rendimiento Máximo Sostenido de 66 mil toneladas. La mortalidad por pesca que permite este objetivo de manejo tiene un valor muy bajo estimado en Frms=0.06 (**Figura 26**). Este valor se debe al hecho que en el rango de tallas analizado no hay selectividad de la flota, y porque se vulneran individuos inmaduros. Como norma, mientras mayor sea la vulnerabilidad de individuos inmaduros, menor debe ser la mortalidad por pesca.

De acuerdo con esto, el análisis indica que la mortalidad por pesca que ha ejercido la flota sobre la población del arenque, en general no ha tendido situaciones de sobrepesca en su historia (F>Frms), y nunca se han registrado eventos se sobreexplotación (B<Brms) (**Figura 27**). La biomasa desovante se estima en promedio en torno al 86% de la biomasa virginal con capturas anuales han variado en torno a 25 mil toneladas muy por debajo de RMS (66 mil t), explicando por ende la favorable condición actual de la población. Lo anterior se traduce en que en promedio los niveles de mortalidad por pesca han variado en torno a 0.019 trimestre^{-1}, lo cual equivale al 32% del valor de referencia Frms.

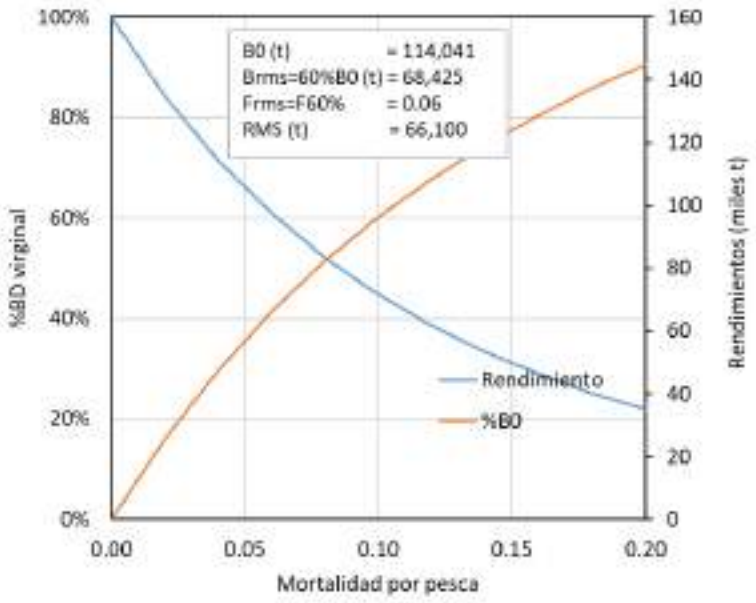

Figura 26. Proporción de la biomasa desovante virginal y rendimiento de largo plazo de la arenque para diferentes niveles de mortalidad por pesca anual. En el recuadro se proporcionan los Puntos Biologicos de Referencia propuestos. El RMS es en escala anual.

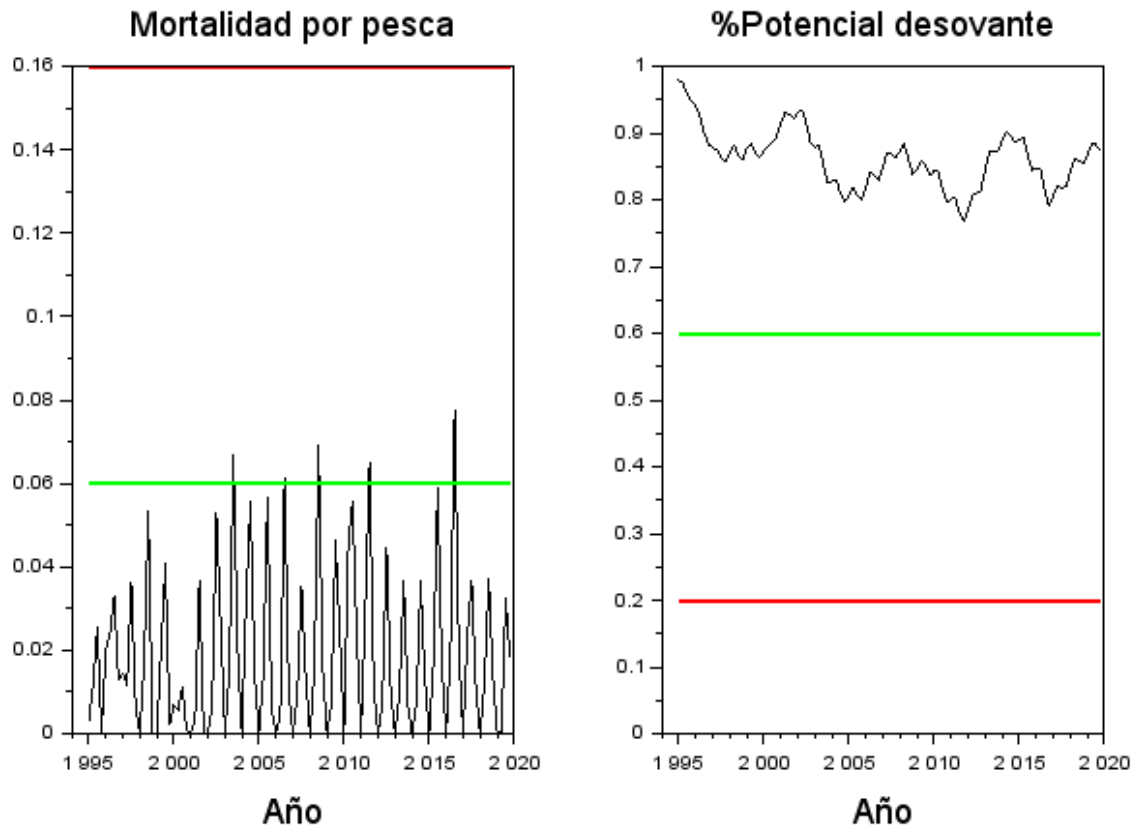

Figura 27. Mortalidad por pesca y potencial desovante de la arenque. La línea roja representa el PBR límite y la línea verde el PBR objetivo.

Una extensión del análisis consideró cinco escenarios adicionales de evaluación a fin de evaluar la incertidumbre estructural en la estimación y el diagnóstico del arenque. Los resultados mostraron que los diferentes escenarios generan diferencias en la escala de la biomasa poblacional pero sin llegar a alterar el diagnostico inicial. En el escenario de mayor densodependencia en el reclutamiento (S2), el ajuste del modelo no varía significativamente por lo que se concluye que en los datos no hay información sobre la relación stock-recluta. Del mismo modo al incrementar la longitud asintótica y el valor de k, el modelo empeora significativamente su ajuste (verosimilitud mayor). En el escenario de hiper-estabilidad en la CPUE el ajuste del modelo resulta ser significativamente mejor que el caso base, lo cual da cierta evidencia que la CPUE en esta especie podría ser poco sensible a variaciones en la biomasa poblacional, mientras que en el escenario en el cual la mortalidad natural es estimada ($M=0.32$ trimestre^{-1}) se obtiene el mejor desempeño el modelo, principalmente explicado por la disminución en la verosimilitud de las composiciones de tallas de las capturas **(Tabla 13**).

Sin perjuicio que este último escenario debiese ser considerado como referencia, y siendo este el peor de los casos, el nivel de reducción de la biomasa desovante se estimó en un 84%, muy por sobre el objetivo de manejo propuesto (**Tabla 13, Figura 28**).

Tabla 13. Log-verosimilitud para las distintas piezas de información y penalización de los reclutamientos en 5 escenarios de Arenque. Entre paréntesis se muestra la diferencia en log-verosimilitud respecto del mínimo de cada conjunto de datos. S1: Base; S2: h=0.75, S3: S1 + Loo=30, k=0.3, M=0.6, S4: S1+b=0.5, S5: S1+M estimado.

	S1	S2	S3	S4	S5
CPUE	41 (8)	41 (8)	33 (0)	50 (17)	43 (10)
Acustica	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Capturas	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
P.Tallas Capt	2636 (36)	2636 (36)	2693 (92)	2601 (0)	2612 (12)
P.Tallas Acus	218 (0)	218 (0)	238 (20)	221 (3)	219 (1)
Dev Reclutas	5 (3)	6 (3)	3 (0)	11 (9)	6 (3)
Total	2901 (21)	2901 (21)	2967 (86)	2883 (3)	2880 (0)
Biomasa (t)	129,308	129,704	114,245	121,112	100,349
%B0	87%	100%	92%	100%	84%

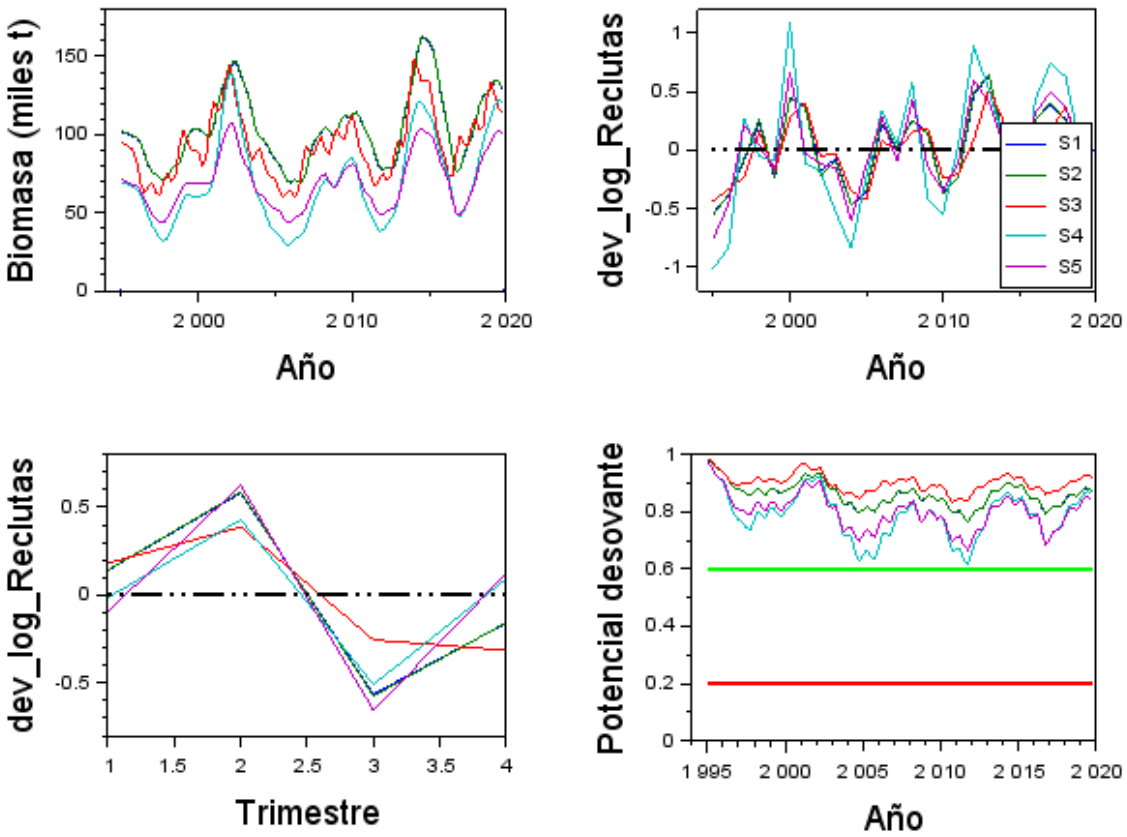

Figura 28. Biomasa desovante, log desvíos de reclutas y potencial desovante de arenque para 5 escenarios de análisis

4. Discusión

Se analizaron los datos biológicos pesqueros de anchoveta y arenque del Golfo de Panamá en el marco de un modelo de evaluación de stock integrado. La falta de mayor señal en los indicadores poblacionales como es la biomasa acústica, CPUE y composiciones de tallas, sugieren que la pesca no parece haber causado efecto en estas poblaciones. En efecto, la persistencia de individuos grandes en los cruceros acústicos y las capturas, y las señales de abundancia que apuntan a la estabilidad y/o crecimiento, permiten concluir sobre el favorable estado de situación. Este análisis se supuso que ambas especies constituyen unidades poblacionales cerradas.

Para todos los efectos y debido a la falta de contraste en los datos (índices vs capturas), no se pudieron generar estimaciones fiables del coeficiente de capturabilidad acústica, por lo que la escala de las estimaciones poblacionales estuvo directamente determinadas por los valores de la biomasa acústica. En otras palabras, se supuso que las estimaciones acústicas representaban con error de observación, la escala de la biomasa verdadera. Mientras las estimaciones acústicas indicaron valores muy similares entre especies, en la historia de la pesquería las capturas de arenque han bordeado el 50% de las capturas de anchoveta, situación un tanto contradictoria que merece atención y debe ser investigado. En este sentido se recomienda explorar el real nivel de proporcionalidad entre la biomasa acústica y la generada por el modelo, sin descartar la posibilidad que las estimaciones acústicas de arenque pudieran estar sobre-estimadas o las de anchoveta sub-estimadas.

Sin perjuicio de lo anterior, el modelo de análisis permitió caracterizar el reclutamiento de estas especies en cuanto al rango de tallas y a su patrón estacional, junto a las estimaciones de biomasa. La anchoveta reclutaría a la pesquería en torno a los 12 cm, con una estacionalidad representada por máximos durante el cuarto trimestre y mínimos durante el segundo. Por su parte, el arenque reclutaría en torno a los 14 cm, mientras su estacionalidad es máxima en el segundo trimestre y mínima en el tercer trimestre. En ambas especies los resultados mostraron que, en la escala anual, los reclutamientos han presentado anomalías positivas hacia los años más recientes. Esta tendencia podría estar relacionada con las condiciones ambientales como son los caudales de ríos y la temperatura superficial del mar (CeDePesca, 2015), por lo que se recomienda explorar en futuros modelos de análisis, la relación ambiente-recurso por la vía de incluir series ambientales como forzantes en los desvíos logarítmicos de los reclutamientos.

El resultado de la evaluación arrojó indicadores favorables para ambas especies, con tamaños poblacionales promedio en el orden de las 100 mil toneladas de desovantes para cada una. Estos niveles de la población están por encima del valor propuesto como referencia igual al 60% de la biomasa desovante virginal. Se estima que la pesquería podría sostener capturas en torno a las RMS=137 mil toneladas anuales en conjunto (71 mil de anchoveta y 66 mil de arenque), muy por sobre las 70 mil toneladas que en promedio se han desembarcado de ambas especies. En ambos casos se estima que la biomasa desovante actual se encontraría por sobre el 70% de la biomasa desovante y por ende sin evidencias de sobre-explotación.

Sin perjuicio de este diagnóstico, la falta de un mayor contraste en los índices de abundancia respecto de los niveles de explotación no permite descartar otras fuentes de error de proceso/observación que podrían enmascarar los resultados. Procesos migratorios o una estructura poblacional espacialmente heterogénea podrían modificar los resultados

obtenidos. En tal sentido, se recomienda poner atención al sentido del desplazamiento de la flota durante la temporada junto a las composiciones de tallas de las capturas, con el objeto de advertir posibles patrones espaciales en los datos en miras de mejorar el conocimiento/hipótesis sobre la estructura poblacional de estos stocks.

En cuanto a la información analizada, se recomienda continuar el seguimiento acústico con el fin de consolidar una serie de indicadores independientes de la pesquería. Sin perjuicio de lo valioso de esta información para fines de evaluación, cabe mencionar que la época no coincidiría con el mejor momento para medir la fuerza de la clase anual que ingresa (reclutamientos), debido a que la presencia de reclutas ha sido débil, principalmente en el arenque. Esto podría explicar de algún modo la inconsistencia entre la baja estimación acústica de inicios 2019 vs el record de capturas obtenidas durante el mismo año. De todas maneras, la señal de abundancia generada por un procedimiento sistemático es de gran valor para fines de diagnóstico de poblaciones explotadas. Se recomienda revisar el diseño de muestreo en cuanto a incrementar el número de lances destinados a las pescas de identificación y el número de muestras biológicas, particularmente en arenque.

Por su parte, la irregularidad de las composiciones de tallas de las capturas del arenque sugiere que el tamaño muestral debería ser incrementado, razón por la cual el diseño y protocolo de muestreo debería ser verificado estadísticamente, por ejemplo, por medio de ejercicios de remuestreo y simulación. Finalmente, se recomienda enfatizar las mediciones de peso individual a la talla, por cuanto variaciones en el factor de condición de estas especies han sido identificadas como indicadores de adaptación a los cambios ambientales de mayor escala (Canales et al, 2018).

5. Referencias

Canales, C. M., Cubillos, L. A., Cuevas, M. J., Adasme, N. A., Sánchez, N., 2019. Applying separability assumption in a length-based stock assessment model to evaluate temporal effects of recruitments process error of small-pelagic fish. Fish. Res., 217 (2019) 108-121.

Canales, C. M., N. Adasme, L. A. Cubillos, M. J. Cuevas, N. Sanchez., 2018. Long-time spatio-temporal variations in anchovy (*Engraulis ringens*) biological traits off northern Chile: an adaptive response to long-term environmental change? – ICES Journal of Marine Science (2018), 75(6).

CeDePesca, 2015. La pesquería de pequeños pelágicos de Panamá, evaluación poblacional y recomendaciones para un Plan de Manejo: 25 p.

Hintonm M and H. Nakano, 1996. Standardizing catch and effort statistics using physiological, ecological, or behavioral constraints and environmental data, with an application to blue marlin (makaira nigricans) catch and effort data from japanese longline fisheries in the pacific. IATTC. Bulletin Vol 21, 4: 36p.

Maunder M. and A. Punt, 2004. Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. Fish. Res. 70, 141–159.

McAllister, M. and J. Ianelli., 1997. Bayesian stock assessment using catch-age data and the Sampling/ Importance Resampling Algorithm. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 54: 284-300

Punt, A.E., Kennedy, R.B., 1997. Population modelling of Tasmanian rock lobster, Jasus edwardsii, resources. Mar. Fresh. Res. 48, 967–980.

Punt, A.E., Walker, T.I., Taylor, B.L., Pribac, F., 2000. Standardization of catch and effort data in a spatially-structured shark fishery. Fish. Res. 45, 129–145.

Sullivan, P.J., Lai, H.L., Gallucci, V.F., 1990. A catch-at-length analysis that incorporates a stochastic model of growth. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 47, 184–198.

Turnock, B.J., Rugolo, L.J., 2011. Stock assessment of eastern bering Sea snow crab. Stock Assessment and Fishery Evaluation Report for the King and Tanner Crab Fisheries of the Bering Sea and Aleutian Islands Regions. North Pacific Fishery Management Council, Anchorage, AK, USA, pp. 37–168.

Zheng, J., Siddeek, M.S.M., 2011. Bristol Bay red King crab stock assessment in fall 2011. Stock Assessment and Fishery Evaluation Report for the King and Tanner Crab Fisheries of the Bering Sea and Aleutian Islands Regions. North Pacific Fishery Management Council, Anchorage, AK, USA, pp. 169–283.