Evaluación de los stocks de anchoveta (*Cetengraulis mysticetus*) y arenque (*Opisthonema spp.*) en el Golfo de Panamá, 1995-2023

Dr. Cristian M. Canales

Mg. Nazareth Sánchez

Febrero, 2024

Resumen

Se analizaron los datos biológicos pesqueros de anchoveta y arenque del Golfo de Panamá recolectados entre 1995 y 2023, esto en el marco de un modelo integrado de evaluación de stock. El análisis supuso que ambas especies constituyen unidades poblacionales cerradas.

La evaluación de stock de ambos recursos mostró dificultades en reproducir la información de los cruceros acústicos, lo cual se estima relacionado al error de observación producto del acotado período de tiempo del crucero, y a importantes cambios en el patrón de disponibilidad talla-específica. En ambos casos se determinó que las estimaciones de la biomasa acústica estarían sobreestimadas en un 5% para anchoveta y en un 20% en el arenque. No obstante, la presencia de individuos más longevos/grandes durante los cruceros sugiere que estas poblaciones han estado sometida a bajos niveles de mortalidad por pesca. En complemento, se destacó que la selectividad a la talla de la flota se encuentra en torno o por sobre la talla de madurez, lo cual evitaría la sobrepesca por reclutamiento.

Los análisis mostraron una gran variabilidad en el reclutamiento sin anomalías que destacar, siendo marcadamente estacional con máximos durante el segundo semestre de cada año en anchoveta, y entre fines del segundo semestre e inicios del primero en arenque.

Los Puntos Biológicos de Referencia (proxy del Rendimiento Máximo Sostenido) consideraron aspectos ecotróficos dado el rol de estas especies en la cadena alimenticia y como referencia el 60% de la biomasa sin pesca (virginal). La población de anchoveta se estimó tres veces mayor a la biomasa de arenque y en ambos casos por sobre la biomasa de referencia Brms (110 mil toneladas en anchoveta y 40 mil toneladas en arenque). Del mismo modo, la mortalidad por pesca se estimó por debajo o en torno a la mortalidad por pesca de referencia Frms. De acuerdo con esto, se estima que el potencial reproductivo de anchoveta y arenque se encuentran en torno a 90% y 72% de la biomasa adulta que habría existido sin pesca, respectivamente. En ambos casos, la condición poblacional se encontraría por sobre el objetivo de referencia y fuera de riesgos de sobrepesca y sobreexplotación, aspecto que fue igualmente confirmado en un análisis de sensibilidad de siete modelos alternativos.

Sin embargo y como nota de relevante incertidumbre a estos resultados, un análisis de perfiles de verosimilitud mostró una notable inconsistencia de datos entre la señal entregada por los datos de la pesquería (composiciones de tallas de las capturas y CPUE) respecto de los datos de los cruceros. Se demostró que al excluir los datos acústicos la situación poblacional de anchoveta y arenque podrían empeorar, cayendo incluso en una condición de sobre-pesca y sobre-explotación en el caso del arenque.

Dado los resultados obtenidos se recomienda explorar análisis basados en una estructura poblacional espacialmente heterogénea, poniendo atención al sentido del desplazamiento de la flota durante la temporada junto a las composiciones de tallas de las capturas. Del mismo modo, se recomienda continuar el seguimiento acústico poniendo especial atención al período de análisis, considerando que la época no coincidiría con el mejor momento para medir el reclutamiento, particularmente en anchoveta. La señal de abundancia generada por

un procedimiento sistemático es de gran valor para fines de diagnóstico de poblaciones explotadas. En tal sentido se recomienda incrementar el número de lances destinados a las pescas de identificación y el número de muestras biológicas, particularmente en arenque.

Índice

1. Introducción **5**
2. Materiales y métodos **7**
2.1. Información empleada 7
2.2. Modelo de evaluación 13
2.3. Escenarios de evaluación 16
3. Resultados **17**
3.1. Índice de abundancia relativa (CPUE) 17
3.2. Evaluación poblacional 24
3.2.1. Anchoveta 24
3.2.2. Arenque 42
4. Discusión **59**
5. Referencias **62**
Anexos **64**
Anexo 1: Ecuaciones del modelo de evaluación MESTOCK. 65
Anexo 2: Coeficientes de modelo GLM 67

1. Introducción

La pesquería de pelágicos pequeños en Panamá está compuesta principalmente por dos especies: anchoveta (*Cetengraulis mysticetus*) y arenque (*Opisthonema spp.*). 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 más importante en las capturas. Esta especie alcanzó más de 200 mil toneladas a mediados de los 80s mientras el arenque no ha superado 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 da cuenta de la implementación de un modelo integrado de evaluación de poblaciones actualizado al año 2023, con el objeto de establecer el diagnóstico y Puntos Biológicos de Referencia (PBR) para estas pesquerías en Panamá. Esta es la sgunda evaluación de estas poblaciones en la cual se incluyen varias de las recomendaciones dadas por Minte-Vera (2021). Para tales fines se consideró toda la información y conocimiento disponible de las pesquerías y biología de las especies del período 1995-2023. 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, 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.

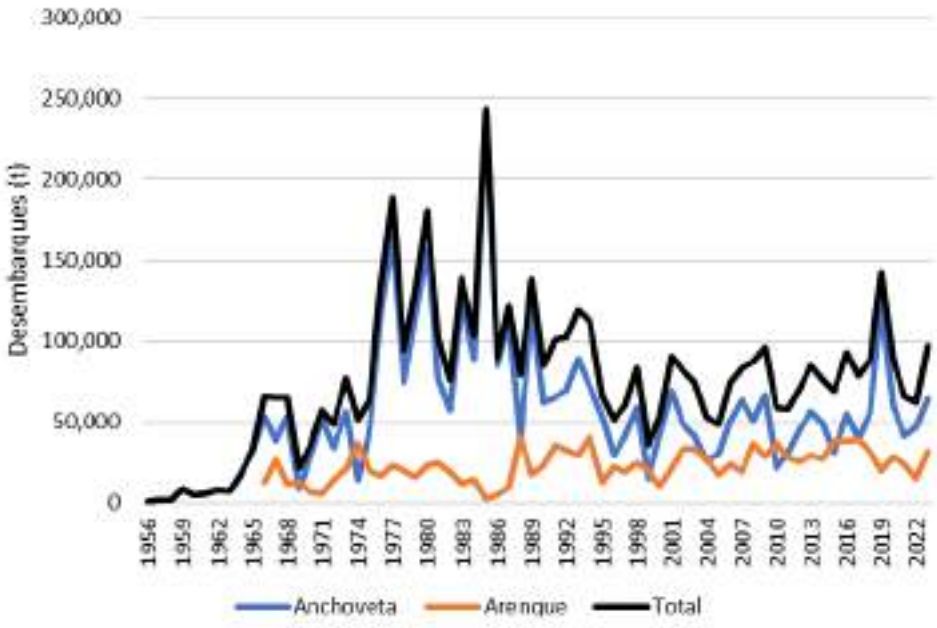

Figura 1. Desembarques anuales de anchoveta y arenque en Panamá (Fuente: CeDePesca).

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 2023, y composiciones de tallas de las capturas mensuales expandidas al desembarque registrado en igual período.

b) Captura por Unidad de Esfuerzo

La captura por unidad de esfuerzo (CPUE) es una medida de abundancia relativa pero está 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 son ampliamente utilizados para generar índices de abundancia relativa (Maunder & Punt, 2004). Se analizó la información histórica disponible 1995-2023 de las dos pesquerías a nivel de viajes en 5 zonas de pesca (**Figura 2**). La CPUE (o captura por viaje) fue modelado por un predictor lineal compuesto por efectos fijos año (A), zona (Z), y trimestre (T). La falta de información respecto del campo “buque” motivó que este factor se descartara del análisis. Sin perjuicio de esto, se supone que este efecto es poco influyente debido a que la flota está compuesta por buques relativamente homogéneos cuyas esloras varían entre 21 y 25 metros. Se exploró el uso de la interacción trimestre-años (Minte-Vera, 2021). En la implementación de los GLM se probaron seis modelos de error gausiana y gamma, en tanto la función de enlace fue identidad, log e inversa (**Tabla 1**).

$$CPUE_{i,j,k,l} = \mu + A_i + T_j + Z_k + \varepsilon_{i,j,k,l} \qquad \text{Eq 1}$$

Tabla 1. Modelos GLM implementados para la estimación de la CPUE de anchoveta y arenque.

Modelo	Variable independiente	Predictor lineal	Función de enlace	Distribución del error
1	log(CPUE)	A+T+Z	Identidad	Gaussian
2	CPUE	A+T+Z	Log	Gaussian
3	CPUE	A+T+Z	Inversa	Gamma
4	CPUE	A+T+Z	Log	Gamma
5	CPUE	A*T+Z	Log	Gaussian
6	CPUE	T+Z	Log	Gaussian

En los modelos 1,2 y 4, el índice de abundancia por trimestre y año fue estimado como $I_{i,j} = e^{\mu+A_i+T_j}$, en tanto que para el modelo 5 el estimador empleado fue $I_{i,j} = e^{\mu+(A*T)ij}$

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

c) Estimaciones Hidroacústicas

Se consideró la información generada en los cruceros acústicos realizados durante el primer trimestre del año entre los años 2017 y 2023 (exceptuando el 2021 que no fue realizado por pandemia). La anchoveta ha sido ligeramente más predominante con una biomasa promedio de 200 mil t equivalente al 52% de ambas especies (**Tabla 2**). 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 más grandes y longevos en torno a los 18 cm. (**Figura 3**). Por su parte, las composiciones de tallas del arenque del 2023 fueron desestimadas debido a un bajo tamaño muestral. (**Figura 3**).

Tabla 2. Estimaciones acústicas de la biomasa (miles t) de pequeños pelágicos en Panamá. (Fuente: Promarina, 2023).

AÑO	BIOMASA ESTIMADA (t)			CAPTURAS (t)		
	Anchoveta	Arenque	Total	Anchoveta	Arenque	Total
2017	233,138	151,042	384,180	29,858	20,156	50,014
2018	249,851	180,493	430,344	46,657	27,334	73,991
2019	135,596	220,587	356,183	124,888	20,417	145,305
2020	*NO HUBO PROSPECCIÓN*			49,516	24,785	74,301
2021	115,775	154,844	270,619	35,250	22,259	57,509
2022	292,864	92,650	385,514	44,661	23,356	68,017
2023	225,523	112,316	337,839	*EN TEMPORADA*		

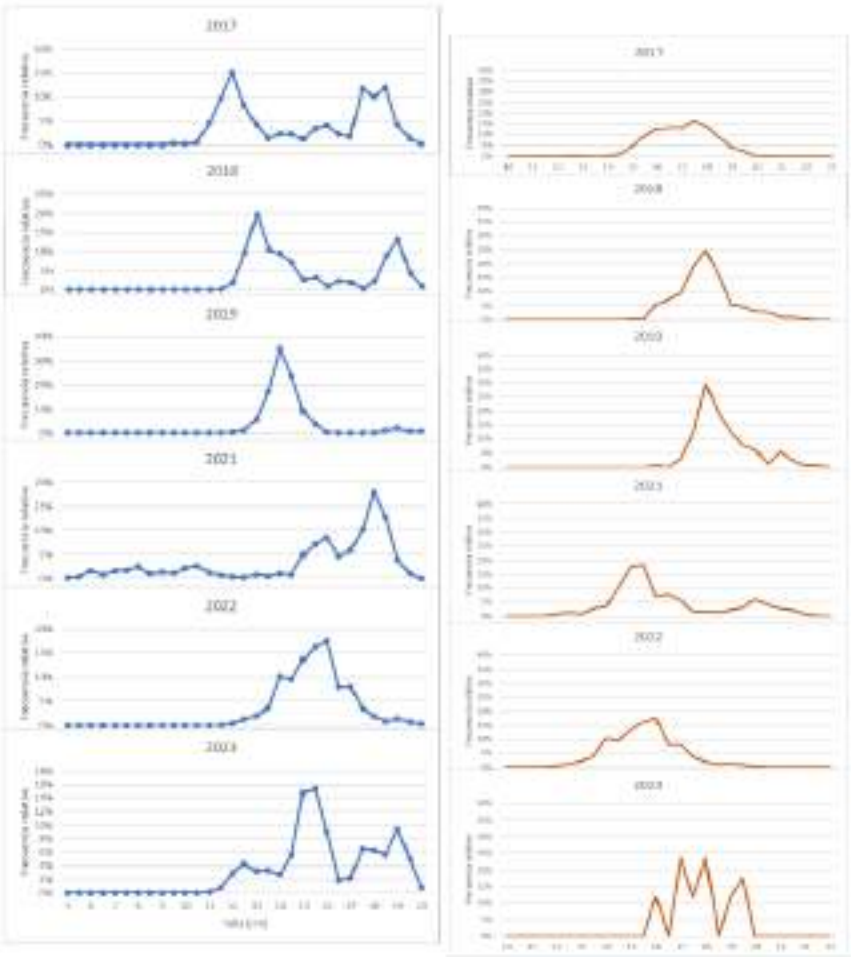

Figura 3. Frecuencia de tallas de anchoveta (izquierda) y arenque (derecha) en cruceros acústicos. (Fuente: Promarina, 2023).

d) Unidad de stock y parámetros biológicos

De la misma forma al supuesto formulado por Canales (2020), 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.

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. Dependiendo del escenario, el coeficiente *k* fue estimado por el modelo junto al resto de los parámetros. El valor de mortalidad natural correspondió a 2 veces el valor de *k* inicial. El valor de la talla del reclutamiento (Lo) de anchoveta fue estimada junto al resto de los restantes parámetros del modelo. 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

Por su parte, los parámetros biológicos fueron establecidos en base a la consulta de diversas fuentes, así como de la aplicación FishLife (https://james-thorson.shinyapps.io/FishLife/) (**Tabla 3, 4 y Figura 4, 5**). De acuerdo con esto, el rango de valores de k para la anchoveta es 1.0 - 2.0 (valor esperado k=1.5), mientras que para el arenque es 0.2- 2.0 (valor esperado k=1.1). En base a esta inspección de parámetros se propusieron distribuciones *a priori* a ser empleadas en los modelos de evaluación (**Tabla 5**).

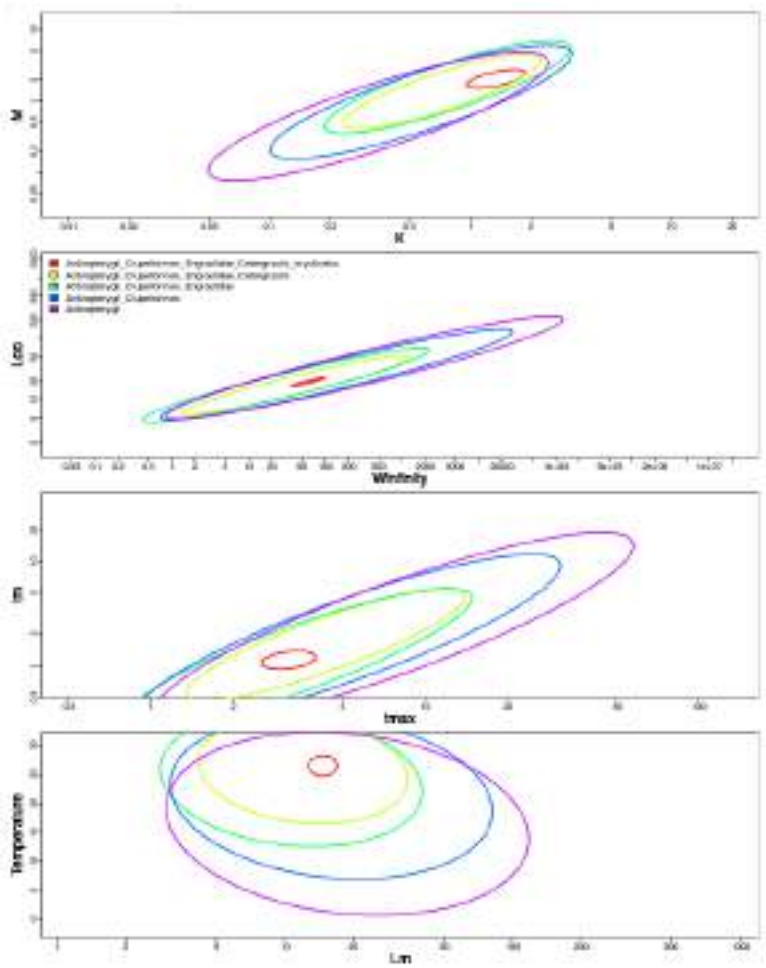

Figura 4. Rango de rasgos biológicos de anchoveta mediante la aplicación FishLife (Thorson et al., 2017).

Tabla 3. Parámetros biológicos informados por Tabash et al (1995) para la anchoveta (https://aquadocs.org/handle/1834/26140)

Table 3. Comparison between growth performance (ϕ') reported in *C. mysticetus*.

Zone	L_∞ (mm)	K(year^{-1})	ϕ'	Reference
Almejas Bay (Panamá)	16.6	1.23	4.53	Bayliff(1967)
Guaymas Bay (Panamá)	14.2	2.58	4.71	Barrett and Howard (1961)
Gulf of Panamá	15.0	2.36	4.72	Howard and Landa (1958)
Gulf of Panamá	17.0	1.31	4.57	Bayliff (1964)
Gulf of Fonseca	15.4	2.92	4.83	Barrett and Howard (1961)
Colombia	14.3	2.09	4.63	Barrett and Howard (1961)
Ecuador-Perú	14.5	1.34	4.45	Barrett and Howard (1961)
Golf of Nicoya	22.0	0.76	4.57	This study (1992-1993)
Golf of Nicoya	23.1	0.70	4.57	This study (1989-1990)

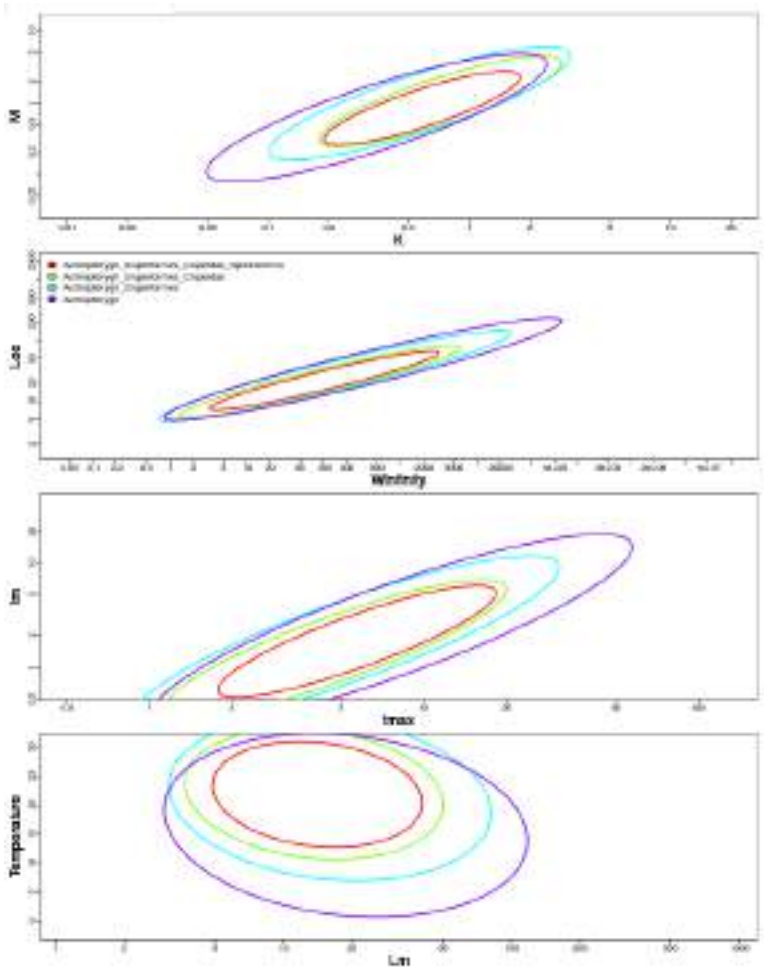

Figura 5. Rango de rasgos biológicos de arenque mediante la aplicación FishLife (Thorson et al., 2017).

Tabla 4. Parámetros biológicos informados por Santos et al (1992) para el arenque (http://hdl.handle.net/1834/3049)

Fuentes (1983), mediante lectura de otolitos y utilizando la ecuación de Von Bertalanffy por el método de Ford-Walford estimó para Opisthonema spp. los siguientes parámetros de crecimiento: Loo=31.7 (LT), K=0.26, to=-2.56. Dawson (1986), con similar procedimiento calculó dichos parámetros a nivel de género y especies:

O. medirastre	O. bulleri	Opisthonema spp.
L = 30.1 cm	L = 28.6 cm	L = 29.4 cm
K = 0.271	K = 0.385	K = 0.223
to = -2.42	to = -1.28 *	to = -3.91

Tabla 5. Distribuciones a *priori* de parámetros biológicos empleados en los modelos de evaluación de las poblaciones de anchoveta y arenque de Panamá. Las escalas de k y M son trimestral. L_{50ms} es la talla al 50% de madurez supuesta 2/3 de Loo.

	Anchoveta	**Arenque**
Loo (cm)	~N(log(Loo=22.1), cv=0.1)	~N(log(M=31.7), cv=0.1)
k ($trim^{-1}$)	~N(log(k=0.375), cv=0.1)	~N(log(k=0.275), cv=0.1)
M ($trim^{-1}$)	~N(log(M=0.75), cv=0.1)	~N(log(M=0.56), cv=0.1)
Lo (cm)	~N(log(Lo=12.0), cv=0.1)	~N(log(Lo=13.0),cv=0.1)
L_{50ms} (cm)	14.7	18.5
Peso-talla	$W = 0.0035\ L^{3.4}$	$W = 0.0144\ L^{3.0507}$

2.2. Modelo de evaluación

Los datos de composiciones de tallas, desembarques, cruceros acústicos y CPUE fueron analizados a través de un modelo estadístico integrado de captura a la edad con datos en tallas MESTOCK (Canales et al., 2014). Este modelo está implementado en ADMB y puede ser descargado desde https://github.com/criscan/mestockt. La dinámica poblacional es modelada en edades en escala trimestral, y se utilizan las composiciones de tallas de las capturas como observaciones. El modelo supone un stock cerrado en el cual el reclutamiento es el resultado del "desove" ocurrido dentro de la misma área de distribución de la especie analizada, pero la sobrevivencia de larvas es determinada principalmente por cuestiones ambientales. Esto significa que los reclutamientos responden a procesos principalmente estocásticos donde la función stock-recluta es difusa. Se supone que el reclutamiento ocurre a inicios de cada trimestre distribuido sobre cierto rango de tallas siguiendo una distribución de probabilidad normal. La talla del reclutamiento (Lo) es estimada. Se consideran funciones de verosimilitud como expresión del error de observación, así como distribuciones a priori o penalizaciones de algunos parámetros de interés. Los detalles se entregan en **Anexo 1**.

- **Condiciones iniciales**

El modelo se inicia en los años/trimestres donde la pesquería ya existía (1995) y por ende supone al primer año-trimestre de la evaluación una condición no-virginal pero en equilibrio en torno al reclutamiento medio de largo plazo y la mortalidad total.

- **Reclutamientos**

Los reclutamientos anuales corresponden al grupo de individuos de una misma edad, y a menudo por debajo de la talla de primera captura. Las variaciones trimestrales de los reclutamientos se modelan como desviaciones aleatorias en torno al parámetro de escala log_R0, los que responden a un proceso multiplicativo que en escala logarítmica son representados por una distribución normal con media 0 y desviación σ_R. En términos prácticos, esto significa que pudiendo existir vínculo entre desovantes y reclutas, esta relación está perturbada por procesos aleatorios ligados a cuestiones ambientales. En todos los casos analizados los modelos supusieron denso-independencia entre desovantes y reclutamientos.

- **Capturas**

Las capturas son supuestas con muy bajo nivel de error y supone que representan de manera fidedignas las reales remociones que se realizan en la pesquería. Como medida de error, a estas se les asigna un coeficiente de variación del 5%.

- **Selectividad y mortalidad por pesca**

En el modelo de evaluación la selectividad es supuesta en forma logística respecto de la edad, lo que significa que a partir de cierta edad/talla todos los individuos tienen la misma probabilidad de ser capturados. La mortalidad por pesca es diferente según la edad/talla del pez, y se distribuye siguiendo la curva de selectividad antes descrita. Dependiendo de cada recurso analizado, la selectividad se supuso variable en bloques de trimestres-años. Los cambios de selectividad fueron considerados a partir de la observación de los residuales entre la talla promedio observada y la estimada en un modelo-escenario sin bloques de selectividad (caso S1 ver más adelante). Se consideró un cambio de selectividad cuando se registran patrones temporales en las desviaciones antes mencionadas (**Tabla 6**). Los cambios en selectividad o disponibilidad talla-específica también fueron considerados para los cruceros. El modelo no supuso cambios en capturabilidad de la flota o CPUE.

Tabla 6. Configuración de bloques de selectividad para los recursos evaluados por medio de modelo integrado MESTOCK. Los decimales suponen las respectivas fracciones del año en trimestres (i.e. 0, 0.25, 0.50 y 0.75).

Fuente	Recurso	Períodos de cambios en selectividad
Pesquería	Anchoveta	1995.00 2019.25 2019.50 2020.25 2021.25
	Arenque	1995.00 2016.50 2017.25 2021.00 2021.50 2022.75
Cruceros	Anchoveta	1995, 2018, 2022, 2023
	Arenque	1995, 2019, 2019, 2022

- **Peso estadístico de la información**

La evaluación de stock se sustenta en el ajuste estadístico de un modelo a la información. Para tales efectos es necesario precisar el nivel de error que pudiese tener esta información conforme al supuesto de su distribución estadística, destacándose que en general los resultados son condicionales a la escala de los desembarques supuestos con mínimo error de observación. Los coeficientes de variación de los índices de abundancia fueron supuestos (a priori) y luego comparados de manera relativa respecto de la desviación estándar de los residuales en escala logarítmica (**Tabla 7**). De la misma forma, los tamaños de muestra efectivos fueron supuestos y luego comparados de manera referencial según el estimador de Gavaris & Ianelli (2002). En términos generales los índices de abundancias fueron tratados con relativa credibilidad y le fueron asignados coeficientes de variación del 15% a la CPUE y 20% a la biomasa de los cruceros.

Tabla 7. Tamaños de muestra efectivos y coeficientes de variación empleados en la evaluación de stock de anchoveta y arenque.

Tamaños de muestra		Coef. variación	
Flota	**Cruceros**	**CPUE**	**Cruceros**
60	30	0.15	0.20

- **Puntos Biológicos de Referencia y Potencial Reproductivo dinámico**

Considerando el rol ecológico de especies forrajeras como las aquí analizadas, la evaluación de stock consideró como referencia al Rendimiento Máximo Sostenible el 60% de la biomasa adulta/reproductiva sin pesca ($BR0_t$) (Canales, 2020). La biomasa sin pesca fue calculada en términos dinámicos anuales en base a los reclutamientos estimados trimestralmente. El potencial Reproductivo dinámico se calculó como:

$$RPR_t = \frac{BR_t}{BR0_t} \qquad \text{Eq. 2}$$

Donde BR_tes la biomasa reproductiva en el trimestre *t*

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 desde un escenario base (S1), se exploró el desempeño a distintas hipótesis alternativas. En el escenario S2 se exploró el desempeño del modelo con variaciones en la selectividad tanto de la flota como de los cruceros. Un tercer escenario S3 considera el escenario anterior junto a la estimación de los parámetros de crecimiento condicionados a la distribución a priori dada en la **Tabla 5**. Otro escenario S4 exploró el efecto de suponer que la desviación estándar a la edad es constante entre edades, mientras que S5 incluyó en S3 la estimación condicionada del coeficiente de capturabilidad del crucero. Otro escenario S6 exploró la estimación de la mortalidad natural M dado el conjunto de datos analizados, mientras que un escenario S7 incluyo en S5 la estimación del parámetro de denso-dependencia de la CPUE respecto de la biomasa explotable (**Tabla 8**).

Tabla 8. Escenarios de análisis de evaluación de stock de anchoveta y arenque.

Escenarios	Configuración
S1	Crecimiento y M fijos, selectividad constante, q=1, y sd_talla/edad proporcional a la talla promedio a la edad
S2	S1 + bloques de selectividad
S3	S2+ Crecimiento estimado
S4	S3+sd_talla/edad constante entre edades
S5	S3 + q estimado (q_prior=1, cv=0.1)
S6	S5 + M estimado
S7	S5 + estimación parámetro b de denso-dependencia de la CPUE

3. Resultados

3.1. Índice de abundancia relativa (CPUE)

El análisis de abundancia relativa basado en los 6 diferentes modelos GLM mostró que la distribución de error tipo normal y función de enlace canónica tuvo el mejor desempeño tanto en arenque como anchoveta (M2, M5 y M6), lo cual se justifica por la mayor disminución de la devianza residual (**Tabla 9**). Los modelos con interacción año-trimestre (M5) y los modelos solo con la escala temporal trimestre (M6) obtuvieron el mismo desempeño estadístico, con un porcentaje de la devianza explicado de 18% para el arenque y un 21% para anchoveta. En las **Figuras 6** y **7** 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.

Independiente del modelo y si bien todos los factores resultaron significativos (p-value<0.01) (**Tablas 10 y 11**), el factor con mayor impacto en la explicación de la devianza total, para el arenque, correspondió al efecto zona (8% - 12%) (**Tabla 12**). En el caso de la anchoveta, el efecto año presenta el mayor aporte en la explicación de la devianza total (10% - 15%) (**Tabla 12**). En términos generales para ambos recursos, el efecto trimestre fue el que tuvo el menor porcentaje de explicación (<6%) a excepción del modelo donde solo se considera la escala temporal trimestre (M6), donde el porcentaje de explicación es de 12% para el arenque y 19% para anchoveta (**Tabla 12**). Las **Figuras 8 y 9** entregan las variaciones de la CPUE por zona y por trimestre-año, esta última empleada en la evaluación de los stocks.

Tabla 9. Resumen de los modelos GLM empleados para el análisis de CPUE de los recursos arenque y anchoveta basados en la variable respuesta captura/viaje. Como efectos fijos en el predictor lineal se consideró el año (A), trimestre (T) y zona (Z).

Especie	Modelos	Predictor	Distribución	Enlace	Null dev	Res.Dev	g.l.	Δ dev	n° par
Arenque	M1	A+T+Z	gaussian	identity	19993	17158	21290	14%	35
	M2	A+T+Z	gaussian	log	13726472	11432218	21290	17%	35
	M3	A+T+Z	Gamma	inverse	15600	13625	21290	13%	35
	M4	A+T+Z	Gamma	log	15600	13502	21290	13%	35
	M5	A*T+Z	gaussian	log	13726472	11198468	21236	18%	89
	M6	T+Z	gaussian	log	13726472	11198468	21236	18%	89
Anchoveta	M1	A+T+Z	gaussian	identity	13494	11035	20484	18%	34
	M2	A+T+Z	gaussian	log	25273777	20403903	20484	19%	34
	M3	A+T+Z	Gamma	inverse	9719.2	8431	20484	13%	34
	M4	A+T+Z	Gamma	log	9719.2	8326.7	20484	14%	34
	M5	A*T+Z	gaussian	log	25273777	20089373	20456	21%	62
	M6	T+Z	gaussian	log	25273777	20089373	20456	21%	62

Tabla 10. Análisis de devianza para los GLM ajustados a los datos de la pesquería del arenque.

Modelos	Predictor	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	Pr(>Chi)
M1	Null			21324	19993	
	year	28	829.06	21296	19164	< 0.01
	zona	4	1574.15	21292	17589	< 0.01
	time	2	431.7	21290	17158	< 0.01
M2	Null			21324	13726472	
	year	28	728200	21296	12998272	< 0.01
	zona	4	1310166	21292	11688106	< 0.01
	time	2	255888	21290	11432218	< 0.01
M3	Null			21324	15600	
	year	28	687.97	21296	14912	< 0.01
	zona	4	1031.1	21292	13881	< 0.01
	time	2	256.03	21290	13625	< 0.01
M4	Null			21324	15600	
	year	28	687.97	21296	14912	< 0.01
	zona	4	1082.43	21292	13830	< 0.01
	time	2	327.62	21290	13502	< 0.01
M5	Null			21324	13726472	
	year	28	728200	21296	12998272	< 0.01
	time	2	230389	21294	12767883	< 0.01
	zona	4	1335665	21290	11432218	< 0.01
	year*time	54	233751	21236	11198468	< 0.01
M6	Null			21324	13726472	
	zona	4	1171559	21320	12554913	< 0.01
	time	84	1356445	21236	11198468	< 0.01

Tabla 11. Análisis de devianza para los GLM ajustados a los datos de la pesquería de anchoveta.

Modelos	Predictor	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	Pr(>Chi)
M1	Null			20517	13494	
	year	28	1097.32	20489	12396	< 0.01
	zona	4	687.43	20485	11709	< 0.01
	time	1	674.38	20484	11035	< 0.01
M2	Null			20517	25273777	
	year	28	2609440	20489	22664337	< 0.01
	zona	4	1251079	20485	21413258	< 0.01
	time	1	1009356	20484	20403903	< 0.01
M3	Null			20517	9719.2	
	year	28	697.35	20489	9021.9	< 0.01
	zona	4	298.72	20485	8723.1	< 0.01
	time	1	292.15	20484	8431	< 0.01
M4	Null			20517	9719.2	
	year	28	697.35	20489	9021.9	< 0.01
	zona	4	314.78	20485	8707.1	< 0.01
	time	1	380.37	20484	8326.7	< 0.01
M5	Null			20517	25273777	
	year	28	2609440	20489	22664337	< 0.01
	time	1	702791	20488	21961546	< 0.01
	zona	4	1557643	20484	20403903	< 0.01
	year*time	28	314530	20456	20089373	< 0.01
M6	Null			20517	25273777	
	zona	4	1330170	20513	23943607	< 0.01
	time	57	3854234	20456	20089373	< 0.01

Tabla 12. Variación de la devianza, proporción explicada e índice de Akaike cuando del modelo completo se retiran predictores individuales.

		Arenque				Anchoveta			
Modelos	**Efectos**	**Df**	**Deviance**	**%**	**AIC**	**Df**	**Deviance**	**%**	**AIC**
M1	Full		17158		55953		11035		45571
	year	28	18246	6%	57209	28	12448	13%	47988
	zona	4	18805	10%	57899	4	11912	8%	47133
	time	2	17589	3%	56479	1	11709	6%	46786
M2	Full		11432218		194603		20403903		199916
	year	28	12426899	9%	196326	28	23519831	15%	202776
	zona	4	12767883	12%	196951	4	21961546	8%	201418
	time	2	11688106	2%	195071	1	21413258	5%	200905
M3	Full		13625		185983		8431		201415
	year	28	14500	6%	187553	28	9248	10%	204172
	zona	4	14696	8%	187966	4	8822	5%	202753
	time	2	13881	2%	186455	1	8723	3%	202419
M4	Full		13502		185770		8327		201142
	year	28	14472	7%	187518	28	9214	11%	204126
	zona	4	14684	9%	187959	4	8769.6	5%	202652
	time	2	13830	2%	186375	1	8707.1	5%	202444
M5	Full		11198468		194270		20089373		199654
	zona	4	12486341	12%	196584	4	21604845	8%	201138
	year*time	54	11432218	2%	194603	28	20403903	2%	199916
M6	Full		11198468		194270		20089373		199654
	zona	4	12486341	12%	196584	4	21604845	8%	201138
	time	84	12554913	12%	196540	57	23943607	19%	203141

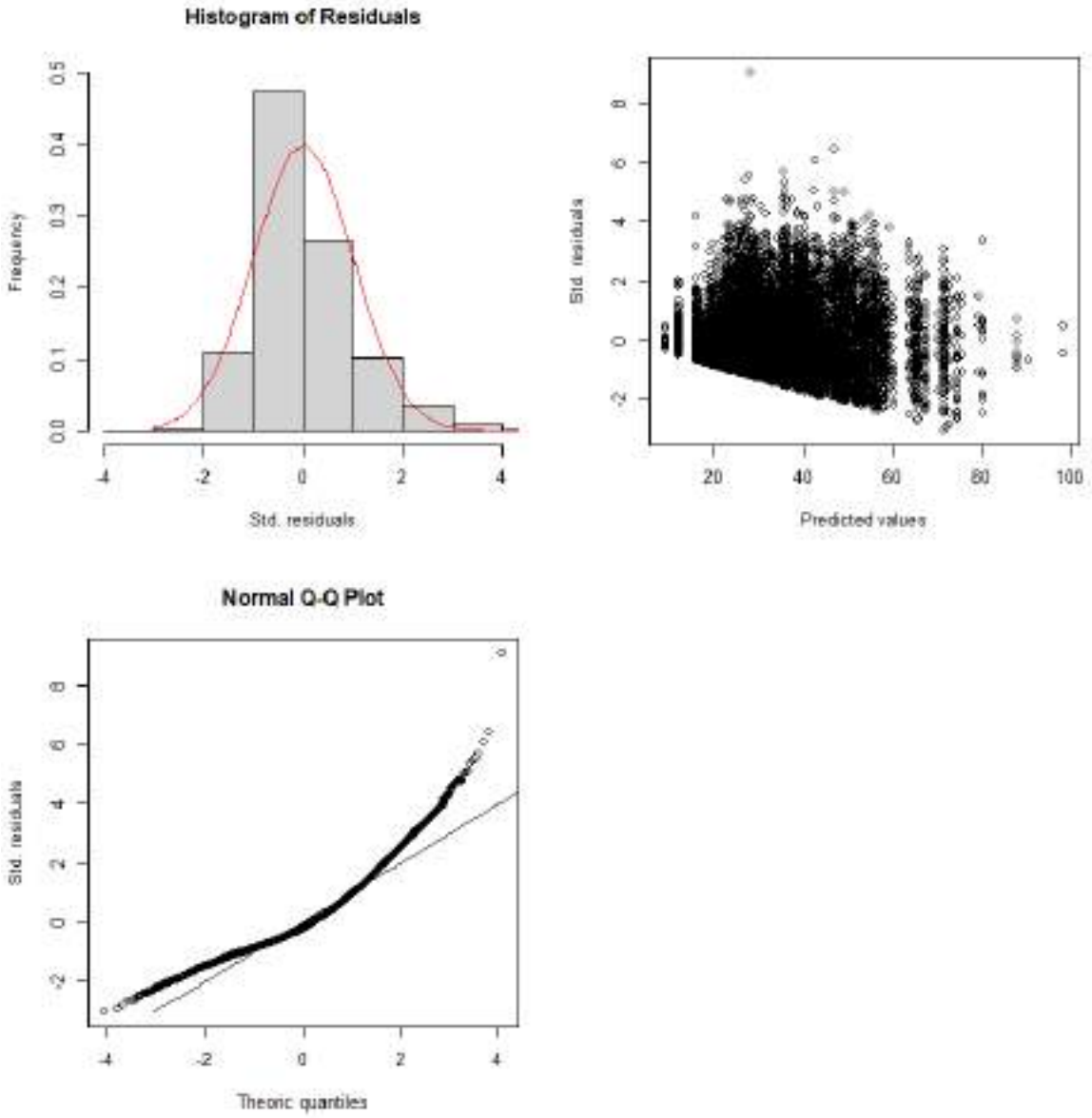

Figura 6. Diagnóstico gráfico del modelo GLM ajustado a los datos de arenque.

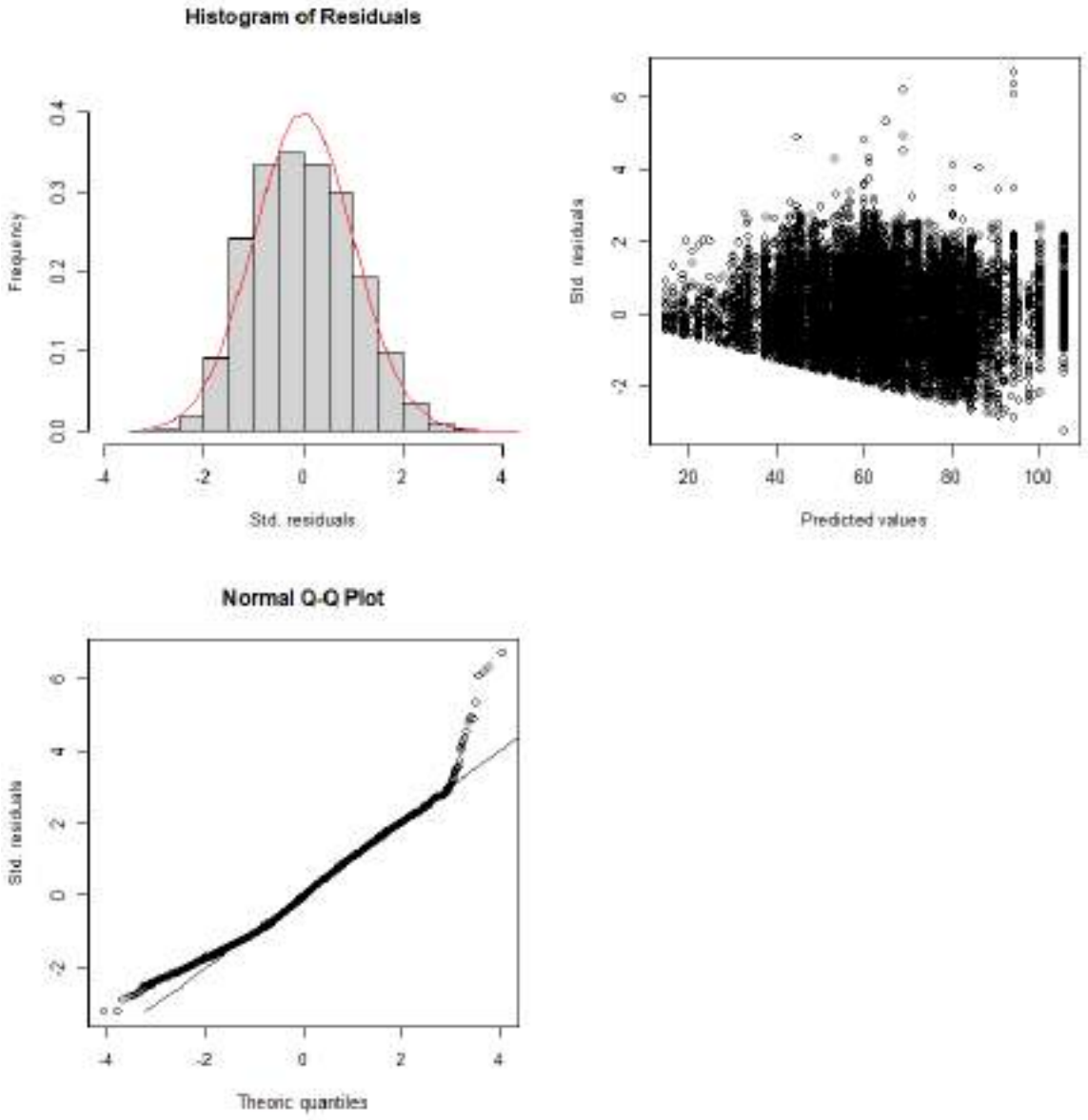

Figura 7. Diagnóstico gráfico del modelo GLM ajustado a los datos de anchoveta.

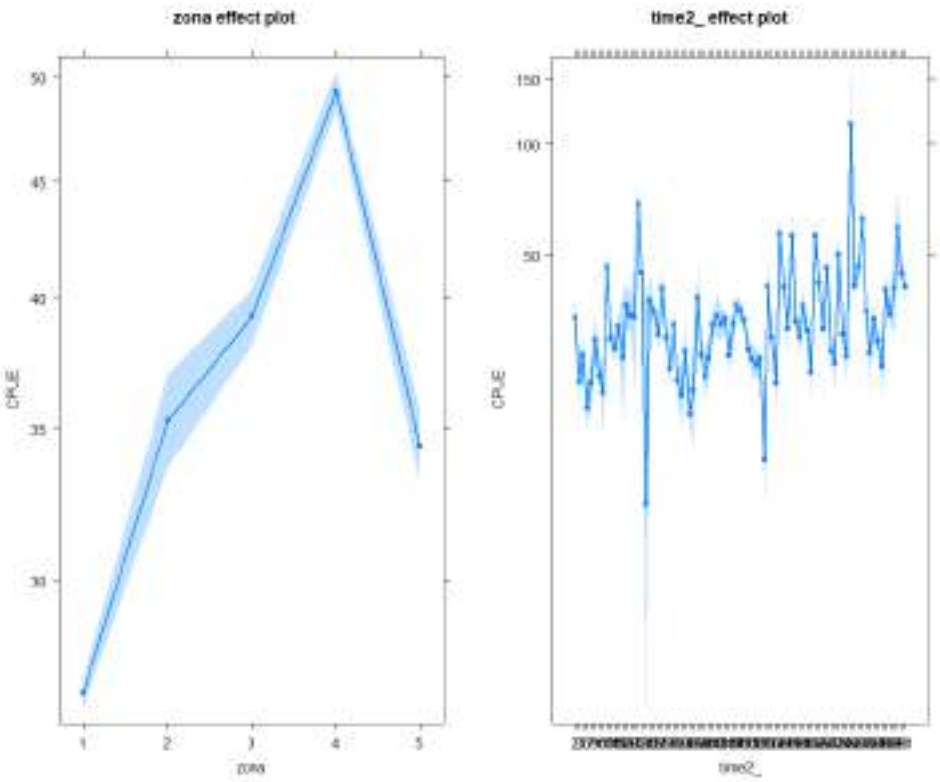

Figura 8. CPUE relativa estandarizada por zona y trimestre-año. Anchoveta

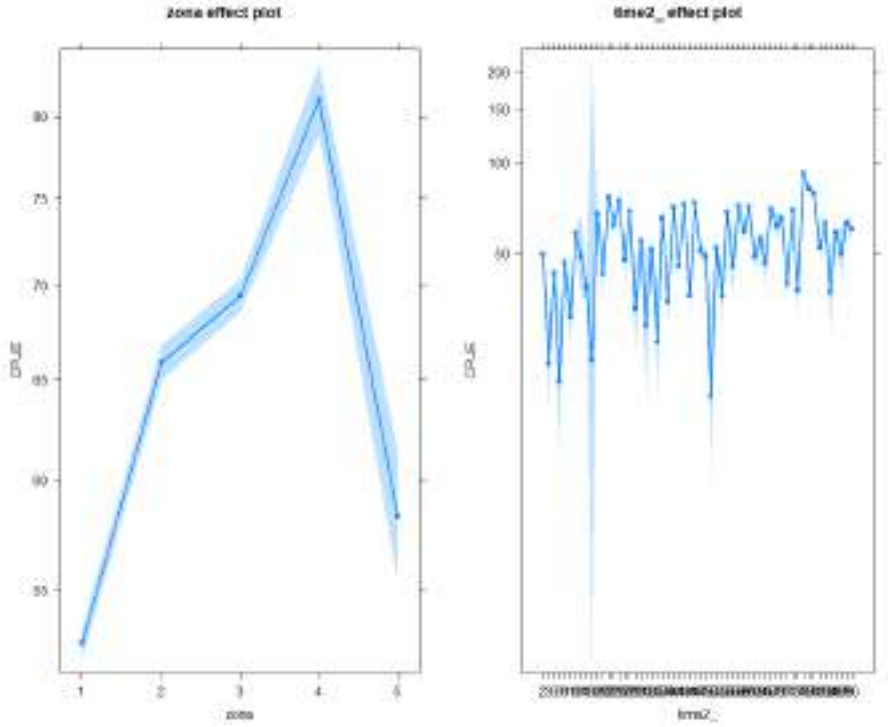

Figura 9. CPUE relativa estandarizada por zona y trimestre-año. Arenque

3.2. Evaluación poblacional

3.2.1. Anchoveta

Ajuste del modelo y estimación de parámetros

En la **Figuras 10, 11, 12 y 13** se muestra el ajuste del modelo de evaluación a los distintos conjuntos de datos de anchoveta, mientras el desempeño de los residuales respecto de los supuestos de normalidad se entrega en **Figura 14**. Los parámetros del modelo resueltos en escala log (n=272) se reportan en la **Tabla 13** y se destaca además el valor del gradiente 1E-5 lo que confirma la convergencia del modelo. Los resultados muestran que el modelo se ajusta bien a la señal de abundancia CPUE trimestral y la talla promedio de las capturas, y en menor medida a la biomasa acústica (**Figura 10**).

Por su lado, las composiciones de tallas de los cruceros muestran una persistente bimodalidad cuya moda de individuos más grandes es ubica en torno a los 18 cm de longitud (**Figura 11 y 13**), no siendo observada con la misma intensidad en las composiciones de tallas de las capturas (**Figura 12**). La presencia de individuos grandes durante el crucero (1er trimestre) indicaría que los niveles de mortalidad por pesca de la flota son bajos lo que permiten la sobrevivencia de individuos hasta edades máximas.

La variabilidad trimestral y tendencia de las composiciones de tallas fue reproducida por el modelo bajo el uso de bloques de patrones de explotación trimestral. En este contexto, se observa que los patrones de explotación de la flota (**Figura 15**) se encuentra en torno a la talla de madurez, lo que desde la perspectiva de la conservación, resulta deseable y recomendable con el fin de asegurar la renovabilidad de la población evitando la sobrepesca por crecimiento. Por su lado, los patrones de selectividad de los cruceros muestran mayores cambios entre bloques/períodos que los de la flota (**Figura 15**). Los resultados indican que en las composiciones de tallas de las capturas no habrían más de 8 grupos trimestrales de edad (2 años) **(Figura 16**), y que la talla de reclutamiento a la población se estima en torno a los 10.5 cm. De acuerdo con la tasa de crecimiento y a partir de esta medida, se estima que recién luego de dos trimestres se alcanzaría la talla de primera captura calculada en torno a los 15 cm (**Figuras 15, 16**). Si bien el modelo logra reproducir la variabilidad trimestral de las composiciones de tallas, no pudo reproducir de similar forma la dinámica de las composiciones de tallas de los cruceros acústicos, lo cual revela que esta última información esta sujeta a mayor error de observación debido al acotado proceso temporal de recolección de datos (un mes en el año). En efecto, de la información se destaca que la progresión modal esperada (**Figura 16**) no es consistente con la dinámica del crecimiento que muestran las composiciones de tallas de los cruceros (**Figura 13**). Esta contradictoria situación indicaría que en el diseño de muestreo empleado en la evaluación acústica, no solo existirían importantes cambios en el patrón de selectividad del crucero, sino también en la disponibilidad talla-específica como parte del error de proceso.

Variables poblacionales y diagnóstico

La variabilidad de los reclutamientos es una característica de pequeños pelágicos. Se estima que la mayor variabilidad se registra a partir del 2015 como consecuencia de la incorporación de las composiciones de tallas de las capturas en el modelo de evaluación (**Figura 17**), sin notables períodos de sesgos en estas anomalías. En este mismo análisis se observa que el reclutamiento se registra principalmente y de manera sostenida en los últimos dos trimestres de cada año (**Figura 17**). Esta variabilidad y estacionalidad es determinante en las estimaciones poblacionales. La biomasa adulta se estima que ha variado de manera estacional-trimestral y sin mayor tendencia, al igual que la biomasa adulta que habría existido sin pesca (**Figura 18**).

Las medidas de precisión en las estimaciones corresponden a coeficientes de variación del 20% en biomasa e indican que en la mayoría de las veces ha sido significativamente similar a la biomasa de referencia Brms (**Figura 18**). La trayectoria de la mortalidad por pesca trimestral muestra que esta ha variado estacionalmente por debajo de la mortalidad por pesca de referencia Frms (**Figura 18 y 19**), lo que en términos del potencial reproductivo muestra variaciones en torno a 90% de la biomasa adulta que habría existido sin pesca (**Figura 19**).

Para fines de diagnóstico se propuso como referente un objetivo de manejo equivalente a cautelar el 60% de la biomasa adulta virginal, y esto se explica porque el rol ecológico de la anchoveta en la cadena trófica supone cautelar un mayor escape de biomasa comparativamente a 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 (**Figura 18**). Se estimó como proxy del Rendimiento Máximo Sostenido una biomasa desovante Brms=110 mil toneladas y un nivel de Rendimiento Máximo Sostenido de 43 mil toneladas. La mortalidad por pesca que permite este objetivo de manejo tiene un valor Frms=0.32 (**Figura 18**).

De acuerdo con lo anterior, la biomasa adulta se estima en promedio en torno 180 mil toneladas equivalentes al 90% de la biomasa virginal y un 51% mayor al valor de biomasa de referencia Brms. Los niveles de mortalidad por pesca promedio se estiman cerca del 10% de la mortalidad por pesca de referencia Frms (**Tabla 16**). El diagrama de Kobe confirma que los riesgos de sobrepesca y sobreexplotación son nulos (**Figura 19**).

Una extensión del análisis consideró siete escenarios adicionales de evaluación a fin de evaluar la incertidumbre estructural en la estimación y el diagnóstico de la anchoveta. Los resultados mostraron que, en cualquiera de los casos analizados, la condición de la población de anchoveta no difiere siendo esta favorable y muy por sobre la biomasa de referencia. Las estimaciones de biomasa podrían ser aún mayores si se estima la mortalidad natural (S6), en cuyo caso M=0.96 está muy por sobre el valor recomendado M~2k=0.76 (**Figura 20, Tabla 15**). El análisis muestra que si bien este es el escenario más verosímil (menor log likelihood), el valor de M hace que sea desestimado, siendo el escenario S5 el segundo de mejor desempeño y elegido como base. En este caso el coeficiente de capturabilidad del crucero indica que las estimaciones de biomasa estarían sobreestimadas en un 5% respecto del valor

observado (**Tabla 15**). En este escenario, el coeficiente de crecimiento estimado (k=0.26) es notablemente menor al valor a priori (k=0.38) mientras que la desviación de la talla a la edad se estima proporcional a la talla esperada por medio de un coeficiente de variación del 4%.

Complementariamente, el escenario S5 fue analizado respecto del patrón retrospectivo cuyo resultado indica que al eliminar de manera secuencial los datos de los últimos trimestres, el modelo tiende a subestimar la biomasa en un 0.8% (rho) y sobreestimar la mortalidad por pesca en un 0.9%, niveles de sesgo considerados adecuados (**Figura 21**). Del mismo modo, un análisis de perfiles de verosimilitud muestra que la escala de la población está determinada por efectos de inconsistencia entre la señal entregada por los datos de la pesquería (composiciones de tallas de las capturas y CPUE) respecto de los datos de los cruceros. En efecto y mientras la CPUE y proporción de tallas de las capturas sugieren que la escala de la población debiese ser menor, la información de los cruceros acústicos sugiere lo contrario (**Figura 22**). En base a esto, una extensión al análisis de S5 consideró la exclusión de datos de la evaluación acústica, situación que muestra que la población podría ser aún menor, pero por sobre o muy cercana al objetivo de manejo, y niveles de riesgo de sobrepesca y sobreexplotación del 57% y 35%, respectivamente (**Figura 23**).

Tabla 13. Parámetros del modelo de anchoveta.

Number of parameters = 272 Objective function value = 3249.17457372945 Maximum gradient component = 1.09235860397350e-005
log_L50:
2.78343212669270 2.83271307780470 2.79566888206065 2.86019637767014 2.80036665828507
log_sigma1:
0.347126528077775 0.428573523322666 0.559943063229863 0.623818837269701 0.597962632421261
log_sigma2:
6.90775527898214 6.90775527898214 6.90775527898214 6.90775527898214 6.90775527898214
log_L50c:
2.74505892554649 2.86128226028542 2.75370097049697 2.80834982341225
log_sigma1c:
0.460026636501657 0.631231161845939 0.334934871268214 0.422853047160309
log_sigma2c:
6.90775527898214 6.90775527898214 6.90775527898214 6.90775527898214
log_Ro:
9.77078684766
dev_log_Ro:
-0.00180383957271 -0.0828386238637 -0.0328044243424 -0.317629630938 -0.454959326327 -0.0413600041352 0.151466529736 -0.161545951948 -0.357501637180 0.0756267979342 0.460150831197 0.115522606156 -0.248453307757 -0.181892463820 -0.252095758973 -0.508765195864 -0.554963084837 0.0267166676574 0.628157464146 0.205613459720 -0.135824982304 0.183724513376 0.712850761623 0.393596532038 -0.00880716486626 0.204182569423 0.590661681391 0.274306972271 -0.0696354768610 0.168084178326 0.482212019694 0.170584615658 -0.143487213003 0.0576060256452 0.184328811718 -0.101003333050 -0.298858765657 0.00846422074272 0.158106475451 -0.142384124303 -0.326514898462 0.0942387337028 0.502631113400 0.160990040181 -0.149977024102 0.156202227089 0.546479735206 0.257682490099 -0.0742254593527 0.178435834907 0.545413866102 0.227626904074 -0.0954822108064 0.186191948862 0.620810422813 0.329376513541 -0.0781053228068 -0.0193658876586 -0.0140349772144 -0.273059094525 -0.394541379696 0.00356278479068 0.221117271200 -0.101886020981 -0.308666492297 0.114099312172 0.590146959887 0.215931497086 -0.116754909628 0.193034592221 0.653706448378 0.276328454863 -0.325113167770 -0.617745904190 -0.572086275909 1.09387773330 -0.745726798896 -1.08210641395 0.218719253562 0.656204568182 -1.71923090073 -1.18506679815 0.274280121741 1.18686927795 -1.37221733639 -0.943396782024 -0.737941674306 0.899537868282 0.408915010977 -0.492725539487 0.0476164044012 0.745389398472 -0.218711953805 -1.31927665156 1.34952321460 -0.225185498032 1.12093816396 -0.898390439985 1.13904856647 0.196728940009 -0.478041380700 -0.535954331045 -0.537421127618 0.159645059454 0.257298740227 0.207027549616 0.0775510316656 0.409948859587 0.242090256902 -0.913174536637 0.851552280477 0.279045747112 -0.893767792096 -1.07584999780 -0.207615782212 -0.00180386099360
dev_log_No:
-0.339016217859 -0.147807378457 0.111031337237 0.0737805326082 0.0432678699104 0.0238595291780 0.0126437722182 0.00651512250585 0.00328828228686 0.00163547750530 0.000802707327132 0.000390434997870 0.000188604396925 9.18924936819e-005 8.23102363317e-005

log_F:
-3.11552229222 -1.37962854842 -4.36198177546 -11.9306189341 -7.92196662340 -1.65551224434 -4.93019849951 -11.8880579398 -5.17438810927 -1.43088748923 -3.99621856975 -11.9942658113 -4.53207484668 -1.26853002811 -5.18593731338 -11.9915116536 -11.9550696770 -2.17382595159 -8.08477246509 -11.9071804568 -9.16510594706 -1.70949346627 -4.27424481181 -12.2428933414 -12.4618537824 -1.50837987536 -2.93792579474 -12.3034049737 -12.4441772997 -1.71916292992 -3.94059553738 -12.2703158819 -12.3829165738 -1.74376437180 -5.10352051634 -12.1767339729 -12.2191587208 -1.97818817614 -5.53620021884 -12.0413276681 -12.1318568201 -1.77650778444 -4.84808009312 -12.0519063460 -12.2761486068 -1.54216430727 -3.48017796778 -12.1841100422 -12.3654025001 -1.61119222387 -2.44025439142 -12.2151365374 -12.3809780638 -1.65464406031 -3.44811548465 -12.2471151662 -12.4275721037 -1.52818596987 -2.70765248536 -12.1614371334 -12.1411125747 -2.07068610401 -5.46743364143 -11.9716063803 -12.1173953280 -1.81776504746 -4.27118521090 -12.0771690080 -12.3249670585 -1.64781285167 -4.75914617581 -12.2525214564 -12.4406867121 -1.69801300724 -2.89800539102 -11.9630003864 -11.9375789453 -1.68789312508 -3.48103106525 -12.0043533501 -12.0693481635 -2.04546079895 -3.96287919927 -11.7646298608 -12.0280780480 -1.73035466182 -3.48884445701 -12.0130445466 -11.8806065629 -1.79482616491 -3.92819874428 -12.2978254521 -12.2436265896 -1.53977963084 -3.50897026844 -12.1170349128 -12.6023278509 -1.20735079440 -1.89966201572 -12.6489550949 -7.71840532087 -1.63909625909 -2.77901474222 -11.9183519582 -11.7384448600 -1.43399408766 -5.07030244161 -12.2775354759 -12.3445815089 -1.63991219684 -4.76906959715 -12.2770048030 -12.4785591556 -1.42375802963 -3.68459723297 -11.8513839110
log_qflo:
-8.33885068451
log_qcru:
0.0506070770260
log_b:
0.00000000000
log_Linf:
3.03052654525
log_k:
-1.34091137803
log_Lo:
2.35378151414
log_aedad:
-23.0258509299
log_bedad:
-3.13136357182
log_M:
-0.287682072452

Tabla 14. Log-verosimilitud en escala absoluta (arriba) y relativa al menor valor (abajo) de las fuentes de datos/error en anchoveta.

	CPUE	Cruceros	Desemb	Prop_f	Prop_c	dev_Rt	Total
S1	28.38	14.39	0.09	2795.77	523.24	36.39	3398.27
S2	28.30	12.03	0.10	2787.12	520.82	38.57	3386.94
S3	25.67	12.97	0.02	2618.33	509.44	46.75	3213.41
S4	24.17	13.96	0.02	2640.11	502.67	50.14	3231.12
S5	25.47	12.99	0.03	2618.18	509.47	46.77	3213.12
S6	25.62	10.71	0.01	2609.52	509.84	45.39	3201.35
S7	16.91	13.87	0.03	2623.85	510.74	44.19	3209.78

	CPUE	Cruceros	Desemb	Prop_f	Prop_c	dev_Rt	Total
S1	11	4	0	186	21	0	197
S2	11	1	0	178	18	2	186
S3	9	2	0	9	7	10	12
S4	7	3	0	31	0	14	30
S5	9	2	0	9	7	10	12
S6	9	0	0	0	7	9	0
S7	0	3	0	14	8	8	8

Tabla 15. Parámetros biológicos, capturabilidad acústica y tasa de potencial reproductivo (SPR) de anchoveta.

	Loo	k	M	Lo	alfa	beta	q_cru	SPR	SPR/tar	b
S1	22.10	0.38	0.75	11.87	0.00	0.06	1.00	0.89	1.48	1.00
S2	22.10	0.38	0.75	11.91	0.00	0.06	1.00	0.89	1.48	1.00
S3	20.70	0.26	0.75	10.53	0.00	0.04	1.00	0.91	1.52	1.00
S4	20.70	0.28	0.75	12.73	0.76	0.00	1.00	0.91	1.52	1.00
S5	20.71	0.26	0.75	10.53	0.00	0.04	1.05	0.91	1.51	1.00
S6	21.15	0.25	0.96	10.40	0.00	0.04	1.01	0.95	1.58	1.00
S7	20.72	0.26	0.75	10.52	0.00	0.04	1.06	0.91	1.51	1.57

Tabla 16. Estimaciones de biomasa adulta, reclutamiento, mortalidad por pesca, reducción de biomasa adulta virginal y razón de potencial reproductivo (SPR) de anchoveta.

Año.trimestre	Biomasa (t)	R_R0	Fcr	F_Fmrs	B_Brms	B_B0	SPR
2018.25	211646	0.270	0.210	0.670	1.760	1.050	0.900
2018.50	194331	3.860	0.030	0.090	1.610	0.970	0.860
2018.75	154508	0.800	0.000	0.000	1.280	0.770	0.880
2019.00	272592	3.070	0.000	0.000	2.260	1.360	0.960
2019.25	267037	0.410	0.300	0.930	2.220	1.330	0.870
2019.50	283476	3.120	0.150	0.470	2.350	1.410	0.820
2019.75	251063	1.220	0.000	0.000	2.080	1.250	0.830
2020.00	303837	0.620	0.000	0.000	2.520	1.510	0.910
2020.25	289262	0.590	0.190	0.600	2.400	1.440	0.890
2020.50	212274	0.580	0.060	0.190	1.760	1.060	0.840
2020.75	161823	1.170	0.000	0.000	1.340	0.810	0.860
2021.00	135414	1.290	0.000	0.000	1.120	0.670	0.910
2021.25	133919	1.230	0.240	0.740	1.110	0.670	0.870
2021.50	154933	1.080	0.010	0.020	1.290	0.770	0.860
2021.75	180893	1.510	0.000	0.000	1.500	0.900	0.920
2022.00	190440	1.270	0.000	0.000	1.580	0.950	0.960
2022.25	193741	0.400	0.190	0.600	1.610	0.970	0.900
2022.50	194393	2.340	0.010	0.030	1.610	0.970	0.880
2022.75	168645	1.320	0.000	0.000	1.400	0.840	0.910
2023.00	217864	0.410	0.000	0.000	1.810	1.090	0.960
2023.25	221150	0.340	0.240	0.750	1.840	1.100	0.880
2023.50	163587	0.810	0.030	0.080	1.360	0.810	0.810
2023.75	120852	1.000	0.000	0.000	1.000	0.600	0.840

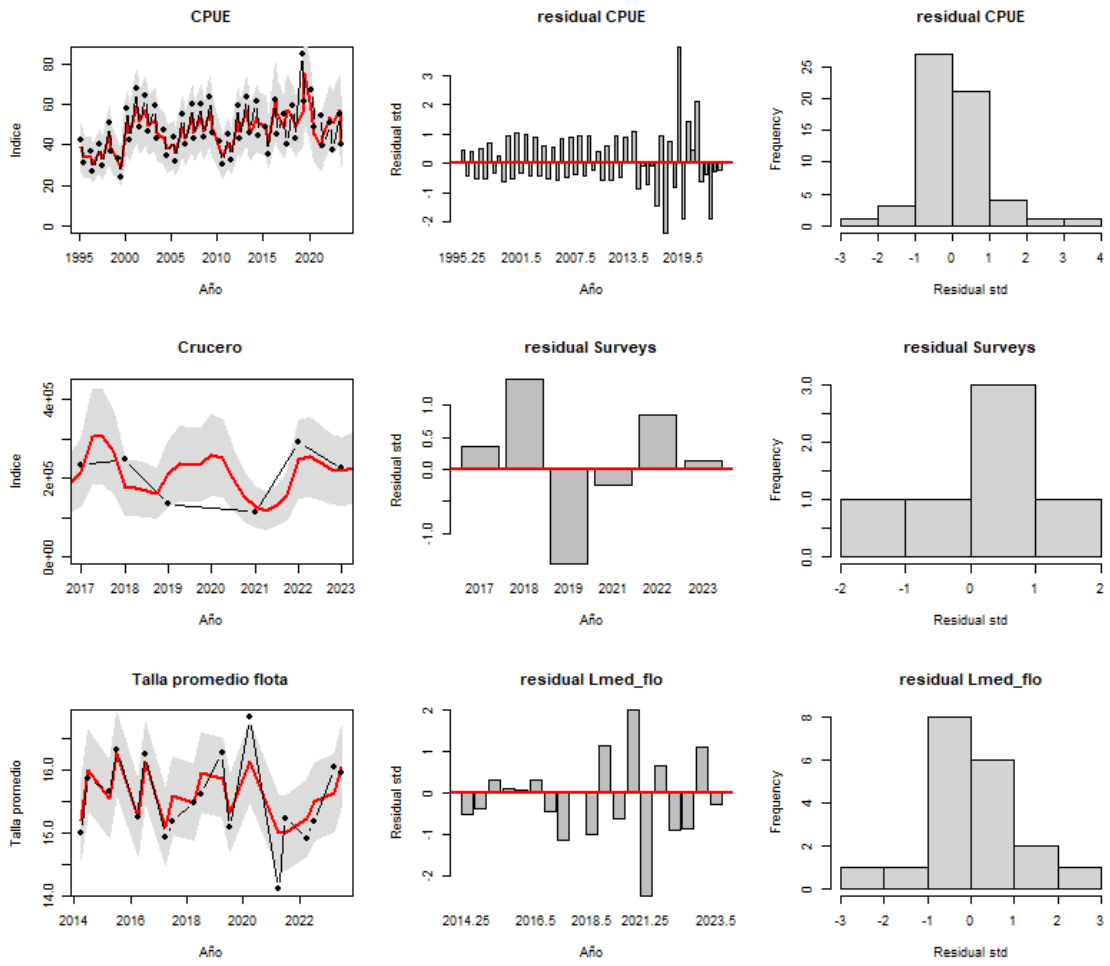

Figura 10. Ajuste del modelo (línea roja) a los datos (líneas y puntos negros) de CPUE, biomasa acústica, y talla promedio de los desembarques de anchoveta.

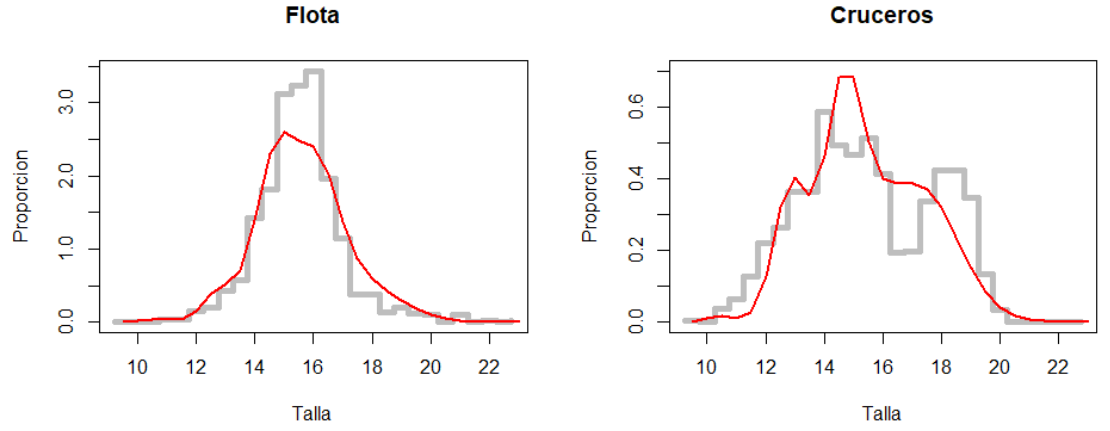

Figura 11. Ajuste del modelo a las frecuencias de talla totales de las capturas y cruceros acústicos de anchoveta.

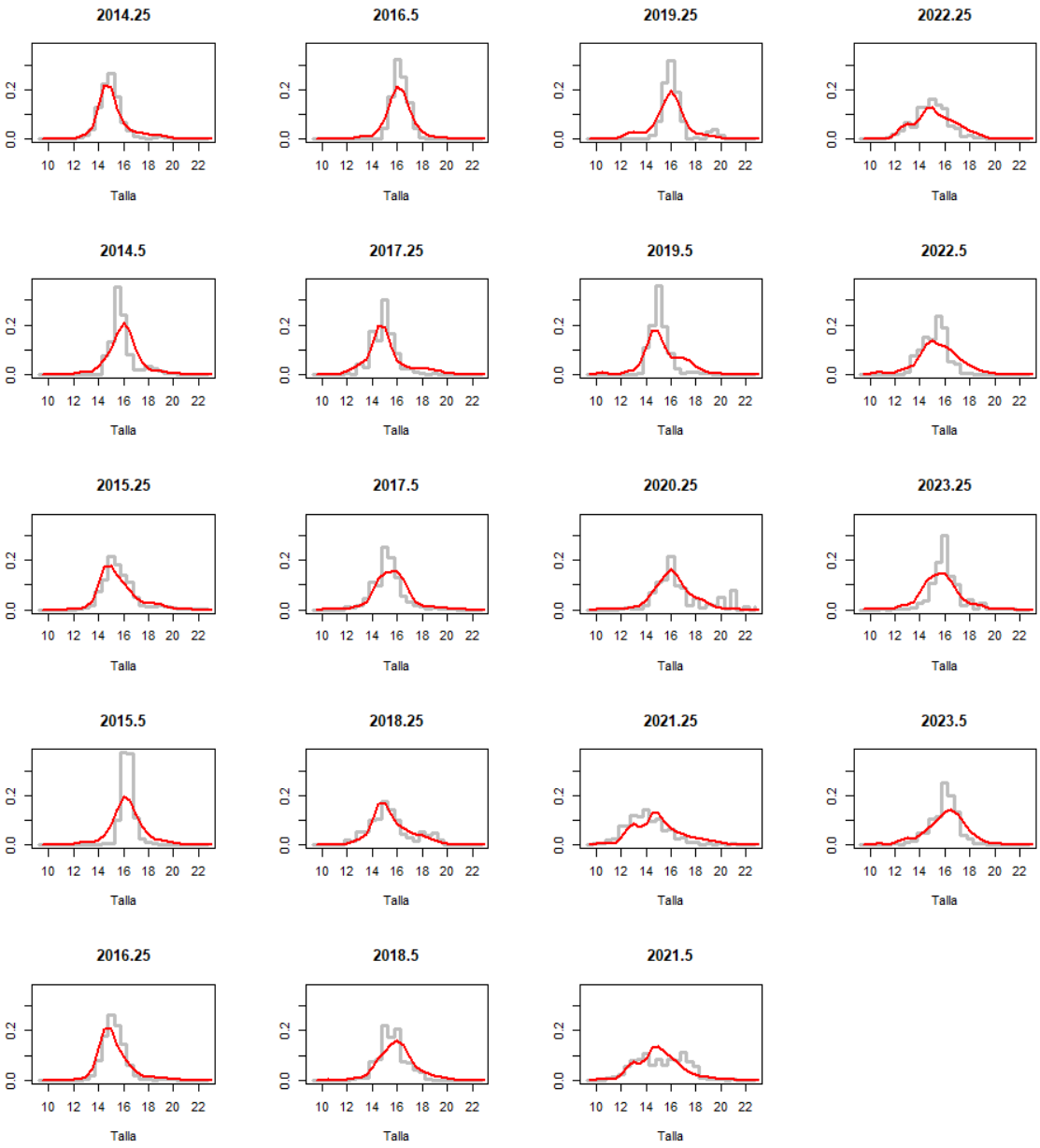

Figura 12. Ajuste del modelo a las composiciones de tallas de las capturas trimestrales de anchoveta.

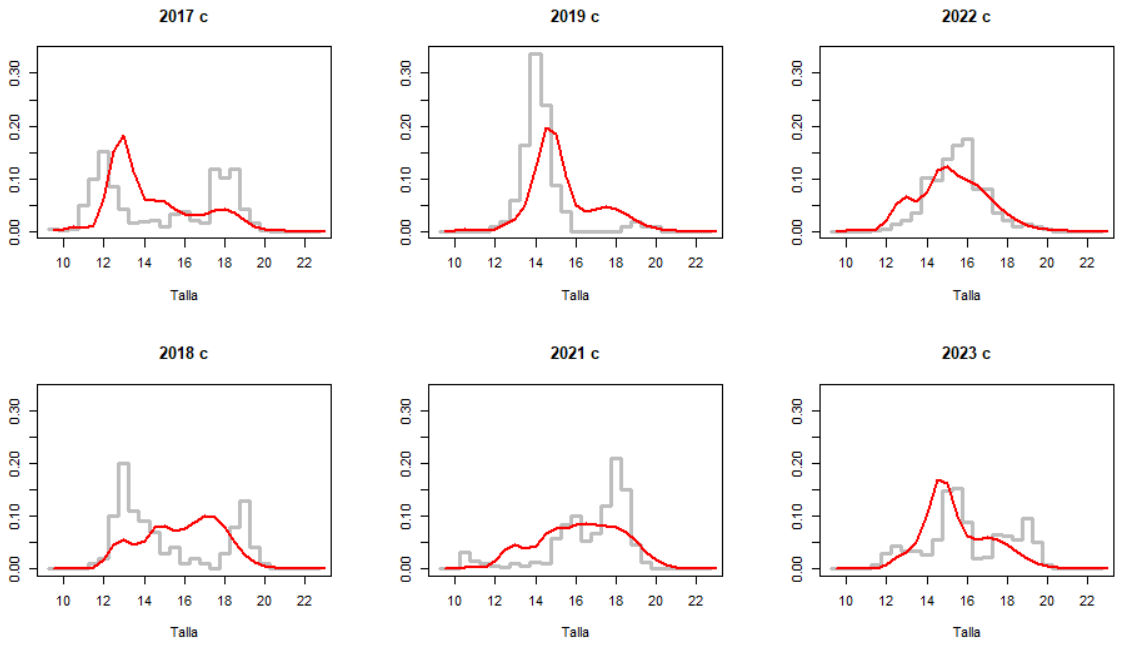

Figura 13. Ajuste del modelo a las composiciones de tallas de cruceros acústicos de anchoveta.

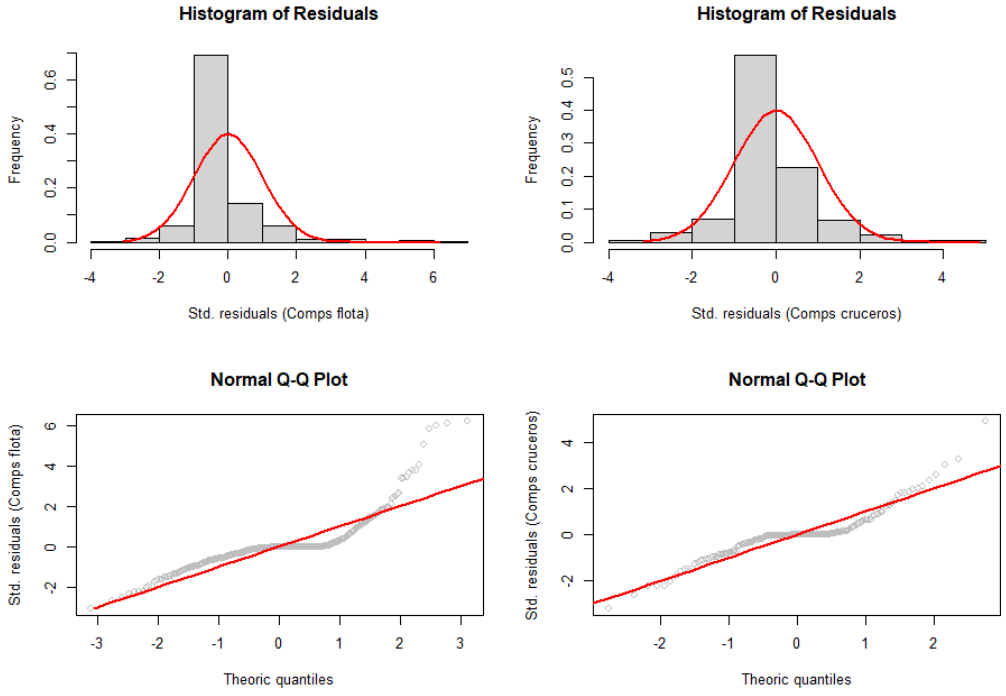

Figura 14. Histograma de residuales y diagrama qq-plot de las composiciones de tallas de las capturas (lado derecho) y los cruceros (lado izquierdo).

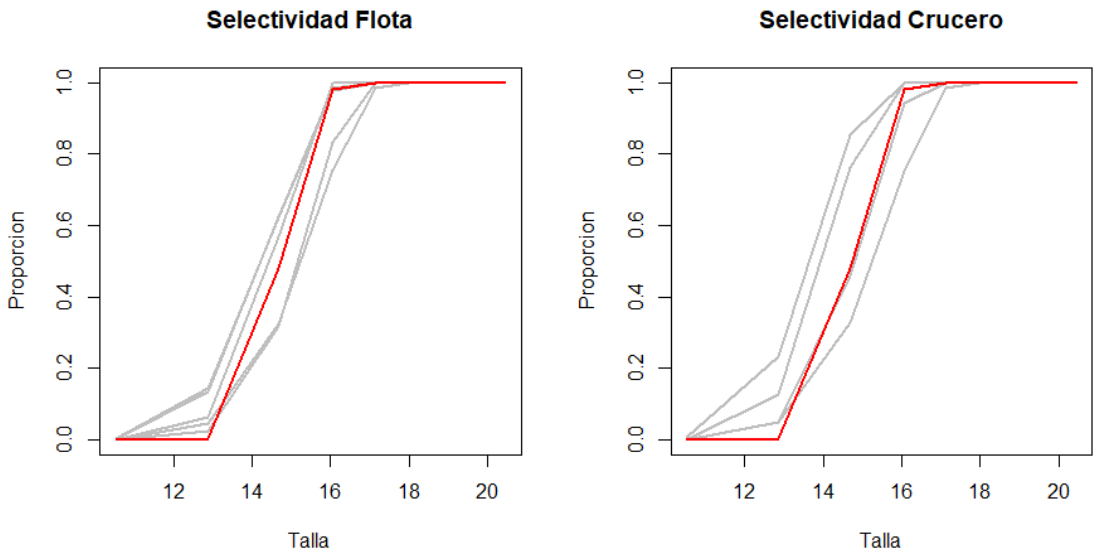

Figura 15. Selectividad (líneas grises) de la flota y cruceros acústico, y proporción de madurez a la talla (línea roja) en anchoveta.

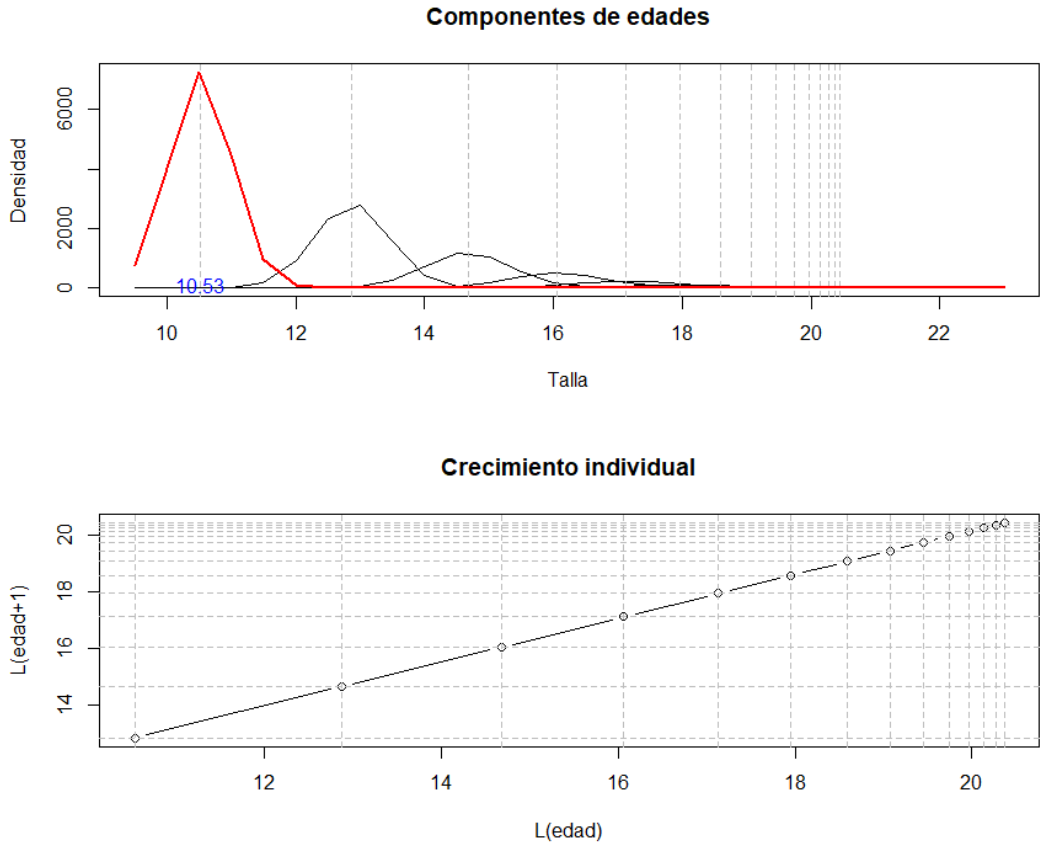

Figura 16. Modelo de crecimiento trimestral por componentes modales en anchoveta. En color azul se indica la talla estimada de reclutamiento.

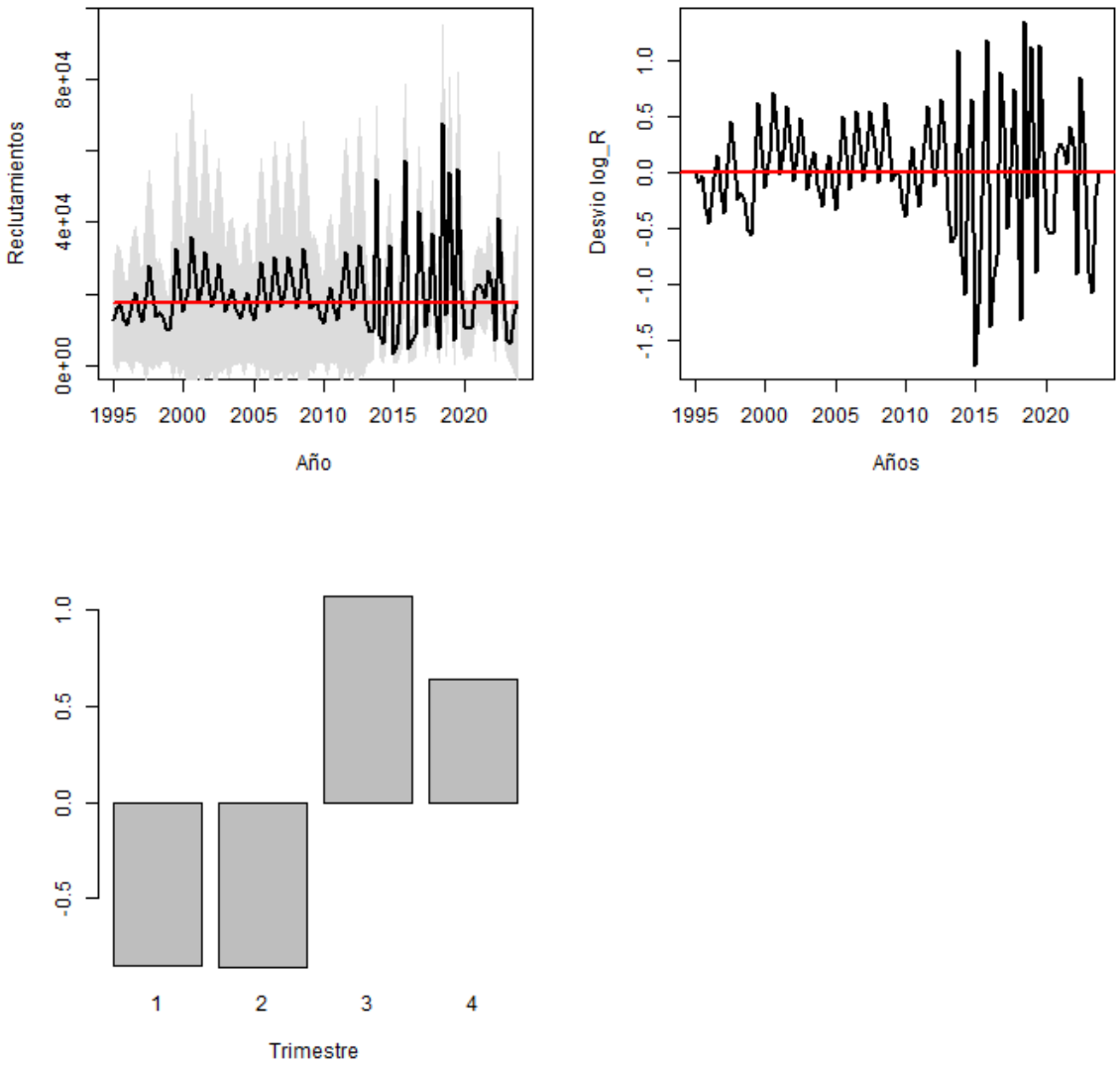

Figura 17. Reclutamientos trimestrales-anuales y anomalía de sus deviaciones en anchoveta.

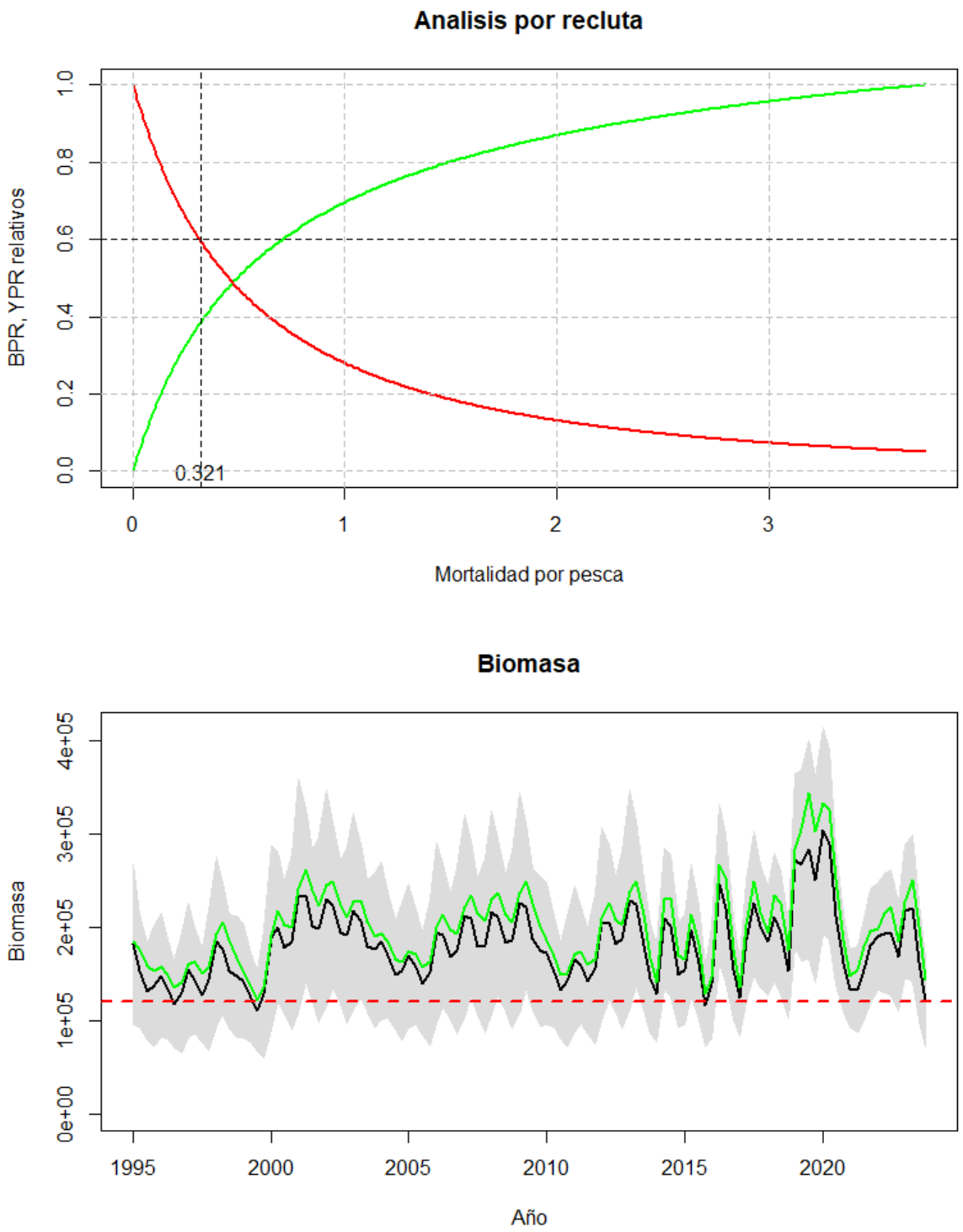

Figura 18. Curvas de equilibrio de rendimiento y biomasa por recluta, mortalidad de referencia en el MSY y biomasa parental/adulta virginal (línea verde) y biomasa actual (línea negra).

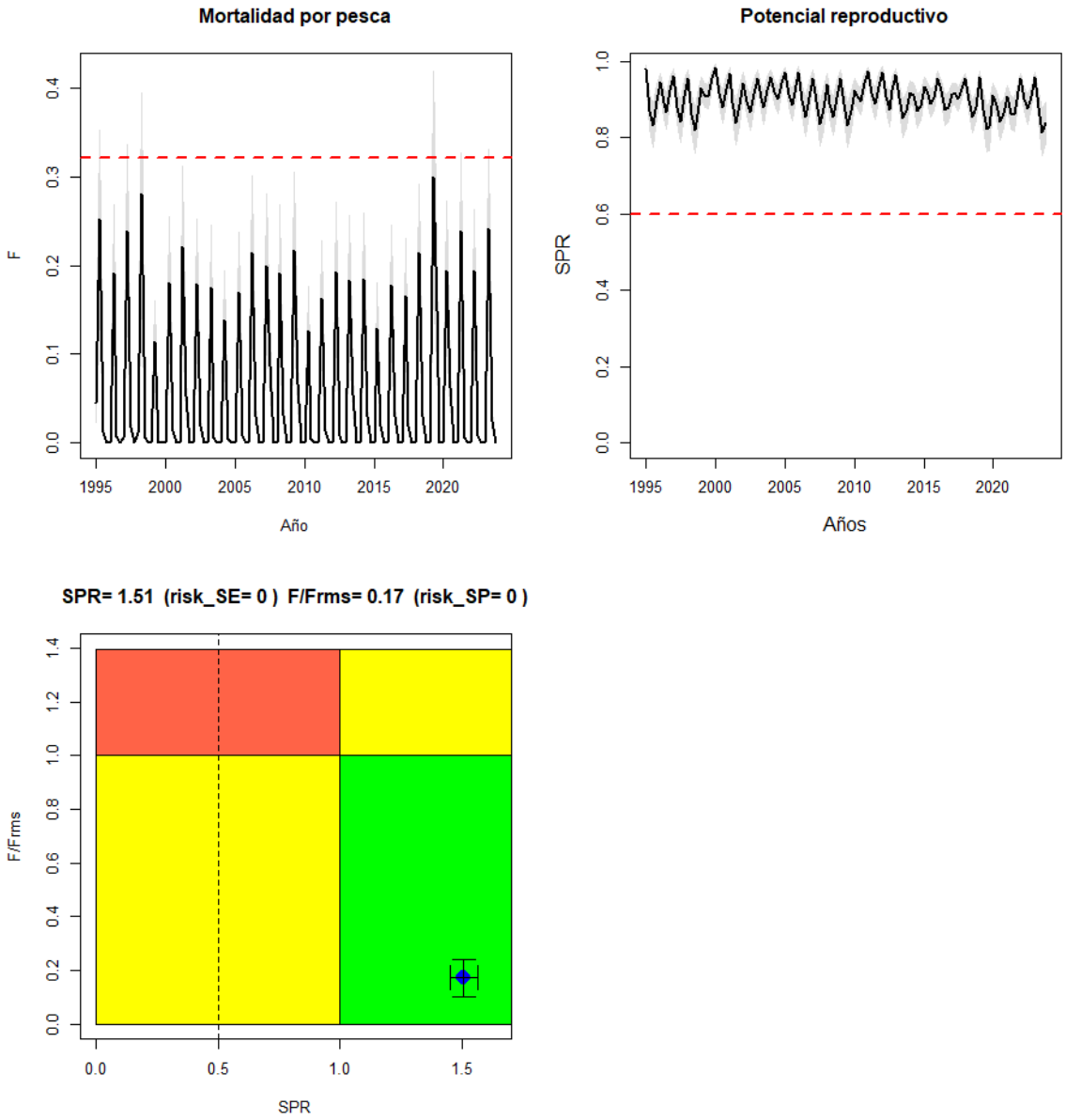

Figura 19. Variación trimestral de la mortalidad por pesca, tasa de potencial reproductivo y diagrama de Kobe en anchoveta (se considera el valor promedio en 2023).

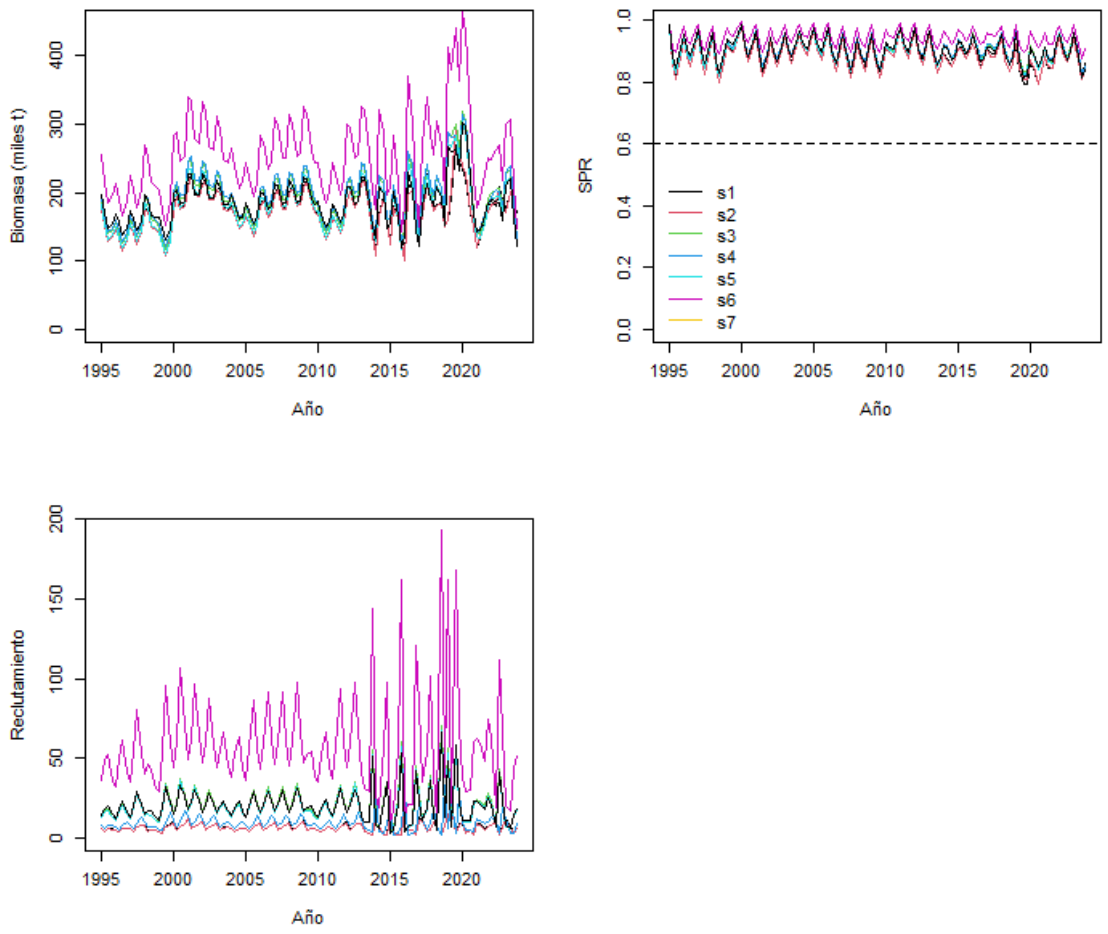

Figura 20. Biomasa adulta, tasa de potencial reproductivo (SPR) y reclutamientos de anchoveta para distintos escenarios alternativos de evaluación.

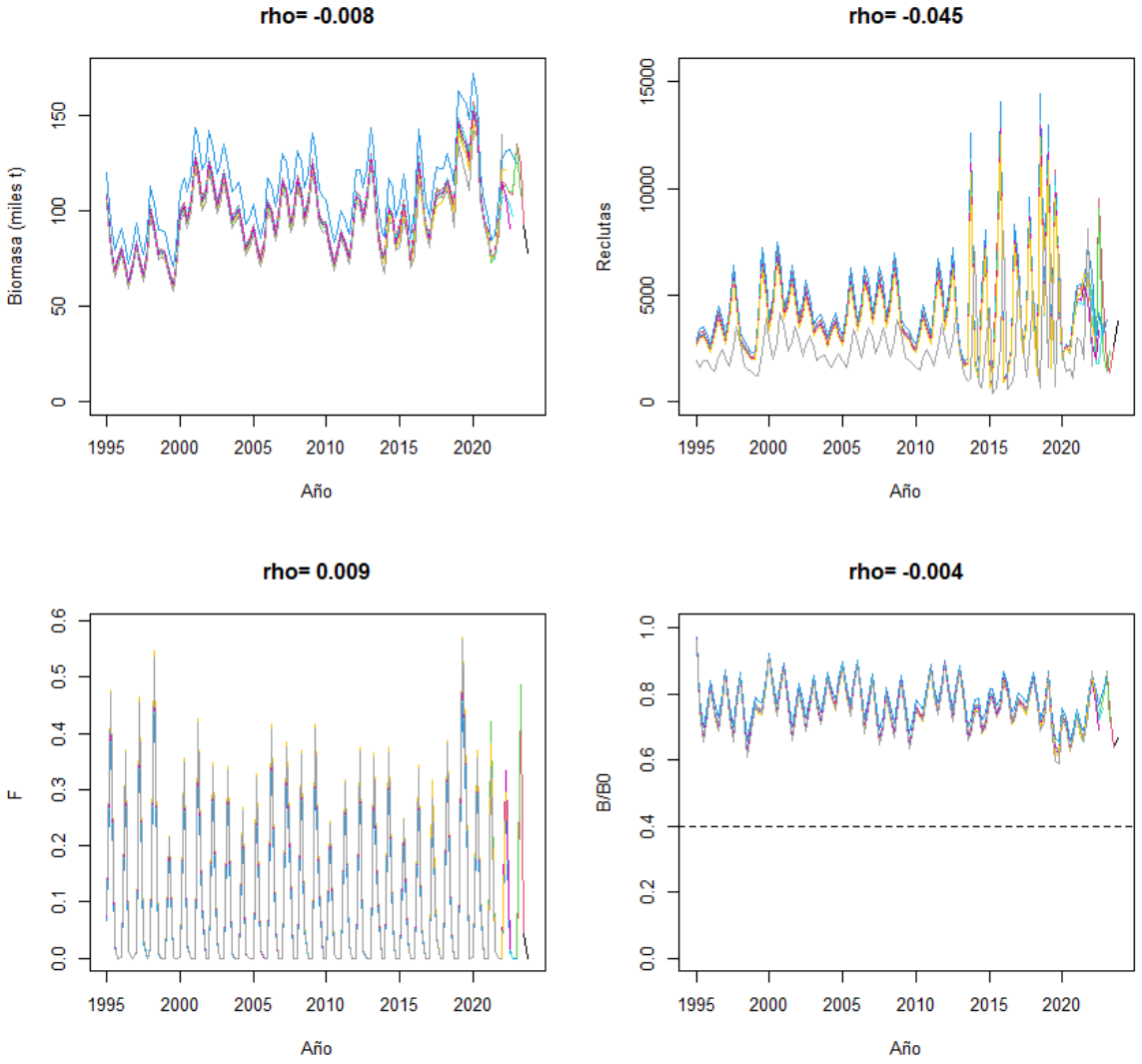

Figura 21. Análisis retrospectivo y valor del coeficiente rho de Mohn. Anchoveta

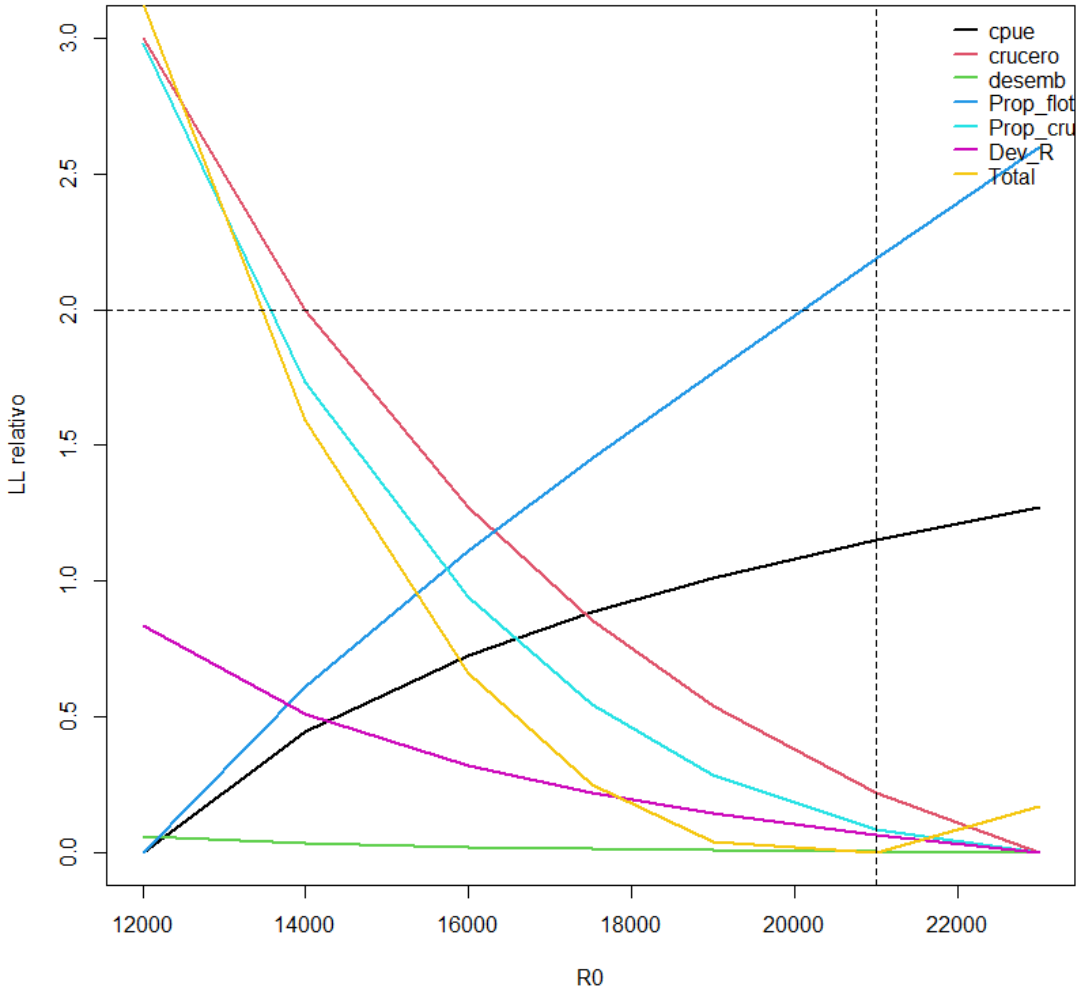

Figura 22. Perfiles de verosimilitud de las distintas piezas de información empleadas en la evaluación de stock de anchoveta. La línea horizontal define la zona de significancia y la línea vertical la solución total.

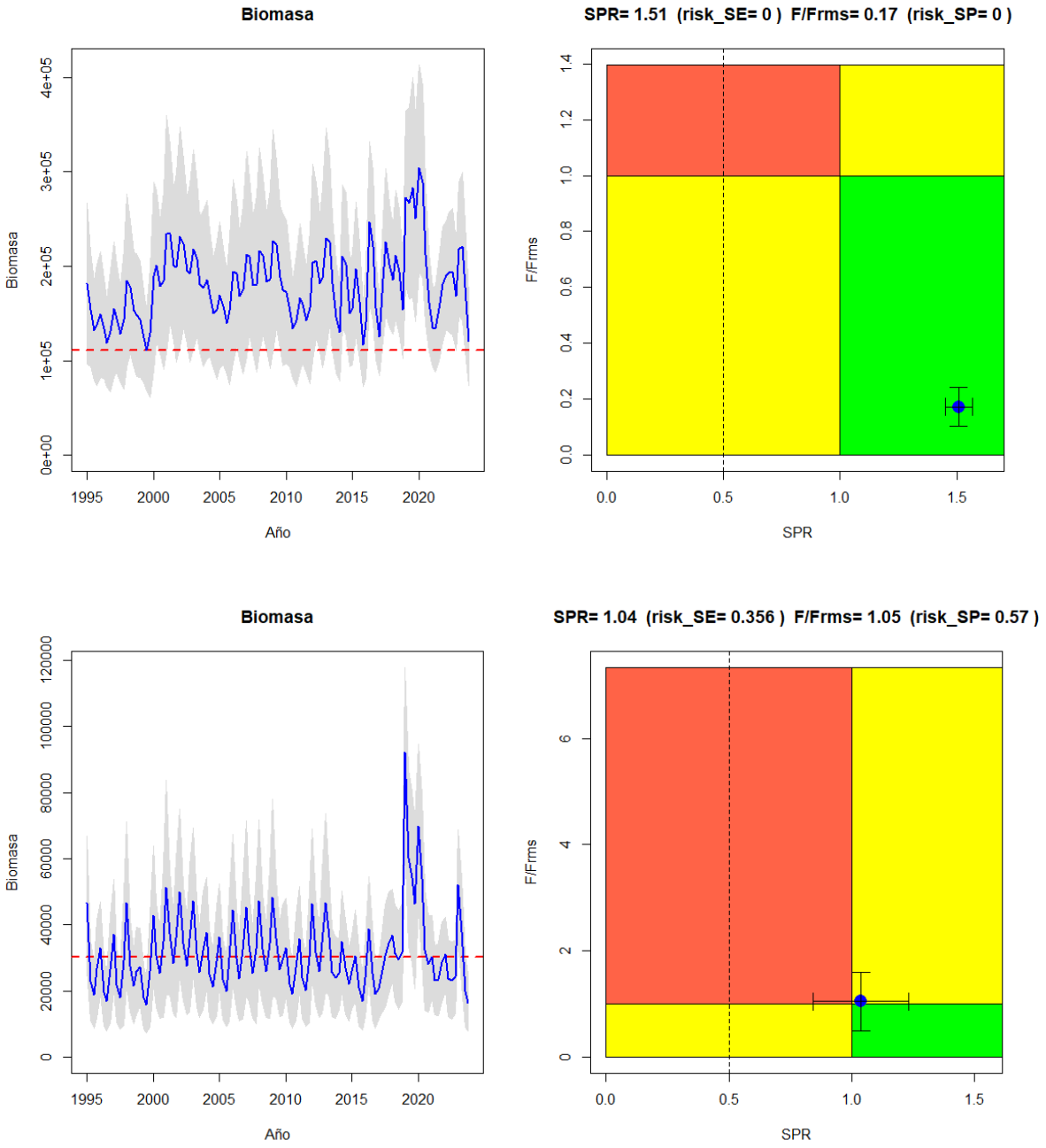

Figura 23. Comparación de biomasa adulta y diagrama de Kobe del escenario base con toda la información (arriba) vs similar escenario, pero sin datos acústicos (abajo).

3.2.2. Arenque

Ajuste del modelo y estimación de parámetros

Las **Figuras 24, 25, 26 y 27** muestran el ajuste del modelo de evaluación a los distintos conjuntos de datos de arenque, en tanto los residuales de los ajustes y qq-plot sobre los supuestos de normalidad se entrega en **Figura 28**. Los parámetros del modelo resueltos en escala log (n=281) se reportan en la **Tabla 17** y el valor del gradiente 8E-5 confirma la convergencia del modelo. Los resultados muestran que el modelo se ajusta bien a la señal de abundancia CPUE trimestral y la talla promedio de las capturas, pero no así a la biomasa acústica (**Figura 24**). Del mismo modo se destaca una adecuada reproducción de las composiciones de tallas de las capturas y en menor medida a los cruceros (**Figura 25 y 26**). A diferencia de anchoveta y exceptuando el crucero 2021, los datos muestran una relativa mayor presencia de individuos grandes en las composiciones de tallas de las capturas que los cruceros (**Figura 25**).

La variabilidad trimestral y tendencia de las composiciones de tallas fue reproducida por el modelo bajo el uso de bloques de patrones de explotación trimestral. La selectividad de la flota se observa muy por sobre la talla de madurez (**Figura 29**), lo que desde la perspectiva de la conservación resulta deseable y recomendable con el fin de asegurar la renovabilidad de la población evitando la sobrepesca por crecimiento. Por su lado, los patrones de selectividad de los cruceros muestran similar variabilidad ente trimestres (**Figura 29**). El modelo del crecimiento indica que en las composiciones de tallas de las capturas no habrían más de 8 grupos trimestrales de edad (2 años) **(Figura 30**), y que la talla de reclutamiento a la población se estima en torno a los 12 cm. De acuerdo con la tasa de crecimiento y a partir de esta medida, la talla de completo reclutamiento (app 17 cm) se alcanza luego de cuatro trimestres (**Figura 29, 30**). Cabe destacar que la moda de los peces mas grandes registrados en torno a 20 cm en el crucero del año 2021, corresponde a un grupo de edad de 10 trimestres luego de reclutados a la población, equivalente a los individuos más longevos de poco más de 2.5 años de edad. Esto significa que los niveles de mortalidad por pesca podrían ser relativamente bajos pues permitirían el escape de los adultos hasta alcanzar estas tallas.

Variables poblacionales y diagnóstico

Se estima que la mayor variabilidad en los reclutamientos se registra a partir del 2015 como consecuencia de la incorporación de las composiciones de tallas de las capturas en el modelo de evaluación (**Figura 31**), y sin períodos de sesgos en estas anomalías que destacar. En este mismo análisis se observa que el período de máximo reclutamiento sucede en el cuarto trimestre de cada año (octubre-diciembre), mientras que el más bajo se produce durante el segundo trimestre del año (abril-junio) (**Figura 31**). Esta variabilidad y estacionalidad es determinante en las estimaciones poblacionales. La biomasa adulta ha presentado oscilaciones cíclicas trimestrales e interanuales, con valores mayormente por sobre la biomasa de referencia y sin tendencia que destacar (**Figura 32**).

Las medidas de precisión en las estimaciones de biomasa corresponden a coeficientes de variación cercanos al 20% e indican que en la mayoría de las veces, la biomasa ha sido significativamente similar a la biomasa de referencia Brms (**Figura 32**). La trayectoria de la mortalidad por pesca trimestral muestra variaciones estacionales determinadas por el régimen operacional de la pesquería, y en torno a la mortalidad por pesca de referencia Frms (**Figura 32 y 33**), lo que en términos del potencial reproductivo muestra variaciones en torno a 70% de la biomasa adulta que habría existido sin pesca (**Figura 33**).

Del mismo modo que anchoveta, en el arenque se propuso como referente un objetivo de manejo equivalente a cautelar el 60% de la biomasa adulta virginal, justificado por el rol ecológico de esta especie en la cadena trófica. Los PBR para el arenque fueron estimados proyectando trimestralmente la biomasa en el largo plazo para diferentes valores de mortalidad por pesca promedio trimestral (**Figura 32**). Se estimó como proxy del RMS una biomasa desovante Brms=40 mil toneladas y un nivel de RMS de 8 mil toneladas trimestrales. La mortalidad por pesca que permite este objetivo de manejo tiene un valor Frms=0.071 (**Figura 32**). De acuerdo con lo anterior, las variaciones de la biomasa adulta se estiman en torno a 50 mil toneladas equivalentes al 72% de la biomasa virginal y siendo un 20% mayor que la biomasa de referencia Brms en promedio. Del mismo modo, los niveles de mortalidad por pesca promedio corresponden al 50% de la mortalidad por pesca de referencia Frms (**Tabla 20**), mientras que el diagrama de Kobe indica que los riesgos de sobrepesca (SP) son cercanos al 10% mientras que de sobreexplotación (SE) son nulos (**Figura 33**).

El análisis de siete escenarios adicionales de evaluación muestra que, en cualquiera de los casos analizados, la condición de la población de arenque no difiere siendo esta favorable y por sobre la biomasa de referencia en los años más recientes (**Figura 34**). Las estimaciones de biomasa podrían ser aún mayores si se estima la mortalidad natural (S6), en cuyo caso M=0.43 está muy por sobre un valor recomendado M~2k=0.34 (**Figura 20, Tabla 19**). El análisis muestra que si bien este es el escenario más verosímil (menor log likelihood), el alto valor de M hace que sea desestimado, siendo el escenario S5 el segundo de mejor desempeño y elegido como base. En este caso, el coeficiente de capturabilidad del crucero indica que las estimaciones de biomasa acústica estarían sobreestimadas en un 20% respecto del valor observado (**Tabla 19**). En este escenario, el coeficiente de crecimiento estimado (k) no difiere notablemente del valor a priori mientras que la desviación de la talla a la edad se estima proporcional a la talla esperada por medio de un coeficiente de variación del 6%.

Por otro lado, el patrón retrospectivo del escenario S5 indica que al eliminar de manera secuencial los datos de los últimos trimestres, el modelo tiende a sobreestimar la biomasa en un 13% (rho) y subestimar la mortalidad por pesca en un 8%, niveles de sesgo considerados dentro de rangos normales para este tipo de recursos (**Figura 35**). De manera similar a la anchoveta, una extensión al análisis de S5 considerando solo los datos de la flota (exclusión de datos de la evaluación acústica) muestra que la población podría encontrarse en condiciones de sobrepesca y sobreexplotación (**Figura 36**), lo cual es una evidencia de inconsistencia ente ambas señales de abundancia (CPUE vs acústica). En otras palabras, al considerar la data acústica se obtiene una mejor condición poblacional siendo esta fuente de información muy influyente en los resultados obtenidos, aun cuando el modelo no reproduce adecuadamente sus variaciones.

Tabla 17. Parámetros del modelo de arenque.

Number of parameters = 276 Objective function value = 4974.17252076340 Maximum gradient component = 8.11368847759323e-006
log_L50:
2.91190045875885 2.80308064861604 2.82207770969915 2.72976714108616 2.85183624199972 2.84401444506208
log_sigma1:
0.816497379798482 0.633542638831150 0.608919676274041 0.719636335369860 0.628639039348676 0.582927746027410
log_sigma2:
4.60517018598809 4.60517018598809 4.60517018598809 4.60517018598809 4.60517018598809 4.60517018598809
log_L50c:
2.88694067234972 2.92085458448033 2.94108067974253 2.80646826451602 2.86900082981420
log_sigma1c:
0.627892344596696 0.607257040864612 0.595018357335928 0.670968556822633 0.707814846751974
log_sigma2c:
4.60517018598809 4.60517018598809 4.60517018598809 4.60517018598809 4.60517018598809
log_Ro:
7.08496578147
dev_log_Ro:
-0.0218487520780 -0.341046946135 -0.326333359837 -0.320166449933 -0.266764577803 -0.170822258836 -0.113983227777 -0.106268152167 -0.0439080233991 0.103188485888 0.184350561012 0.0835660523898 -0.0325267606015 -0.0915475344915 -0.123855560226 -0.129913184534 -0.0729666571276 0.0337572342848 0.0951303138755 0.0977887236216 0.168717879620 0.363179107425 0.490155615021 0.312990346599 0.136324754148 0.0467237152606 0.00371436911526 -0.0146110652223 0.00120809444255 0.0310283309187 0.0163641814233 -0.0472176442648 -0.105749075755 -0.150473983842 -0.210816671959 -0.282665311221 -0.335187243127 -0.363379817163 -0.378174564551 -0.354337729947 -0.246071608660 -0.0599591550089 0.0707337063034 0.0467871470861 0.0156412530565 0.0408970500381 0.0452630950714 0.00899605529707 0.0150834918126 0.0852193113639 0.138829721477 0.136569863627 0.165107676725 0.243980511820 0.245040613921 0.128190587926 0.0236424414920 -0.0324991272884 -0.0805587805729 -0.133205865694 -0.164726444182 -0.174315833711 -0.185529466891 -0.178462657633 -0.0954478959540 0.0443319657827 0.126984892182 0.101591093706 0.130244391500 0.303354413724 0.560704743013 0.761874675670 0.464227998498 0.0746818583574 0.00923641569201 0.239048619671 -0.166366661643 -0.147581546015 0.0765289181136 -0.0589189890361 -0.439247638776 -0.529783313525 -0.468541167037 -0.0482786581026 0.678171251884 -0.0137335312475 -0.425984971161 0.252842468899 0.487024904854 0.195363382911 -0.268685939279 0.571750628242 0.0256545698627 -0.0105563961646 0.458724400378 0.467610134793 -0.257135804904 -0.422438635150 -0.273519580834 -0.210099599991 -0.213752738731 -0.207945482036 -0.216252621221 -0.340649734530 -0.264440774771 -0.301713475665 -0.0405303470400 0.186706368055 0.0806931953653 0.0742074900846 0.663065632481 0.356902460323 0.786765659891 -0.282291200043 -0.298623789299 -0.0940488422055
dev_log_No:
-0.363090620598 -0.382504681640 -0.359111171556 -0.306748264740 -0.250883318704 -0.203194919371 -0.162227203876 -0.127389432770 -0.0982294713644 -0.0746333662724 -0.0562790308568 -0.0420539478138 -0.0308170832693 -0.0222364560826 -0.0550563017505

log_F:
-4.78028284521 -3.34093632801 -2.50834929433 -11.4436355850 -2.90135257935 -2.59503941992 -2.32882195589 -3.39779020442 -3.20901272816 -3.26764151996 -2.18882964442 -3.97854895096 -11.5647159466 -2.90489128110 -1.76481098358 -11.5779611403 -11.6119132457 -2.71350801961 -2.13165129902 -5.19003098802 -3.73645228085 -3.84923332771 -3.17192140619 -5.99198326581 -11.8578863387 -4.33185257773 -2.04211403853 -6.75143126510 -11.8827217903 -3.87067240471 -1.78058170885 -2.59842114931 -11.6740755516 -3.07558350854 -1.59016024673 -2.84746163023 -11.5077541554 -2.28190441662 -1.83944107153 -3.28588083464 -11.3315371298 -3.14717688537 -1.81640591662 -4.17651119465 -11.3993859559 -4.25834439529 -1.63423790297 -3.48033622642 -11.5668437101 -3.47075796080 -2.23722830934 -3.26727917871 -11.6675520588 -3.02622408496 -1.52228797462 -3.04691142182 -11.7053004903 -3.81011390677 -1.98158361288 -2.63360012591 -11.6739485956 -1.98137142995 -1.84461948841 -2.76873125071 -11.4633120073 -2.39454893867 -1.69751478785 -3.59753613082 -11.4932652073 -3.48116432048 -1.78247966132 -3.35217883612 -11.7633918297 -3.31893614977 -2.02703277083 -3.80828955425 -11.9787542773 -3.68533100151 -2.09775461045 -3.19449785189 -11.7668063249 -3.06430940995 -1.32904020186 -3.21289749519 -11.4141728410 -2.60620185332 -1.62835025418 -3.08752890321 -11.8072693283 -2.51005072993 -1.72556688145 -3.43332126417 -11.8809402831 -3.13925856715 -1.97521653278 -3.54958566605 -11.9801254910 -6.75461756826 -2.49157666333 -3.16997913279 -11.8568613569 -3.60772676717 -1.70007593170 -3.70717668183 -11.8401701139 -3.03522205610 -1.79795666653 -3.81874421768 -11.4953403116 -3.44167504698 -2.30701714270 -5.75511393272 -11.8653914983 -5.97661286432 -1.84674160793 -3.52598199183
log_qflo:
-8.33105299797
log_qcru:
0.183763260505
log_b:
0.00000000000
log_Linf:
3.13085878733
log_k:
-1.83874021239
log_Lo:
2.48523141629
log_aedad:
-23.0258509299
log_bedad:
-2.85656884840
log_M:
-1.10866262452

Tabla 18. Log-verosimilitud en escala absoluta (arriba) y relativa al menor valor (abajo) de las fuentes de datos/error en arenque.

	CPUE	Cruceros	Desemb	Prop_f	Prop_c	dev_Rt	Total
S1	52.2	13.6	0.2	4527.9	416.9	31.5	5045.3
S2	52.9	20.3	0.2	4507.2	400.1	28.4	5012.0
S3	62.3	10.0	0.1	4471.3	394.8	26.4	4966.6
S4	53.2	9.7	0.1	4481.8	401.5	33.3	4980.4
S5	59.5	10.4	0.1	4470.7	394.5	25.8	4963.2
S6	58.5	10.3	0.1	4464.3	392.9	24.8	4952.1
S7	58.7	10.6	0.1	4471.7	394.6	25.2	4963.0

	CPUE	Cruceros	Desemb	Prop_f	Prop_c	dev_Rt	Total
S1	0.0	3.9	0.2	63.7	24.0	6.7	93.2
S2	0.7	10.7	0.2	43.0	7.2	3.6	59.9
S3	10.0	0.3	0.0	7.1	1.9	1.6	14.6
S4	0.9	0.0	0.0	17.6	8.6	8.5	28.3
S5	7.3	0.7	0.0	6.4	1.6	1.0	11.1
S6	6.3	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S7	6.5	0.9	0.1	7.4	1.7	0.4	10.9

Tabla 19. Parámetros biológicos, capturabilidad acústica y tasa de potencial reproductivo (SPR) de arenque.

	Loo	k	M	Lo	Alfa	beta	q_cru	SPR	SPR/tar	b
S1	24.80	0.17	0.33	11.3	0.00	0.05	1.00	0.68	1.13	1.00
S2	24.80	0.17	0.33	11.3	0.00	0.05	1.00	0.69	1.14	1.00
S3	22.76	0.16	0.33	12.1	0.00	0.06	1.00	0.77	1.28	1.00
S4	22.42	0.16	0.33	14.5	1.41	0.00	1.00	0.78	1.30	1.00
S5	22.89	0.16	0.33	12.0	0.00	0.06	1.20	0.72	1.21	1.00
S6	23.92	0.16	0.43	11.7	0.00	0.05	1.16	0.79	1.31	1.00
S7	22.90	0.16	0.33	12.0	0.00	0.06	1.20	0.72	1.21	1.04

Tabla 20. Estimaciones de biomasa adulta, reclutamiento, mortalidad por pesca, reducción de biomasa adulta virginal y razón de potencial reproductivo (SPR) de arenque.

Año.trim	Biomasa	R_R0	Fcr	F_Fmrs	B_Brms	B_B0	SPR
2018.25	50319	0.990	0.040	0.610	1.240	0.740	0.670
2018.50	50716	1.580	0.140	1.950	1.250	0.750	0.660
2018.75	50949	1.600	0.030	0.400	1.260	0.750	0.650
2019.00	54681	0.770	0.000	0.000	1.350	0.810	0.690
2019.25	58532	0.660	0.000	0.020	1.440	0.870	0.730
2019.50	60243	0.760	0.080	1.170	1.490	0.890	0.740
2019.75	61470	0.810	0.040	0.590	1.520	0.910	0.740
2020.00	63854	0.810	0.000	0.000	1.580	0.950	0.760
2020.25	63572	0.810	0.030	0.380	1.570	0.940	0.780
2020.50	55710	0.810	0.180	2.570	1.370	0.820	0.730
2020.75	48491	0.710	0.020	0.350	1.200	0.720	0.680
2021.00	46757	0.770	0.000	0.000	1.150	0.690	0.700
2021.25	45379	0.740	0.050	0.680	1.120	0.670	0.710
2021.50	41163	0.960	0.170	2.330	1.020	0.610	0.670
2021.75	38128	1.210	0.020	0.310	0.940	0.560	0.650
2022.00	38547	1.080	0.000	0.000	0.950	0.570	0.680
2022.25	39194	1.080	0.030	0.450	0.970	0.580	0.710
2022.50	38881	1.940	0.100	1.400	0.960	0.580	0.710
2022.75	40569	1.430	0.000	0.040	1.000	0.600	0.720
2023.00	45355	2.200	0.000	0.000	1.120	0.670	0.770
2023.25	50902	0.750	0.000	0.040	1.260	0.750	0.810
2023.50	53725	0.740	0.160	2.220	1.330	0.800	0.790
2023.75	56720	0.910	0.030	0.410	1.400	0.840	0.760

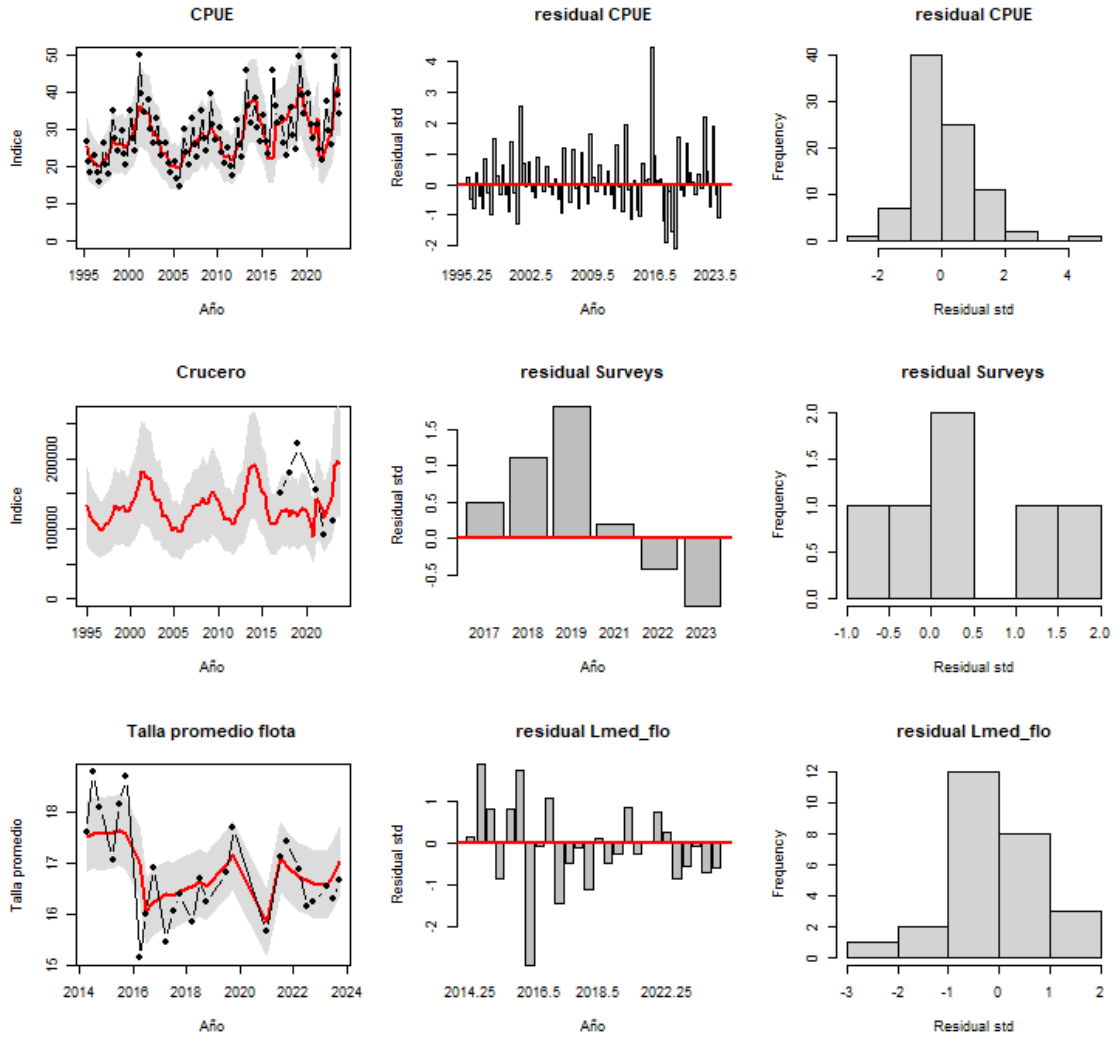

Figura 24. Ajuste del modelo (línea roja) a los datos (líneas y puntos negros) de CPUE, biomasa acústica, y talla promedio de los desembarques de arenque.

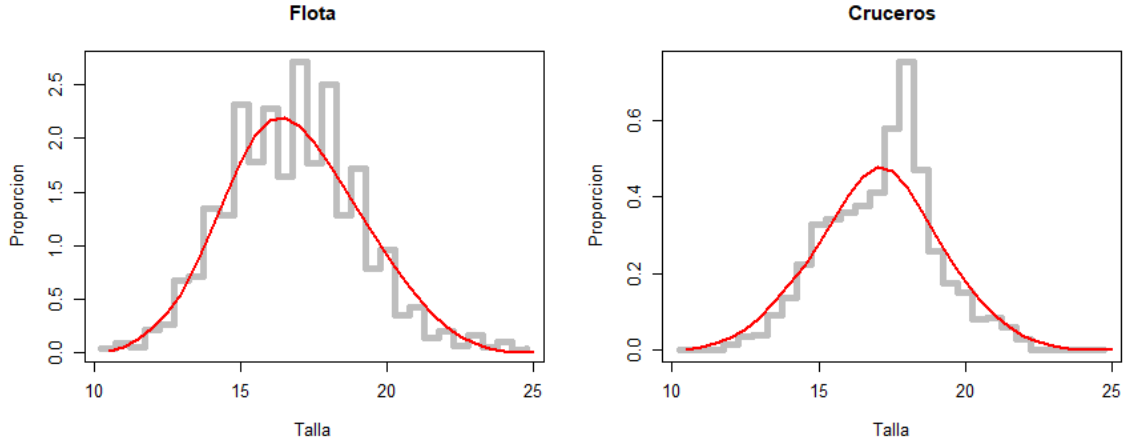

Figura 25. Ajuste del modelo a las frecuencias de talla totales de las capturas y cruceros acústicos de arenque.

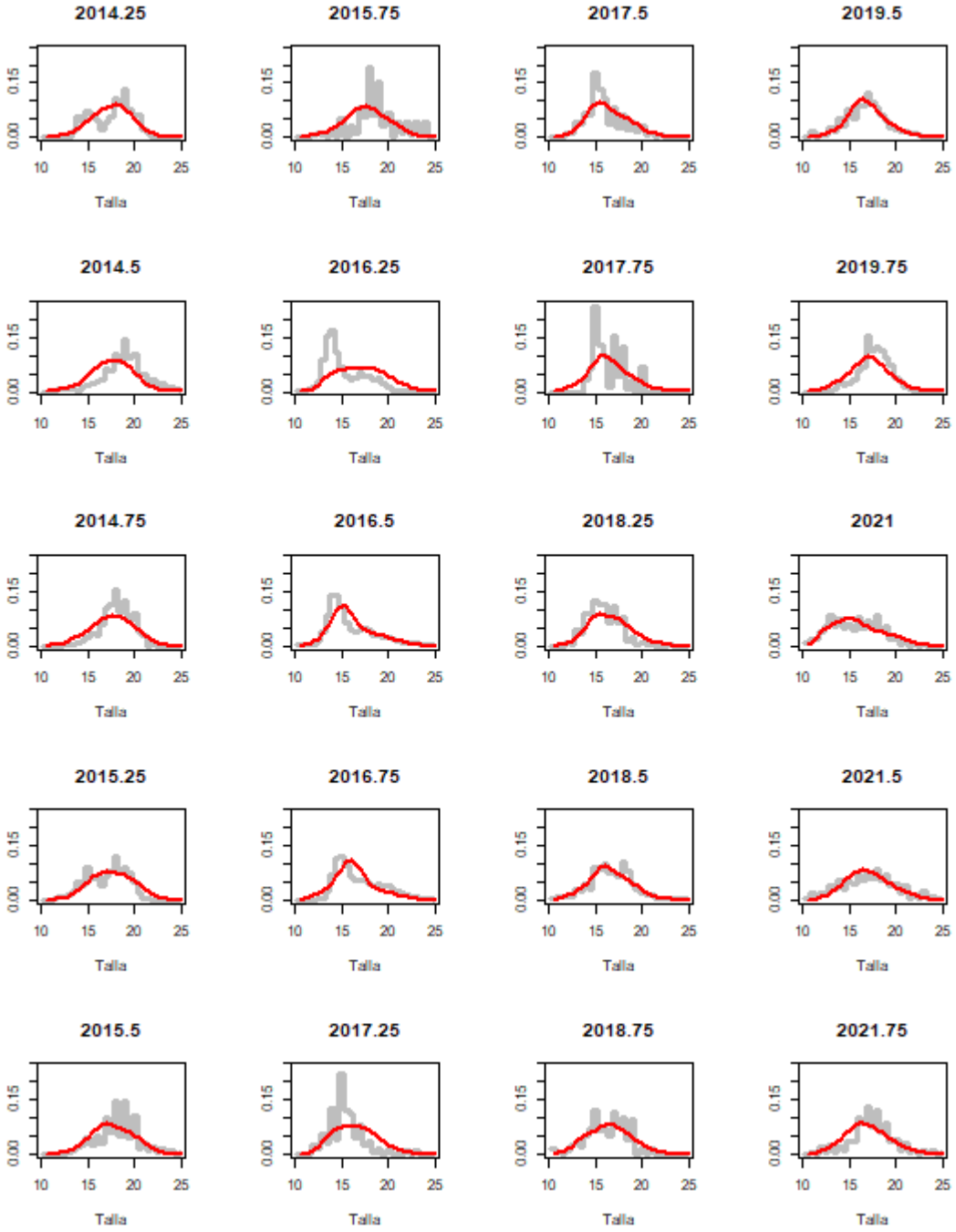

Figura 26. Ajuste del modelo a las composiciones de tallas de las capturas trimestrales de arenque.

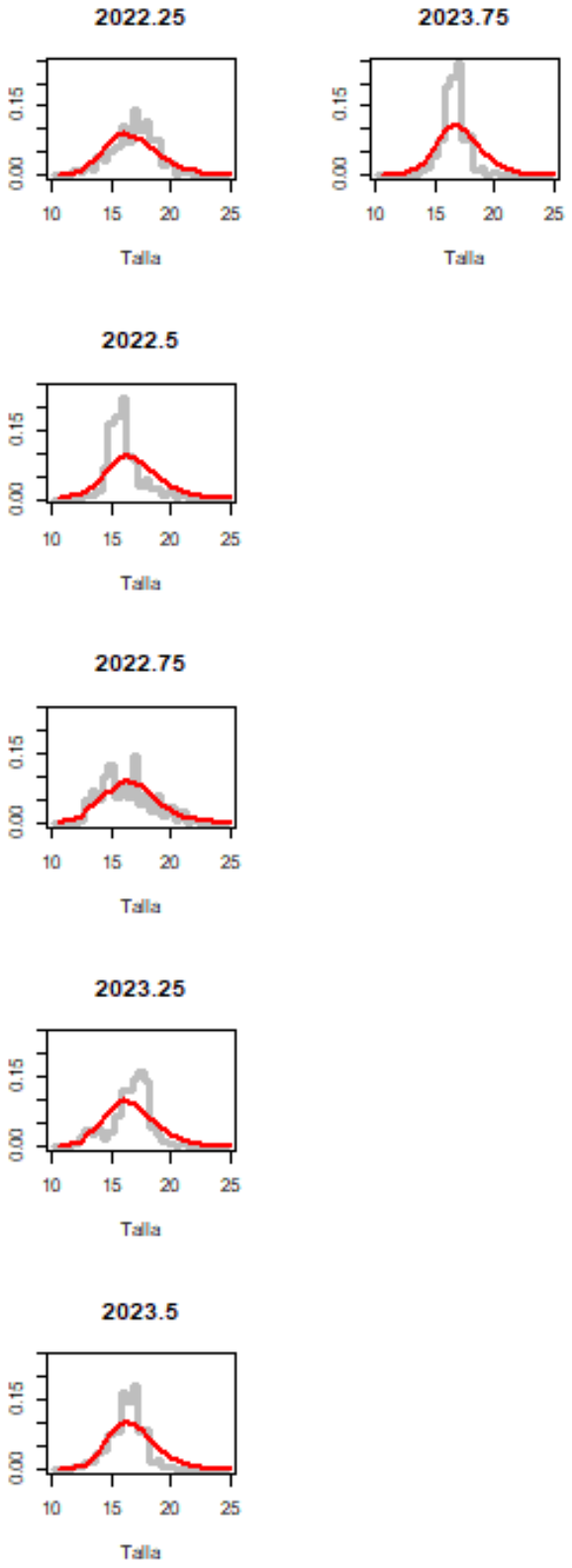

Figura 26. Continuación.

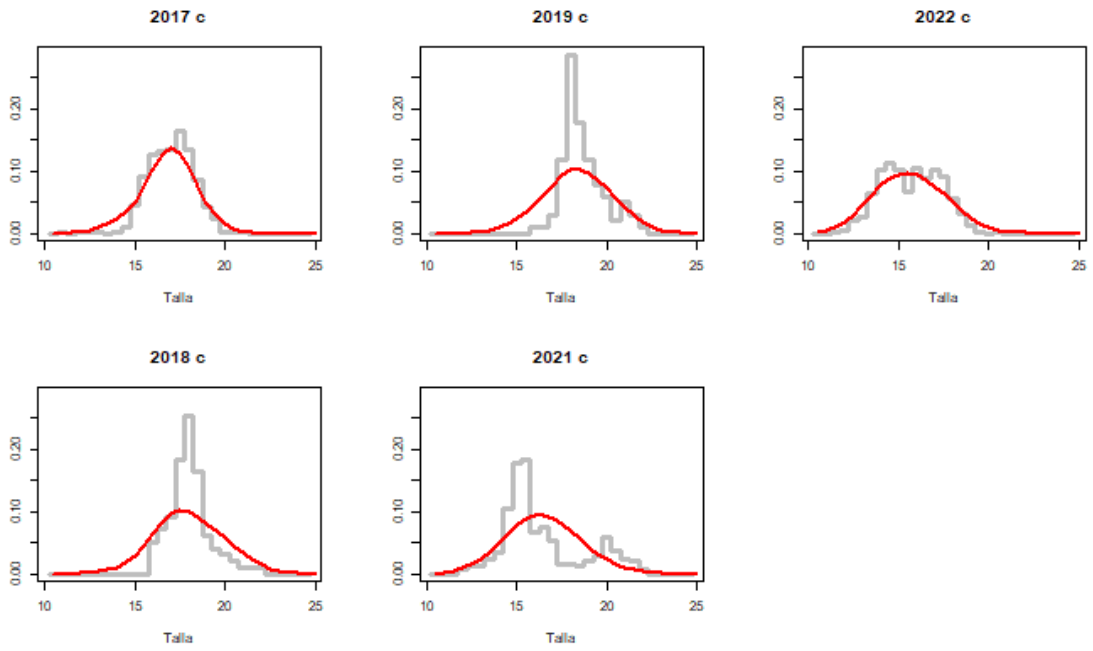

Figura 27. Ajuste del modelo a las composiciones de tallas de cruceros acústicos de arenque.

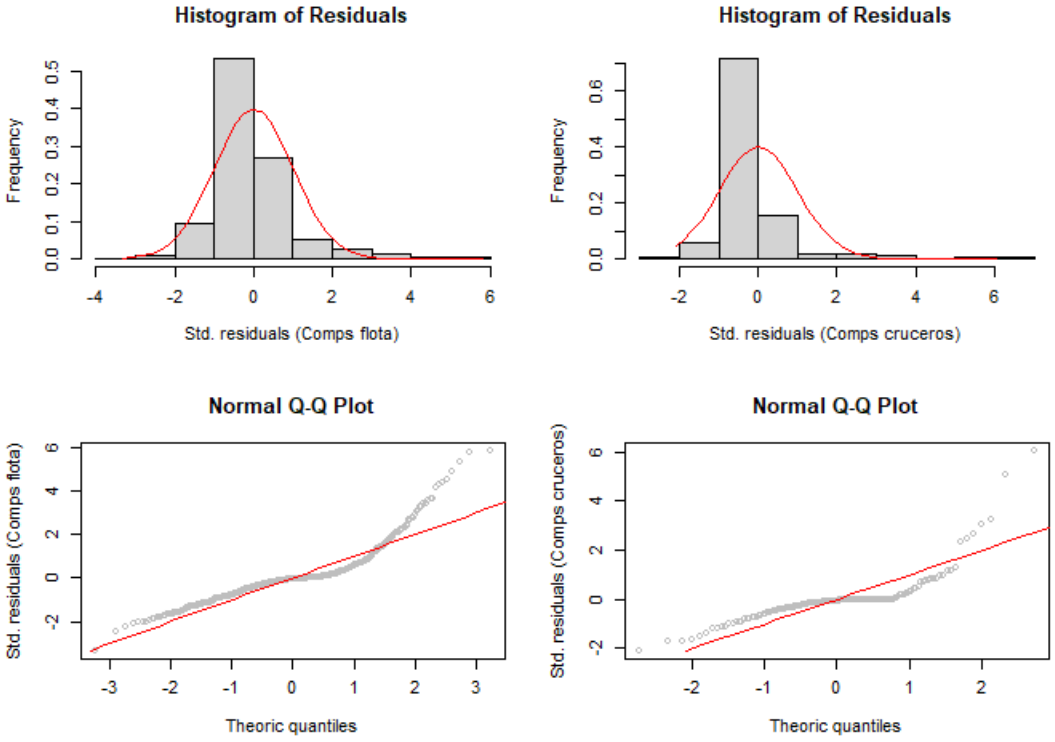

Figura 28. Histograma de residuales y diagrama qq-plot de las composiciones de tallas de las capturas (lado derecho) y los cruceros (lado izquierdo).

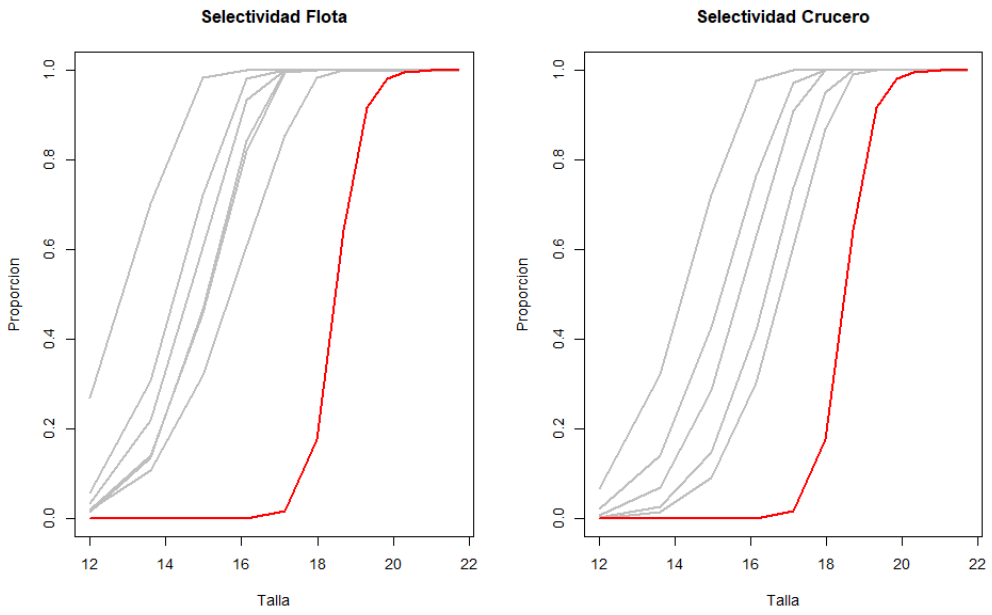

Figura 29. Selectividad (líneas grises) de la flota y cruceros acústico, y proporción de madurez a la talla (línea roja) en arenque.

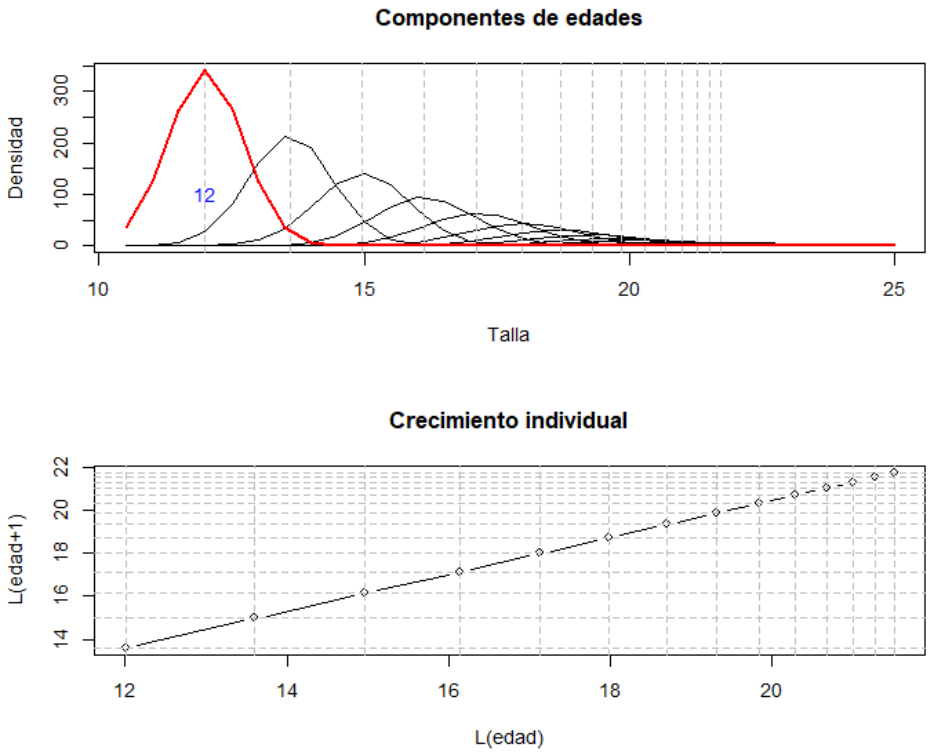

Figura 30. Modelo de crecimiento trimestral por componentes modales en arenque. En color azul se indica la talla estimada de reclutamiento.

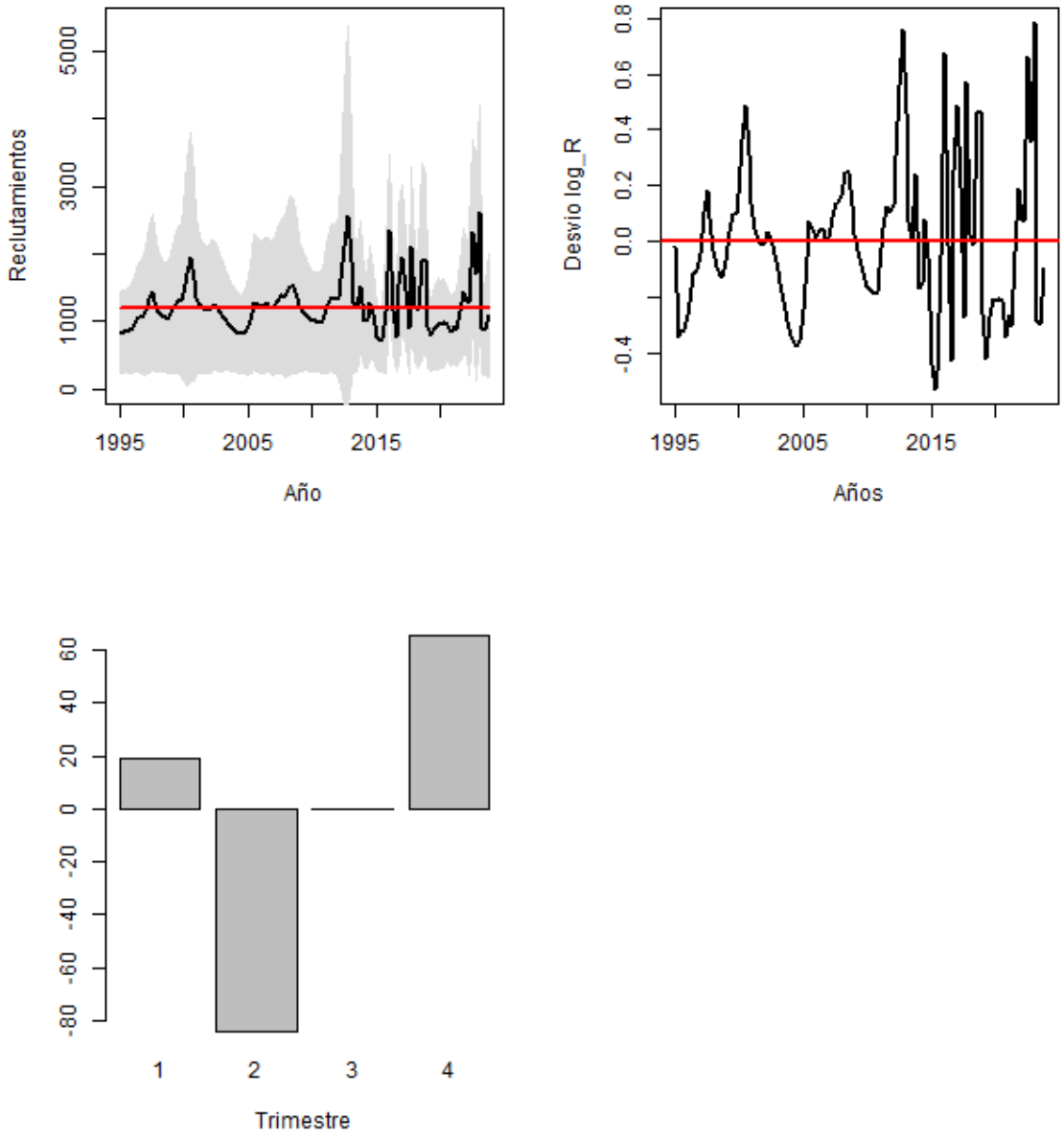

Figura 31. Reclutamientos trimestrales-anuales y anomalía de sus deviaciones en arenque.

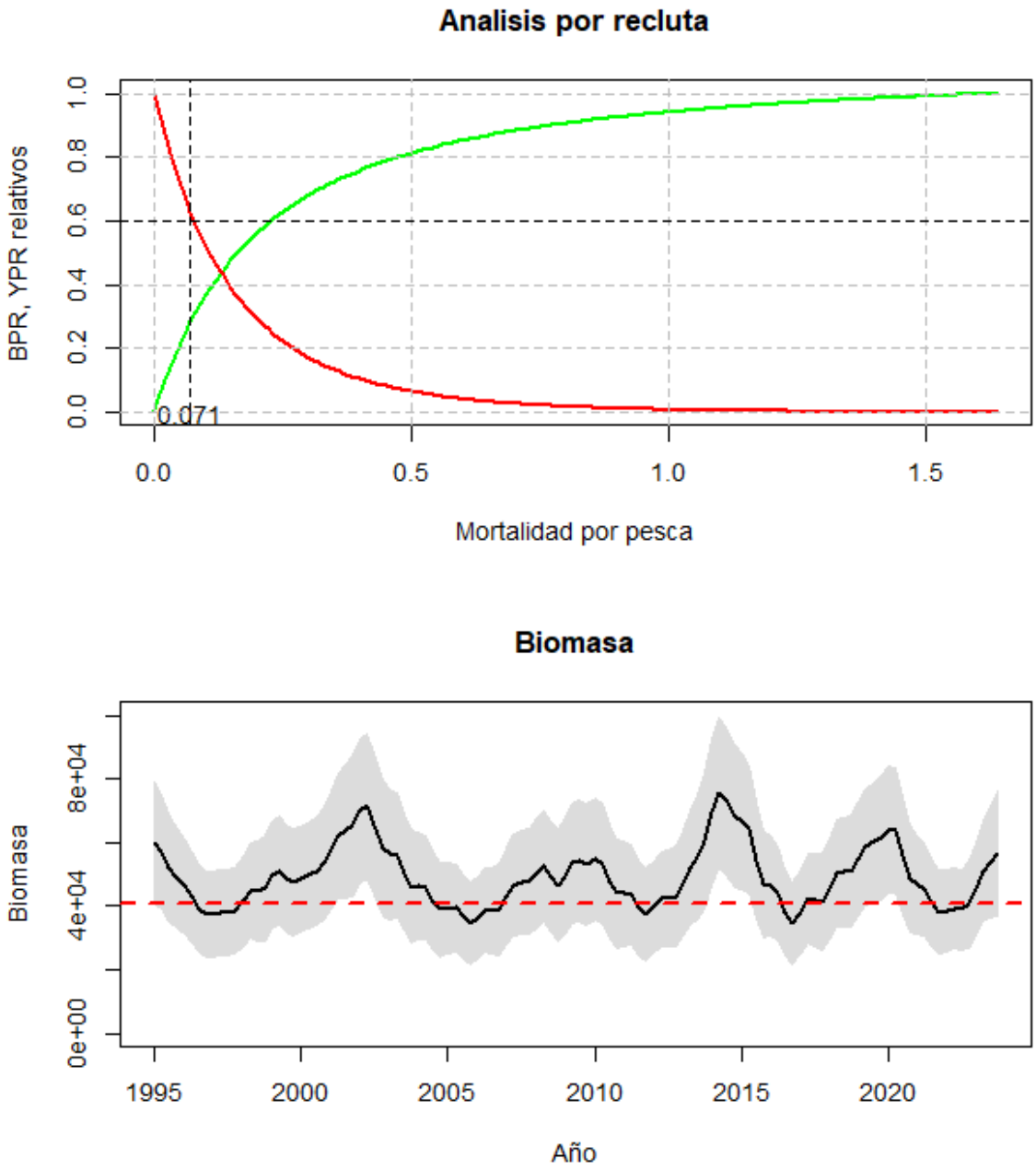

Figura 32. Curvas de equilibrio de rendimiento y biomasa por recluta, mortalidad de referencia en el MSY y biomasa parental/adulta.

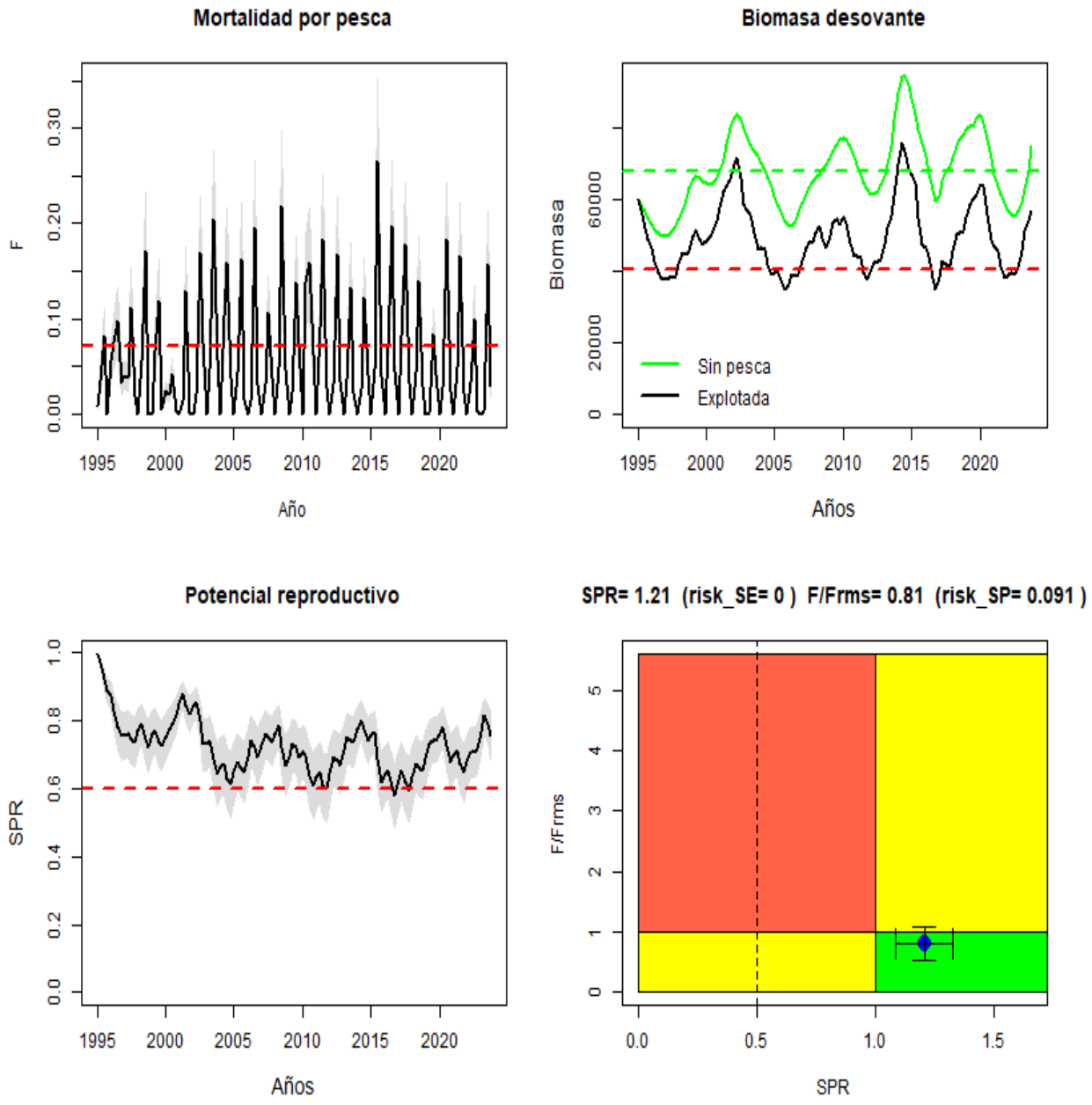

Figura 33. Variación trimestral de la mortalidad por pesca, tasa de potencial reproductivo y diagrama de Kobe en arenque.

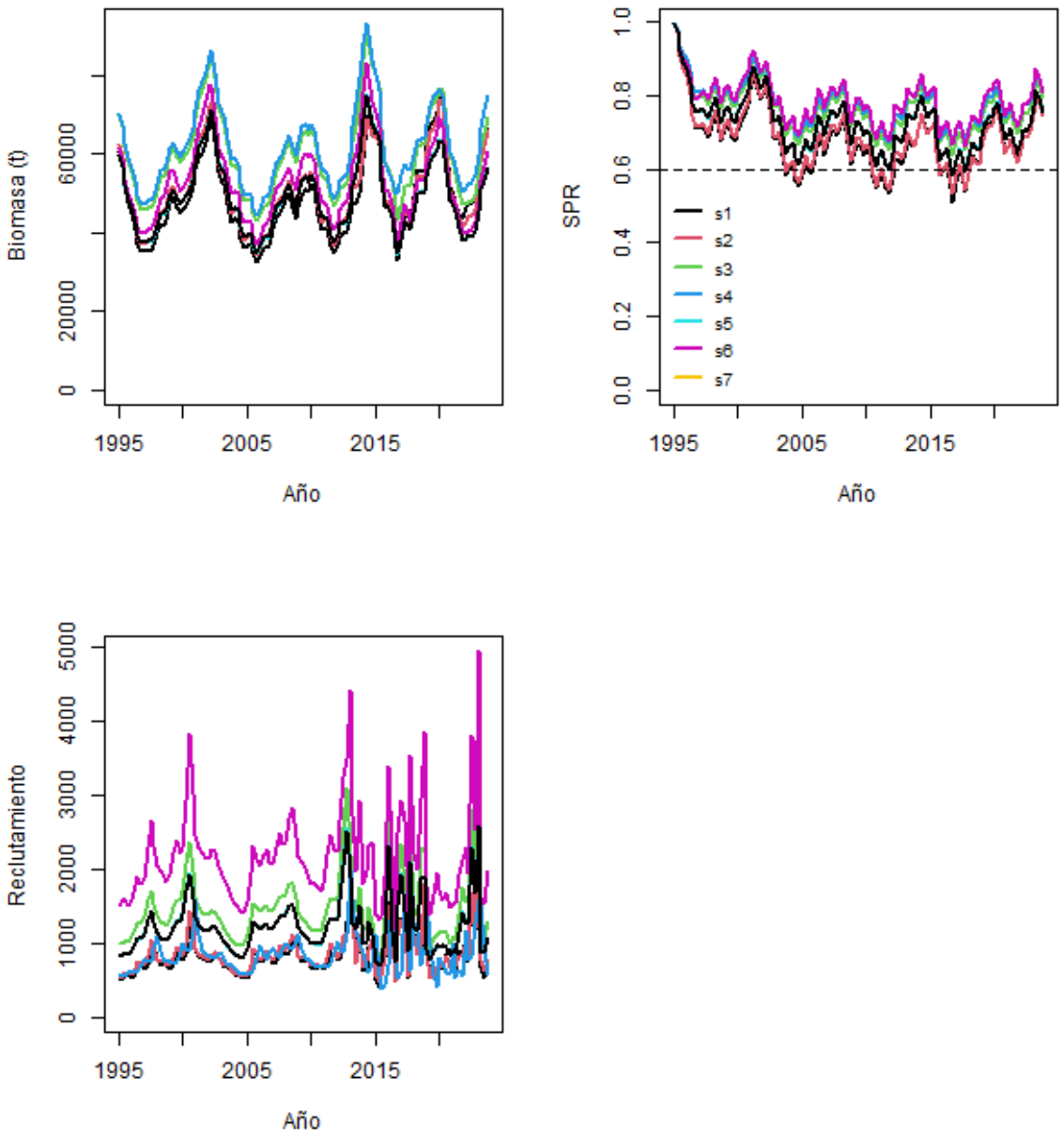

Figura 34. Biomasa adulta, tasa de potencial reproductivo (SPR) y reclutamientos de arenque para distintos escenarios alternativos de evaluación.

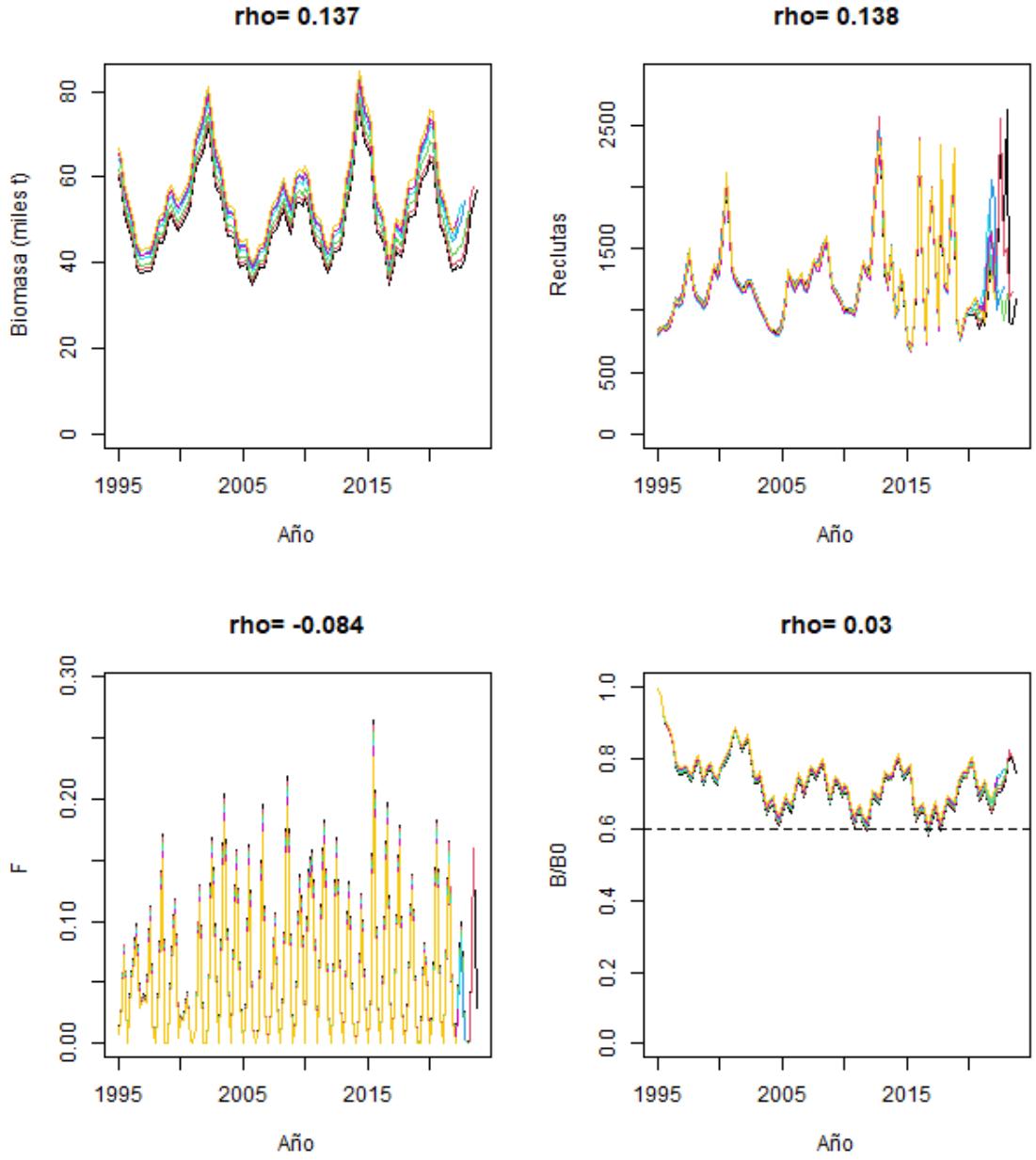

Figura 35. Análisis retrospectivo y valor del coeficiente rho de Mohn. Arenque

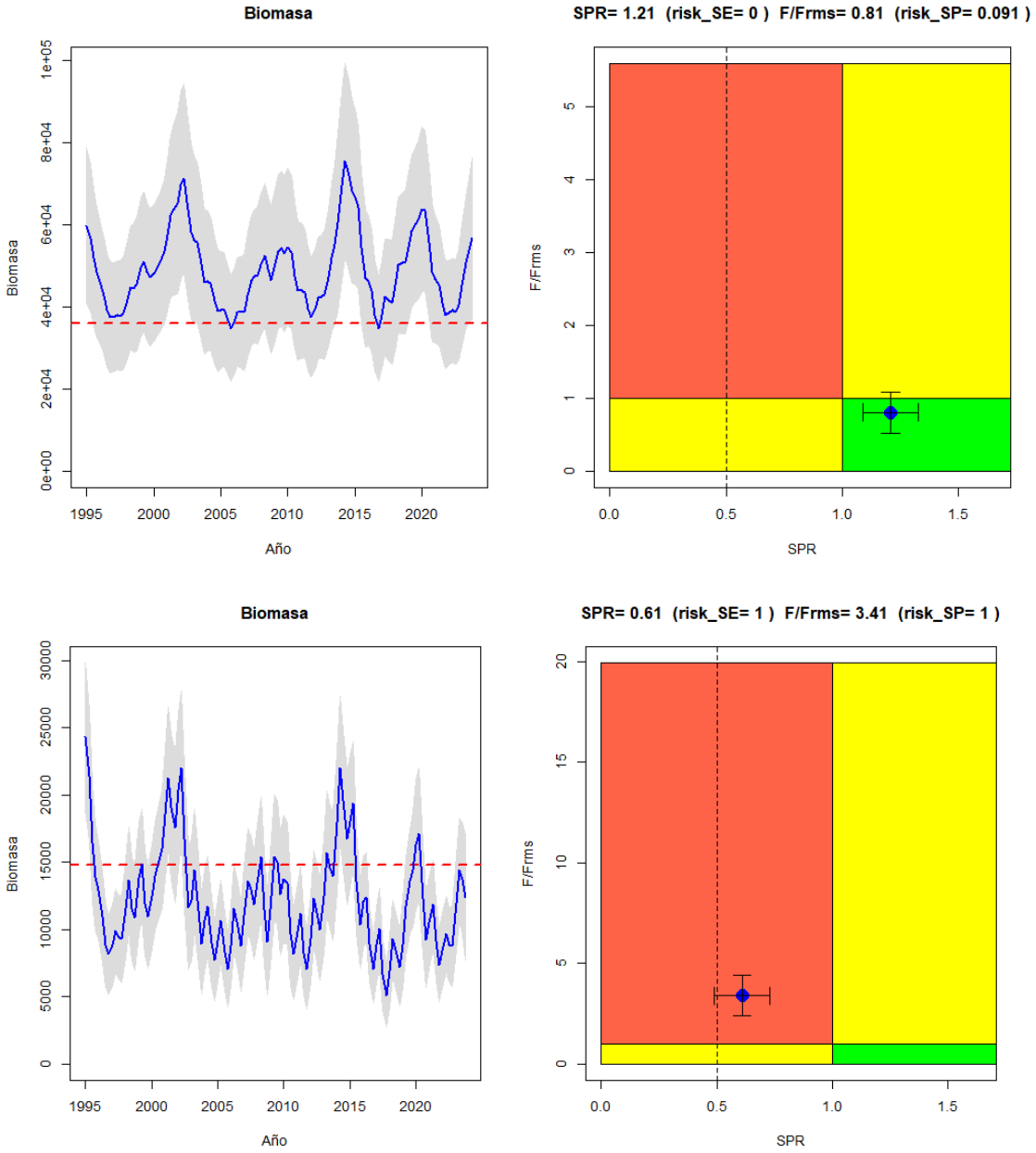

Figura 36. Comparación de biomasa adulta y diagrama de Kobe del escenario base con toda la información (arriba) vs similar escenario, pero sin datos acústicos (abajo).

4. Discusión

Se analizaron los datos biológicos pesqueros de anchoveta y arenque del Golfo de Panamá recolectados entre 1995 y 2023, todo en el marco de un modelo integrado de evaluación de stock. A falta de mayores antecedentes, este análisis supuso que ambas especies constituyen unidades poblacionales cerradas (Canales, 2020).

Los análisis de abundancia relativa basados en diferentes modelos GLM mostraron que la distribución de error tipo normal tuvo el mejor desempeño. Se demostró que el efecto con mayor impacto en la variabilidad del rendimiento pesca en el arenque es la zona, y el efecto del año en el caso de anchoveta. Suponiendo la CPUE un indicador de abundancia adecuado en pesquerías pelágicas (e.g. Canales et al, 2024; Punt et al., 2001; Dowling et al., 2015; Brochier et al., 2018), los análisis esto podría sugerir cierta estructuración espacial en la población de arenque, mientras en anchoveta, los principales procesos poblacionales estarían determinados por efectos temporales interanuales.

El modelo de evaluación del stock mostró dificultades en reproducir la información de los cruceros acústicos, la composición de tallas en anchoveta y la biomasa en arenque. Esta falta de ajuste había sido destacada anteriormente por Canales (202). Una causa que puede explicar esta situación es el mayor error de observación dado el acotado período del crucero realizado un mes al año, y a importantes cambios en el patrón de disponibilidad talla-específica. Este aspecto se considera muy relevante considerando que la época de los cruceros no ha sido siempre el mismo (Promarina, 2023). Además, los resultados mostraron que las estimaciones de la biomasa acústica estarían sobreestimadas en un 5% para anchoveta y en un 20% en el arenque. En este trabajo se destacó particularmente la bimodalidad registrada durante algunos cruceros acústicos en anchoveta y el hecho que el coeficiente de crecimiento estimado (k=0.26) resultara notablemente menor al valor a priori (k=0.38). Esto podría sugerir que anchoveta tendría una relativa mayor longevidad a la supuesta. No obstante esto y en ambos recursos, la mayor presencia de individuos grandes durante los cruceros sugiere que los niveles de mortalidad por pesca han sido bajos y habrían permitido la sobrevivencia de individuos más longevos.

En ambos recursos, se destaca que la selectividad de la flota se encuentra en torno o por sobre la talla de madurez, lo que permite asegurar un escape suficiente de la fracción adulta/reproductiva evitando de paso la sobrepesca por crecimiento (mantener tallas grandes) y reclutamiento (evita reducir la fracción parental y los reclutamientos). Los patrones de explotación/selectividad fueron del tipo logístico conforme lo recomendado por Minte-Vera (2021).

Los análisis igualmente mostraron que el reclutamiento es marcadamente estacional no obstante el modelo empleado esta vez no consideró este tipo de efectos fijos en el reclutamiento (Canales et al, 2018; Canales, 2020; Minte-Vera, 2021), siendo máximos durante el segundo semestre de cada año en anchoveta, y entre fines del segundo semestre e inicios del primero en arenque, confirmando de paso la estacionalidad en los procesos de reclutamientos de pequeños pelágicos (e.g. Canales et al, 2018; Gatto & Trexler., 2019).

La población de anchoveta se estimó tres veces mayor a la biomasa de arenque y las poblaciones de estos dos recursos se estiman variando oscilatoriamente por sobre la biomasa de referencia Brms (110 mil toneladas en anchoveta y 40 mil toneladas en arenque), lo cual se explica porque en ambos casos la mortalidad por pesca mostró importantes cambios estacionales, pero por debajo o en torno a la mortalidad por pesca de referencia Frms. Esto último explica de paso la presencia de peces grandes/longevos en los cruceros de verano como ya fue destacado. Con todo, se estima que el potencial reproductivo de anchoveta y arenque se encuentran en torno a 90% y 72% de la biomasa adulta que habría existido sin pesca, respectivamente. Cabe destacar que el Rendimiento Máximo Sostenido estimado para anchoveta es de 43 mil toneladas trimestrales y de 8 mil toneladas en arenque, las que respectivamente comparadas con las 22 mil y 8.5 mil toneladas promedio trimestrales de períodos con pesca, explicaría la condición poblacional de estos recursos. Como Puntos de Referencia se consideró un escape del 60% de la biomasa que habría existido sin pesca. D este modo y en ambos casos, los análisis indicaron que la condición poblacional estaría fuera de riesgos de sobrepesca y sobreexplotación, aspecto que fue igualmente confirmado en un análisis de sensibilidad en siete modelos/escenarios alternativos de evaluación. Si bien el modelo base mostró una tendencia a subestimar la biomasa (en un 0.8% para anchoveta y 13% en arenque) y sobreestimar la mortalidad por pesca (en un 0.9% para anchoveta y 8% en arenque), estos valores son considerados dentro de niveles de sesgo aceptables (Carvalho et al., 2021).

Sin perjuicio de lo anterior y como nota de relevante incertidumbre a estos resultados, un análisis de perfiles de verosimilitud mostró una notable inconsistencia de datos entre la señal entregada por los datos de la pesquería (composiciones de tallas de las capturas y CPUE) respecto de los datos de los cruceros, corroborando de paso lo indicado por Minte-Vera (2021). De hecho, al eliminar los datos acústicos, la situación poblacional de anchoveta y arenque empeoran de manera notable. En el caso de anchoveta se mantendría por sobre o muy cercana al objetivo de manejo, mientras que en arenque la población caería a una condición de sobre-pesca y sobre-explotación. Esto último debe ser explorado/analizado en mayor profundidad pues la falta de ajuste del modelo a estas piezas de información puede estar explicadas por el error de observación (antes mencionado) o procesos biológicos desconocidos y no considerados en el modelo (e.g. migraciones, estructura espacial heterogénea, otros). Del mismo modo, un análisis de sensibilidad respecto de las ponderaciones de datos debería igualmente ser abordado en futuras evaluaciones (e.g. Minte-Vera, 2021).

Sin perjuicio de este diagnóstico, se recomienda explorar análisis basados en una estructura poblacional espacialmente heterogénea. 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. Del mismo modo, se recomienda continuar el seguimiento acústico poniendo especial atención al período de análisis. Sin perjuicio de lo valioso de esta información para fines de evaluación, se debe considerar que la época no coincidiría con el mejor momento para medir la fuerza de la clase anual que ingresa (reclutamientos), particularmente en

anchoveta. De todas maneras, la señal de abundancia generada por este 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.

5. Referencias

Brochier, T. et al., 2018. Complex small pelagic fish population patterns arising from individual behavioral responses to their environment. *Prog Oceanogr*, vol. 164, pp. 12–27, May 2018, doi: 10.1016/j.pocean.2018.03.011.

Canales, C, M. Peralta y V. Jurado. 2014. Evaluación de la Población de Pinchagua (*Ophistonema* spp.) en aguas ecuatorianas. Boletín Especial Año 4 N°3, Instituto Nacional de Pesca del Ecuador INP, ISSN 1390-6690): 50 pp.

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).

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, 2020. Evaluación de los stocks de anchoveta (*Cetengraulis mysticetus*) y arenque (*Opisthonema sp.*) en el Golfo de Panamá. 48 pp.

Canales, C.M, G. Olea, V. Jurado, M. Espíndola. 2024. Management Strategies Evaluation (MSE) in a mixed and multi-specific fishery based on indicator species: An example of small pelagic fish in Ecuador. Marine Policy 162 (2024) 106044. doi.org/10.1016/j.marpol.2024.106044.

Carvalho, F., Winker, H., Courtney, D., Kapur, M., Kell, L.T., Cardinale, M., Schirripa, M., Kitakado, T., Yemane, D., Piner, K., Maunder, M., Taylor, I., Wetzel, C., Doering, K., Johnson, K.F. and Methot, R., A 2021. Cookbook for using model diagnostics in integrated stock assessments, Fisheries Research, ISSN 0165-7836, 240, 2021, p. 105959, JRC121483.

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

Dowling, N.A., Dichmont C.M., Haddon, M., Smith, D.C., Smith A.D.M., and. Sainsbury, K. 2015. Empirical harvest strategies for data-poor fisheries: A review of the literatura. *Fish Res*, vol. 171, pp. 141–153, 2015, doi: 10.1016/j.fishres.2014.11.005.

Gatto, J.V., Trexler, J.C. 2019. Seasonality of fish recruitment in a pulsed floodplain ecosystem: Estimation and hydrological controls. Environ Biol Fish 102, 595–613 (2019). https://doi.org/10.1007/s10641-019-00856-9.

Gavaris, S., Ianelli, J.N., 2002. Statistical issues in fisheries' stock assessments. Scand. J. Stat. 29 (2), 245–267.

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.

Minte-Vera, C.V, 2021. Revisión por pares de la evaluación de los stocks de anchoveta (Centengraulis mysticetus) y arenques de hebra (Opisthonema spp.) en el Golfo de Panamá 2021 (Informe no publicado. 34 pgs).

Promarina, 2023. I Campaña 2023- Prospección acústica para evaluar el crecimiento y la biomasa de pequeños pelágicos: anchoveta, arenque y orqueta en la Bahía de Panamá. Informe ejecutivo, 29 pp.

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.

Punt, A.E., Campbell, R.A, and. Smith, A.D.M. 2001. Evaluating empirical indicators and reference points for fisheries management: Application to the broadbill swordfish fishery off eastern Australia. *Mar Freshw Res*, vol. 52, no. 6, pp. 819–832, 2001, doi: 10.1071/MF00095.

Santos, M. 1992. Situación y Estimación de la Captura Total Permisible para 1992 de1 recurso Pinchagua (Opisthonema spp.).

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.

Tabash, F.A.; R. Víquez y J.A. Rodríguez. 1995. Stock assessment of the anchovy *Cetengraulis mysticetus* (Pisces: Engraulidae) in the inner part of the Gulf of Nicoya, Puntarenas, Costa Rica.

Naga, The ICLARM Quarterly. 46-48p.

Thorson, J. T., S. B. Munch, J. M. Cope, and J. Gao. 2017. Predicting life history parameters for all fishes worldwide. Ecological Applications. 27(8): 2262–2276. http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/eap.1606/full.

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.

Anexos

<u>Anexo 1</u>: Ecuaciones del modelo de evaluación MESTOCK.

Proceso	**Ecuación**
<u>Sobrevivencia</u> a es la edad y t es el trimestre A+= Edad grupo plus	$N_{a,t} = N_{a-1,,t-1} S_{a-1,,t-1}$ $N_{A+,t} = N_{A-1,,t-1} S_{A-1,,t-1} + N_{A,,t-1} S_{A,,t-1}$ $S_{a,t} = \exp(-Z_{a,t})$
<u>Mortalidad total</u> F_t es el efecto trimestral o mortalidad por pesca de completo reclutamiento. M es la mortalidad natural y ψ la selectividad	$Z_{a,t} = M + F_t \psi_a$
<u>Selectividad</u> Donde A50 es la edad al 50% de retención y σ el parámetro de dispersión.	$\psi_{a,t} = \begin{cases} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_1^2}(a - A50)^2\right] & a < A50 \\ \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_2^2}(a - A50)^2\right] & a \geq A50 \end{cases}$
<u>Población inicial</u>	$N_{a=1,t=1} = R_0$ $N_{a,t=1} = N_{a-1,t=1} e^{-Z_{a,t=1}}$ $N_{A,t=1} = N_{a=12,t=1} / (1 - e^{-Z_{a=12,t=1}})$
<u>Reclutamiento</u> $\delta \sim N(0, \sigma_R^2)$ (prior), σ_R=0. $lnR0 \sim$ U[-oo, +oo] BD: biomasa reproductiva, Ro reclutamiento virginal y BDo biomasa rep. virginal estimada a partir de Ro.	$N_{a=1,t} = \frac{\alpha\, BD_{t.-1}}{\beta + BD_{t.-1}} e^{-\delta_t}$ $\alpha = \frac{4hR_0}{5h-1}; \beta = \frac{(1-h)BD_0}{5h-1}$
<u>Capturas estimadas en edad y trimestre</u>	$\hat{C}_{a,t} = \frac{F_{a,t}}{Z_{a,t}} N_{a,t}(1 - S_{a,t})$
<u>Capturas estimadas por longitudes y trimestre</u>	$\hat{C}_{l,t} = P_{l,a} C_{a,t}$
<u>Probabilidad de la Longitud a la edad</u> Donde: l es la Longitud, L_{00} y k los parámetros de crecimiento (k tempporal), σ la desviación de la talla a la edad	$P_{l,a} = \int_{l1}^{l2} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma_a^2}(l - L_a)^2\right\} dl$ $L_a = L_{00}(1 - e^{-k}) + e^{-k} L_{a-1}$ $\sigma_a = a + b\, L_a$

<u>Desembarques en peso</u> w_l es el peso teórico a la Longitud supuesto invariante entre años	$\hat{Y}_t = \sum_l C_{l,t} w_l$
<u>Biomasa parental por trimestre</u> O_l corresponde a la ojiva de madurez sexual a la talla. *dt*=0.5	$BD_t = \sum_l P_{l,a}\left(N_{a,t}\right) w_l O_l e^{-dt Z_{t,a}}$
<u>Indices de abundancia (CPUE)</u> q es la capturabilidad y Δ=0.5	$\hat{I}_t = q \sum_l P_{l,a}\left(N_{a,t}\, \psi_a e^{-\Delta t Z_{a,t}}\right) w_l$
<u>Proporción de longitudes en la captura</u>	Capturas: $\hat{p}_{l,t} = \dfrac{P_{l,a}\hat{C}_{a,t}}{\sum_l P_{l,a}\hat{C}_{a,t}}$

Modelo de los errores y función objetivo

Función/fuente	**-log-verosimilitud**
<u>Índices de abundancia y desembarques</u> σ_I es la desviación estándar del índice o desembarques en escala logarítmica	$-l(I) = \dfrac{1}{2\sigma_I^2} \sum_t \left(\dfrac{\log \hat{I}_t}{\log I_t} \right)^2 + cte$
<u>Proporción de la captura por intervalo de longitud</u> corresponde a las capturas por longitud, y n^l es el tamaño de muestra efectivo empleado para las longitudes.	$-l(p) = n^l p_{l,t} \ln \hat{p}_{l,t}$
<u>Función objetivo</u> Estimación bayesiana: Corresponde al negativo de las sumas de log-verosimilitud marginales más el logaritmo de las priors (π).	$\sum l(x) + \sum \pi(\theta)$

Anexo 2: Coeficientes de modelo GLM

- **Arenque modelo 1**

Call:
glm(formula = log(CPUE) ~ year + zona + time, family = gaussian(link = "identity")

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-5.3208	-0.4756	0.1341	0.6297	2.4454

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)
(Intercept)	2.847117	0.047469	59.979	< 2e-16 ***
year1996	0.005994	0.055880	0.107	0.914580
year1997	0.057689	0.059027	0.977	0.328420
year1998	0.437576	0.055658	7.862	3.96e-15 ***
year1999	0.336410	0.057733	5.827	5.73e-09 ***
year2000	0.562273	0.079072	7.111	1.19e-12 ***
year2001	0.881188	0.062096	14.191	< 2e-16 ***
year2002	0.597222	0.054353	10.988	< 2e-16 ***
year2003	0.361385	0.053754	6.723	1.83e-11 ***
year2004	0.122200	0.055114	2.217	0.026618 *
year2005	-0.022834	0.056663	-0.403	0.686971
year2006	0.331251	0.055692	5.948	2.76e-09 ***
year2007	0.482956	0.058923	8.196	2.62e-16 ***
year2008	0.516071	0.053854	9.583	< 2e-16 ***
year2009	0.654883	0.056519	11.587	< 2e-16 ***
year2010	0.270240	0.051742	5.223	1.78e-07 ***
year2011	0.084001	0.053074	1.583	0.113498
year2012	0.319685	0.055463	5.764	8.33e-09 ***
year2013	0.693212	0.056517	12.266	< 2e-16 ***
year2014	0.409469	0.055678	7.354	1.99e-13 ***
year2015	0.327973	0.052138	6.290	3.23e-10 ***
year2016	0.692523	0.054245	12.767	< 2e-16 ***
year2017	0.310379	0.052046	5.964	2.51e-09 ***
year2018	0.309384	0.055501	5.574	2.51e-08 ***
year2019	0.787151	0.062971	12.500	< 2e-16 ***
year2020	0.476505	0.057666	8.263	< 2e-16 ***
year2021	0.212264	0.057082	3.719	0.000201 ***
year2022	0.318731	0.066368	4.802	1.58e-06 ***
year2023	0.814224	0.056203	14.487	< 2e-16 ***
zona2	0.262272	0.036429	7.199	6.25e-13 ***
zona3	0.437236	0.023808	18.365	< 2e-16 ***
zona4	0.801265	0.018807	42.603	< 2e-16 ***
zona5	0.330226	0.025980	12.711	< 2e-16 ***
time3	-0.314476	0.017249	-18.231	< 2e-16 ***
time4	-0.498939	0.022091	-22.585	< 2e-16 ***

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

(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 0.8059032)

Null deviance: 19993 on 21324 degrees of freedom
Residual deviance: 17158 on 21290 degrees of freedom
AIC: 55953
Number of Fisher Scoring iterations: 2

- **Arenque modelo 2**

```
Call:
glm(formula = CPUE ~ year + zona + time, family = gaussian(link = "log")

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-70.504  -16.214   -4.804   12.007  209.460

Coefficients:

              Estimate  Std. Error  t value    Pr(>|t|)

(Intercept)   3.27979   0.04386    74.777    < 2e-16 ***
year1996     -0.14685   0.05656    -2.597    0.00942 **
year1997     -0.02235   0.05764    -0.388    0.69826
year1998      0.26906   0.04973     5.410    6.36e-08 ***
year1999      0.10939   0.05213     2.098    0.03589 *
year2000      0.27448   0.06093     4.505    6.68e-06 ***
year2001      0.63195   0.04966    12.727    < 2e-16 ***
year2002      0.35461   0.04816     7.363    1.87e-13 ***
year2003      0.21382   0.04892     4.371    1.24e-05 ***
year2004     -0.01222   0.05231    -0.234    0.81523
year2005     -0.22706   0.05745    -3.952    7.76e-05 ***
year2006      0.11365   0.05044     2.253    0.02427 *
year2007      0.21067   0.05239     4.021    5.81e-05 ***
year2008      0.26926   0.04696     5.734    9.94e-09 ***
year2009      0.39791   0.04786     8.313    < 2e-16 ***
year2010      0.12732   0.04770     2.669    0.00761 **
year2011     -0.05836   0.05020    -1.163    0.24500
year2012      0.19986   0.04970     4.021    5.82e-05 ***
year2013      0.54101   0.04739    11.416    < 2e-16 ***
year2014      0.36740   0.04913     7.478    7.82e-14 ***
year2015      0.23262   0.04739     4.909    9.23e-07 ***
year2016      0.54728   0.04701    11.641    < 2e-16 ***
year2017      0.21399   0.04809     4.450    8.65e-06 ***
year2018      0.29441   0.04887     6.025    1.72e-09 ***
year2019      0.61840   0.04974    12.433    < 2e-16 ***
year2020      0.39848   0.04844     8.226    < 2e-16 ***
year2021      0.15911   0.05009     3.176    0.00149 **
year2022      0.34331   0.05083     6.754    1.48e-11 ***
year2023      0.62477   0.04637    13.472    < 2e-16 ***
zona2         0.26187   0.02497    10.486    < 2e-16 ***
zona3         0.37188   0.01608    23.127    < 2e-16 ***
zona4         0.61247   0.01176    52.088    < 2e-16 ***
zona5         0.26142   0.01932    13.534    < 2e-16 ***
time3        -0.23754   0.01262   -18.822    < 2e-16 ***
time4        -0.37493   0.01769   -21.194    < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 536.98)

Null deviance:       13726472  on 21324  degrees of freedom
Residual deviance: 11432218  on 21290  degrees of freedom
AIC: 194603
Number of Fisher Scoring iterations: 6
```

- **Arenque modelo 3**

```
Call:
glm(formula = CPUE ~ year + zona + time, family = Gamma(link = "inverse")

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-3.0554  -0.7155  -0.1721   0.3435   3.3185

Coefficients:
              Estimate  Std. Error  t value  Pr(>|t|)
(Intercept)  0.0392530  0.0014444  27.176  < 2e-16 ***
year1996     0.0043895  0.0018366   2.390  0.016855 *
year1997     0.0001568  0.0018844   0.083  0.933677
year1998    -0.0098848  0.0016241  -6.086  1.18e-09 ***
year1999    -0.0060318  0.0016818  -3.587  0.000336 ***
year2000    -0.0096779  0.0019186  -5.044  4.59e-07 ***
year2001    -0.0196933  0.0016077 -12.249  < 2e-16 ***
year2002    -0.0128757  0.0015650  -8.227  < 2e-16 ***
year2003    -0.0081169  0.0016027  -5.064  4.13e-07 ***
year2004    -0.0003691  0.0017180  -0.215  0.829908
year2005     0.0061839  0.0018616   3.322  0.000896 ***
year2006    -0.0057862  0.0016457  -3.516  0.000439 ***
year2007    -0.0094928  0.0016835  -5.639  1.73e-08 ***
year2008    -0.0101754  0.0015344  -6.631  3.41e-11 ***
year2009    -0.0139923  0.0015538  -9.005  < 2e-16 ***
year2010    -0.0054314  0.0015656  -3.469  0.000523 ***
year2011     0.0002598  0.0016412   0.158  0.874230
year2012    -0.0078329  0.0016259  -4.818  1.46e-06 ***
year2013    -0.0167895  0.0015422 -10.887  < 2e-16 ***
year2014    -0.0128424  0.0015990  -8.031  1.01e-15 ***
year2015    -0.0082220  0.0015576  -5.279  1.31e-07 ***
year2016    -0.0179741  0.0015304 -11.745  < 2e-16 ***
year2017    -0.0080821  0.0015751  -5.131  2.91e-07 ***
year2018    -0.0095788  0.0016068  -5.961  2.54e-09 ***
year2019    -0.0190447  0.0016001 -11.902  < 2e-16 ***
year2020    -0.0123832  0.0015930  -7.773  7.99e-15 ***
year2021    -0.0057868  0.0016471  -3.513  0.000443 ***
year2022    -0.0101805  0.0016769  -6.071  1.29e-09 ***
year2023    -0.0186014  0.0015107 -12.313  < 2e-16 ***
zona2       -0.0072968  0.0007965  -9.161  < 2e-16 ***
zona3       -0.0105430  0.0005031 -20.957  < 2e-16 ***
zona4       -0.0167947  0.0003620 -46.400  < 2e-16 ***
zona5       -0.0082392  0.0006077 -13.558  < 2e-16 ***
time3        0.0070634  0.0003905  18.087  < 2e-16 ***
time4        0.0117365  0.0005576  21.046  < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

(Dispersion parameter for Gamma family taken to be 0.537902)

Null deviance:      15600  on 21324  degrees of freedom
Residual deviance: 13625  on 21290  degrees of freedom
AIC: 185983
Number of Fisher Scoring iterations: 6
```

- **Arenque modelo 4**

```
Call:
glm(formula = CPUE ~ year + zona + time, family = Gamma(link = "log")

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median     3Q    Max
-3.0564  -0.7070  -0.1662  0.3380  3.2497

Coefficients:

              Estimate  Std. Error  t value  Pr(>|t|)

(Intercept)   3.21995   0.03879    83.020   < 2e-16 ***
year1996     -0.04652   0.04566    -1.019   0.308320
year1997      0.03664   0.04823     0.760   0.447472
year1998      0.34229   0.04548     7.527   5.41e-14 ***
year1999      0.24727   0.04717     5.242   1.60e-07 ***
year2000      0.40855   0.06461     6.324   2.61e-10 ***
year2001      0.70938   0.05074    13.982   < 2e-16 ***
year2002      0.46826   0.04441    10.544   < 2e-16 ***
year2003      0.27862   0.04392     6.344   2.29e-10 ***
year2004      0.03124   0.04503     0.694   0.487838
year2005     -0.11029   0.04630    -2.382   0.017215 *
year2006      0.20766   0.04550     4.563   5.06e-06 ***
year2007      0.37659   0.04814     7.822   5.44e-15 ***
year2008      0.36930   0.04400     8.393   < 2e-16 ***
year2009      0.54397   0.04618    11.779   < 2e-16 ***
year2010      0.18687   0.04228     4.420   9.92e-06 ***
year2011      0.03452   0.04336     0.796   0.425963
year2012      0.26642   0.04532     5.879   4.19e-09 ***
year2013      0.61692   0.04618    13.360   < 2e-16 ***
year2014      0.45919   0.04549    10.094   < 2e-16 ***
year2015      0.27726   0.04260     6.508   7.77e-11 ***
year2016      0.64680   0.04432    14.593   < 2e-16 ***
year2017      0.28356   0.04253     6.668   2.66e-11 ***
year2018      0.30655   0.04535     6.760   1.42e-11 ***
year2019      0.74220   0.05145    14.425   < 2e-16 ***
year2020      0.40368   0.04712     8.568   < 2e-16 ***
year2021      0.18097   0.04664     3.880   0.000105 ***
year2022      0.28670   0.05423     5.287   1.26e-07 ***
year2023      0.72540   0.04592    15.797   < 2e-16 ***
zona2         0.23090   0.02977     7.757   9.06e-15 ***
zona3         0.37442   0.01945    19.247   < 2e-16 ***
zona4         0.65268   0.01537    42.472   < 2e-16 ***
zona5         0.27540   0.02123    12.974   < 2e-16 ***
time3        -0.26493   0.01409   -18.798   < 2e-16 ***
time4        -0.43297   0.01805   -23.987   < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

(Dispersion parameter for Gamma family taken to be 0.5380251)

Null deviance:      15600  on 21324  degrees of freedom
Residual deviance: 13502  on 21290  degrees of freedom
AIC: 185770
Number of Fisher Scoring iterations: 6
```

- **Arenque modelo 5**

Call:
glm(formula = CPUE ~ year * time + zona, family = gaussian(link = "log")
Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-69.891	-16.033	-4.684	11.793	207.172

Coefficients: (2 not defined because of singularities)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)
(Intercept)	3.382438	0.063916	52.920	< 2e-16 ***
year1996	-0.231990	0.084332	-2.751	0.005948 **
year1997	-0.137643	0.100566	-1.369	0.171116
year1998	0.317866	0.077248	4.115	3.89e-05 ***
year1999	-0.196226	0.081885	-2.396	0.016568 *
year2000	0.080095	0.092883	0.862	0.388516
year2001	0.713559	0.088142	8.096	6.00e-16 ***
year2002	0.108317	0.095014	1.140	0.254296
year2003	0.182329	0.084965	2.146	0.031890 *
year2004	-0.045354	0.079134	-0.573	0.566567
year2005	-0.210906	0.101823	-2.071	0.038343 *
year2006	0.122374	0.121995	1.003	0.315823
year2007	-0.254850	0.101316	-2.515	0.011897 *
year2008	-0.043894	0.081608	-0.538	0.590679
year2009	-0.041357	0.100115	-0.413	0.679539
year2010	-0.016795	0.071465	-0.235	0.814202
year2011	-0.297097	0.078632	-3.778	0.000158 ***
year2012	0.194450	0.093168	2.087	0.036893 *
year2013	0.524339	0.075517	6.943	3.94e-12 ***
year2014	0.514545	0.081652	6.302	3.00e-10 ***
year2015	0.076857	0.081366	0.945	0.344883
year2016	0.515171	0.075544	6.819	9.38e-12 ***
year2017	0.315839	0.073267	4.311	1.63e-05 ***
year2018	0.392800	0.076845	5.112	3.22e-07 ***
year2019	1.206602	0.176965	6.818	9.46e-12 ***
year2020	0.619406	0.084039	7.370	1.76e-13 ***
year2021	-0.012062	0.080097	-0.151	0.880300
year2022	0.171632	0.086781	1.978	0.047970 *
year2023	0.561824	0.144807	3.880	0.000105 ***
time3	-0.402169	0.083842	-4.797	1.62e-06 ***
time4	-0.375315	0.140887	-2.664	0.007729 **
zona2	0.277134	0.024741	11.201	< 2e-16 ***
zona3	0.381985	0.016159	23.638	< 2e-16 ***
zona4	0.611120	0.012050	50.715	< 2e-16 ***
zona5	0.251041	0.019321	12.993	< 2e-16 ***
year1996:time3	0.067609	0.117674	0.575	0.565605
year1997:time3	0.173239	0.124498	1.391	0.164089
year1998:time3	-0.046713	0.100329	-0.466	0.641505
year1999:time3	0.541481	0.105326	5.141	2.76e-07 ***
year2000:time3	0.330850	0.122492	2.701	0.006919 **
year2001:time3	-0.030678	0.107505	-0.285	0.775367
year2002:time3	0.332747	0.113338	2.936	0.003330 **
year2003:time3	0.094294	0.105401	0.895	0.370998
year2004:time3	0.048664	0.105756	0.460	0.645408
year2005:time3	0.005541	0.124210	0.045	0.964416

```
                    Estimate   Std. Error  t value   Pr(>|t|)

year2006:time3  0.043484   0.136913   0.318   0.750790
year2007:time3  0.612268   0.121211   5.051   4.43e-07 ***
year2008:time3  0.440143   0.100911   4.362   1.30e-05 ***
year2009:time3  0.516864   0.117317   4.406   1.06e-05 ***
year2010:time3  0.217012   0.095955   2.262   0.023732 *
year2011:time3  0.442119   0.100976   4.378   1.20e-05 ***
year2012:time3  0.080051   0.111990   0.715   0.474736
year2013:time3  0.066835   0.097131   0.688   0.491400
year2014:time3 -0.139439   0.103060  -1.353   0.176072
year2015:time3  0.241678   0.100968   2.394   0.016692 *
year2016:time3  0.105246   0.096065   1.096   0.273280
year2017:time3 -0.126064   0.096205  -1.310   0.190089
year2018:time3 -0.094089   0.099233  -0.948   0.343057
year2019:time3 -0.607998   0.187826  -3.237   0.001210 **
year2020:time3 -0.182489   0.103928  -1.756   0.079118 .
year2021:time3  0.267225   0.102403   2.610   0.009073 **
year2022:time3  0.245768   0.107263   2.291   0.021958 *
year2023:time3  0.117757   0.156063   0.755   0.450530
year1996:time4  0.191711   0.176207   1.088   0.276614
year1997:time4  0.040284   0.201905   0.200   0.841860
year1998:time4       NA         NA      NA         NA
year1999:time4  0.320812   0.256607   1.250   0.211237
year2000:time4  0.292418   0.282825   1.034   0.301186
year2001:time4 -1.506205   0.665400  -2.264   0.023608 *
year2002:time4  0.156631   0.162436   0.964   0.334925
year2003:time4 -0.128696   0.162314  -0.793   0.427853
year2004:time4 -0.066330   0.178141  -0.372   0.709640
year2005:time4  0.128377   0.232436   0.552   0.580741
year2006:time4 -0.115448   0.192857  -0.599   0.549432
year2007:time4  0.640556   0.174697   3.667   0.000246 ***
year2008:time4  0.177604   0.159373   1.114   0.265124
year2009:time4  0.459571   0.165471   2.777   0.005485 **
year2010:time4  0.128931   0.154023   0.837   0.402551
year2011:time4 -0.214729   0.195493  -1.098   0.272041
year2012:time4 -0.234627   0.172811  -1.358   0.174570
year2013:time4 -0.218578   0.164250  -1.331   0.183280
year2014:time4 -0.262801   0.160504  -1.637   0.101573
year2015:time4 -0.042946   0.166705  -0.258   0.796707
year2016:time4 -0.209393   0.156388  -1.339   0.180606
year2017:time4 -0.230420   0.160423  -1.436   0.150925
year2018:time4 -0.262490   0.164978  -1.591   0.111611
year2019:time4 -0.510759   0.220930  -2.312   0.020795 *
year2020:time4 -0.465558   0.170104  -2.737   0.006207 **
year2021:time4  0.082815   0.173939   0.476   0.633998
year2022:time4  0.387841   0.209730   1.849   0.064438 .
year2023:time4       NA         NA      NA         NA
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 527.3403)

Null deviance:       13726472  on 21324  degrees of freedom
Residual deviance: 11198468  on 21236  degrees of freedom
AIC: 194270

Number of Fisher Scoring iterations: 6
```

- **Arenque modelo 6**

```
Call:
glm(formula = CPUE ~ zona + time2_, family = gaussian(link = "log")
Deviance Residuals:
    Min       1Q     Median       3Q      Max
-69.891   -16.033   -4.684   11.793   207.172

Coefficients:

              Estimate   Std. Error  t value     Pr(>|t|)

(Intercept)   3.382438   0.063916    52.920    < 2e-16 ***
zona2         0.277134   0.024741    11.201    < 2e-16 ***
zona3         0.381985   0.016159    23.638    < 2e-16 ***
zona4         0.611120   0.012050    50.715    < 2e-16 ***
zona5         0.251041   0.019321    12.993    < 2e-16 ***
time2_3      -0.402169   0.083842    -4.797    1.62e-06 ***
time2_5      -0.231990   0.084332    -2.751    0.005948 **
time2_6      -0.566549   0.088010    -6.437    1.24e-10 ***
time2_7      -0.415594   0.109007    -3.813    0.000138 ***
time2_9      -0.137643   0.100566    -1.369    0.171116
time2_10     -0.366572   0.079734    -4.597    4.30e-06 ***
time2_11     -0.472674   0.137378    -3.441    0.000581 ***
time2_13      0.317866   0.077248     4.115    3.89e-05 ***
time2_14     -0.131016   0.071229    -1.839    0.065878 .
time2_15     -0.196226   0.081885    -2.396    0.016568 *
time2_16     -0.056913   0.073366    -0.776    0.437910
time2_17     -0.250729   0.217853    -1.151    0.249783
time2_19      0.080095   0.092883     0.862    0.388516
time2_20      0.008777   0.085851     0.102    0.918572
time2_21     -0.002802   0.244334    -0.011    0.990851
time2_22      0.713559   0.088142     8.096    6.00e-16 ***
time2_23      0.280712   0.069444     4.042    5.31e-05 ***
time2_24     -1.167962   0.650684    -1.795    0.072672 .
time2_25      0.108317   0.095014     1.140    0.254296
time2_26      0.038895   0.069784     0.557    0.577283
time2_27     -0.110367   0.075507    -1.462    0.143842
time2_28      0.182329   0.084965     2.146    0.031890 *
time2_29     -0.125546   0.070335    -1.785    0.074280 .
time2_30     -0.321683   0.085786    -3.750    0.000177 ***
time2_31     -0.045354   0.079134    -0.573    0.566567
time2_32     -0.398858   0.077067    -5.175    2.29e-07 ***
time2_33     -0.486999   0.116504    -4.180    2.93e-05 ***
time2_34     -0.210906   0.101823    -2.071    0.038343 *
time2_35     -0.607534   0.078082    -7.781    7.54e-15 ***
time2_36     -0.457845   0.178486    -2.565    0.010320 *
time2_37      0.122374   0.121995     1.003    0.315823
time2_38     -0.236311   0.070132    -3.370    0.000754 ***
time2_39     -0.368390   0.102790    -3.584    0.000339 ***
time2_40     -0.254850   0.101316    -2.515    0.011897 *
time2_41     -0.044751   0.073557    -0.608    0.542943
time2_42      0.010390   0.091372     0.114    0.909465
time2_43     -0.043894   0.081608    -0.538    0.590679
time2_44     -0.005920   0.067666    -0.087    0.930289
time2_45     -0.241605   0.084252    -2.868    0.004139 **
```

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)
time2_46	-0.041357	0.100115	-0.413	0.679539
time2_47	0.073338	0.069132	1.061	0.288775
time2_48	0.042899	0.074846	0.573	0.566540
time2_49	-0.016795	0.071465	-0.235	0.814202
time2_50	-0.201952	0.071798	-2.813	0.004916 **
time2_51	-0.263179	0.082875	-3.176	0.001497 **
time2_52	-0.297097	0.078632	-3.778	0.000158 ***
time2_53	-0.257146	0.071522	-3.595	0.000325 ***
time2_54	-0.887142	0.142297	-6.234	4.62e-10 ***
time2_55	0.194450	0.093168	2.087	0.036893 *
time2_56	-0.127667	0.070232	-1.818	0.069110 .
time2_57	-0.415492	0.096768	-4.294	1.77e-05 ***
time2_58	0.524339	0.075517	6.943	3.94e-12 ***
time2_59	0.189006	0.068686	2.752	0.005933 **
time2_60	-0.069555	0.097769	-0.711	0.476835
time2_61	0.514545	0.081652	6.302	3.00e-10 ***
time2_62	-0.027062	0.070789	-0.382	0.702244
time2_63	-0.123571	0.086197	-1.434	0.151705
time2_64	0.076857	0.081366	0.945	0.344883
time2_65	-0.083634	0.068012	-1.230	0.218822
time2_66	-0.341404	0.097337	-3.507	0.000453 ***
time2_67	0.515171	0.075544	6.819	9.38e-12 ***
time2_68	0.218248	0.068131	3.203	0.001360 **
time2_69	-0.069538	0.083947	-0.828	0.407475
time2_70	0.315839	0.073267	4.311	1.63e-05 ***
time2_71	-0.212393	0.070487	-3.013	0.002588 **
time2_72	-0.289896	0.092822	-3.123	0.001792 **
time2_73	0.392800	0.076845	5.112	3.22e-07 ***
time2_74	-0.103457	0.070727	-1.463	0.143545
time2_75	-0.245006	0.097885	-2.503	0.012322 *
time2_76	1.206602	0.176965	6.818	9.46e-12 ***
time2_77	0.196436	0.071247	2.757	0.005836 **
time2_78	0.320528	0.075579	4.241	2.23e-05 ***
time2_80	0.619406	0.084039	7.370	1.76e-13 ***
time2_81	0.034748	0.069005	0.504	0.614579
time2_82	-0.221467	0.100652	-2.200	0.027795 *
time2_83	-0.012062	0.080097	-0.151	0.880300
time2_84	-0.147005	0.071801	-2.047	0.040631 *
time2_85	-0.304562	0.110466	-2.757	0.005837 **
time2_86	0.171632	0.086781	1.978	0.047970 *
time2_87	0.015230	0.071216	0.214	0.830656
time2_88	0.184157	0.157587	1.169	0.242576
time2_89	0.561824	0.144807	3.880	0.000105 ***
time2_90	0.277412	0.066607	4.165	3.13e-05 ***
time2_91	0.186508	0.082696	2.255	0.024121 *

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

(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 527.3403)

Null deviance: 13726472 on 21324 degrees of freedom
Residual deviance: 11198468 on 21236 degrees of freedom
AIC: 194270

Number of Fisher Scoring iterations: 6

- **Anchoveta modelo 1**

```
Call:
glm(formula = log(CPUE) ~ year + zona + time, family = gaussian(link = "identity")

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-5.8342  -0.3457   0.1531   0.4941   1.8066

Coefficients:

              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   3.44842    0.02431 141.855  < 2e-16 ***
year1996     -0.16602    0.03776  -4.396 1.11e-05 ***
year1997     -0.03983    0.03518  -1.132 0.257667
year1998      0.24422    0.03395   7.194 6.49e-13 ***
year1999     -0.26567    0.04495  -5.910 3.48e-09 ***
year2000      0.40178    0.03838  10.468  < 2e-16 ***
year2001      0.62208    0.03441  18.079  < 2e-16 ***
year2002      0.59896    0.03740  16.015  < 2e-16 ***
year2003      0.39725    0.03941  10.081  < 2e-16 ***
year2004      0.09755    0.04351   2.242 0.024971 *
year2005      0.03270    0.03952   0.827 0.408025
year2006      0.36523    0.03579  10.206  < 2e-16 ***
year2007      0.43618    0.03412  12.782  < 2e-16 ***
year2008      0.45469    0.03610  12.595  < 2e-16 ***
year2009      0.51417    0.03407  15.090  < 2e-16 ***
year2010     -0.07841    0.04162  -1.884 0.059593 .
year2011      0.04954    0.03842   1.289 0.197263
year2012      0.40580    0.03823  10.614  < 2e-16 ***
year2013      0.51820    0.03563  14.545  < 2e-16 ***
year2014      0.47000    0.03692  12.729  < 2e-16 ***
year2015      0.15261    0.04013   3.802 0.000144 ***
year2016      0.47092    0.03585  13.134  < 2e-16 ***
year2017      0.25016    0.03995   6.262 3.87e-10 ***
year2018      0.37000    0.03717   9.954  < 2e-16 ***
year2019      0.88194    0.03182  27.720  < 2e-16 ***
year2020      0.52885    0.03786  13.967  < 2e-16 ***
year2021      0.16640    0.03976   4.185 2.86e-05 ***
year2022      0.02048    0.03675   0.557 0.577327
year2023      0.14738    0.03435   4.291 1.79e-05 ***
zona2         0.36938    0.01356  27.233  < 2e-16 ***
zona3         0.42624    0.01318  32.340  < 2e-16 ***
zona4         0.62901    0.02584  24.342  < 2e-16 ***
zona5         0.22453    0.03490   6.434 1.27e-10 ***
time3        -0.53961    0.01525 -35.382  < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 0.5386936)

Null deviance:      13494  on 20517  degrees of freedom
Residual deviance: 11035  on 20484  degrees of freedom
AIC: 45571

Number of Fisher Scoring iterations: 2
```

- **Anchoveta modelo 2**

```
Call:
glm(formula = CPUE ~ year + zona + time, family = gaussian(link = "log")

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-108.147  -24.734   -1.453   22.866  221.343

Coefficients:

            Estimate  Std. Error  t value  Pr(>|t|)

(Intercept)  3.749460  0.022425  167.199  < 2e-16 ***
year1996    -0.139563  0.036401   -3.834  0.000126 ***
year1997    -0.047586  0.032583   -1.460  0.144182
year1998     0.175164  0.028193    6.213  5.29e-10 ***
year1999    -0.237311  0.048211   -4.922  8.62e-07 ***
year2000     0.316383  0.029320   10.791  < 2e-16 ***
year2001     0.465008  0.026386   17.624  < 2e-16 ***
year2002     0.416355  0.028713   14.501  < 2e-16 ***
year2003     0.331570  0.030062   11.029  < 2e-16 ***
year2004     0.115199  0.036064    3.194  0.001404 **
year2005     0.038957  0.034861    1.118  0.263788
year2006     0.261873  0.029089    9.003  < 2e-16 ***
year2007     0.344798  0.027308   12.626  < 2e-16 ***
year2008     0.354072  0.028116   12.593  < 2e-16 ***
year2009     0.403956  0.026505   15.241  < 2e-16 ***
year2010    -0.018679  0.038208   -0.489  0.624944
year2011     0.063100  0.033368    1.891  0.058631 .
year2012     0.336965  0.029358   11.478  < 2e-16 ***
year2013     0.405661  0.027528   14.736  < 2e-16 ***
year2014     0.372889  0.028545   13.063  < 2e-16 ***
year2015     0.146176  0.033244    4.397  1.10e-05 ***
year2016     0.379431  0.027580   13.758  < 2e-16 ***
year2017     0.267027  0.032102    8.318  < 2e-16 ***
year2018     0.333909  0.028999   11.515  < 2e-16 ***
year2019     0.695673  0.024348   28.572  < 2e-16 ***
year2020     0.464728  0.027967   16.617  < 2e-16 ***
year2021     0.251045  0.030861    8.135  4.37e-16 ***
year2022     0.186864  0.029283    6.381  1.79e-10 ***
year2023     0.266906  0.026864    9.935  < 2e-16 ***
zona2        0.223354  0.009096   24.556  < 2e-16 ***
zona3        0.279122  0.008601   32.450  < 2e-16 ***
zona4        0.432498  0.015453   27.987  < 2e-16 ***
zona5        0.105087  0.026857    3.913  9.15e-05 ***
time3       -0.321726  0.011227  -28.655  < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 996.0849)

Null deviance:      25273777  on 20517  degrees of freedom
Residual deviance: 20403903  on 20484  degrees of freedom
AIC: 199916
Number of Fisher Scoring iterations: 6
```

- **Anchoveta modelo 3**

```
Call:
glm(formula = CPUE ~ year + zona + time, family = Gamma(link = "inverse")

Deviance Residuals:
   Min       1Q       Median     3Q      Max
-3.1863   -0.5036   -0.0277   0.3321   1.9382

Coefficients:

                Estimate      Std. Error       t value     Pr(>|t|)

(Intercept)   0.0232874     0.0003879     60.037     < 2e-16 ***
year1996      0.0025582     0.0006278      4.075      4.62e-05 ***
year1997      0.0006911     0.0005632      1.227      0.21976
year1998     -0.0037043     0.0004864     -7.616      2.73e-14 ***
year1999      0.0049873     0.0008253      6.043     1.54e-09 ***
year2000     -0.0060049     0.0005045    -11.904     < 2e-16 ***
year2001     -0.0082804     0.0004535    -18.258     < 2e-16 ***
year2002     -0.0077100     0.0004914    -15.690     < 2e-16 ***
year2003     -0.0063048     0.0005155    -12.232     < 2e-16 ***
year2004     -0.0027056     0.0006191     -4.370     1.25e-05 ***
year2005     -0.0013169     0.0005966     -2.207     0.02729 *
year2006     -0.0052526     0.0004986    -10.535     < 2e-16 ***
year2007     -0.0065814     0.0004697    -14.011     < 2e-16 ***
year2008     -0.0066101     0.0004831    -13.683     < 2e-16 ***
year2009     -0.0072900     0.0004566    -15.965     < 2e-16 ***
year2010      0.0001030     0.0006590      0.156     0.87583
year2011     -0.0017788     0.0005731     -3.104     0.00191 **
year2012     -0.0064069     0.0005032    -12.733     < 2e-16 ***
year2013     -0.0074888     0.0004728    -15.838     < 2e-16 ***
year2014     -0.0069100     0.0004911    -14.070     < 2e-16 ***
year2015     -0.0033270     0.0005699     -5.838     5.36e-09 ***
year2016     -0.0070453     0.0004739    -14.866     < 2e-16 ***
year2017     -0.0053108     0.0005515     -9.629     < 2e-16 ***
year2018     -0.0060453     0.0005024    -12.034     < 2e-16 ***
year2019     -0.0110929     0.0004191    -26.466     < 2e-16 ***
year2020     -0.0080480     0.0004828    -16.669     < 2e-16 ***
year2021     -0.0045475     0.0005381     -8.451     < 2e-16 ***
year2022     -0.0032857     0.0005129     -6.407     1.52e-10 ***
year2023     -0.0048807     0.0004658    -10.477     < 2e-16 ***
zona2        -0.0036661     0.0001549    -23.670     < 2e-16 ***
zona3        -0.0044454     0.0001464    -30.372     < 2e-16 ***
zona4        -0.0068968     0.0002606    -26.469     < 2e-16 ***
zona5        -0.0019281     0.0004549     -4.238     2.26e-05 ***
time3         0.0058035     0.0001965     29.540     < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

(Dispersion parameter for Gamma family taken to be 0.2904797)

Null deviance:       9719.2  on 20517  degrees of freedom
Residual deviance: 8431.0  on 20484  degrees of freedom
AIC: 201415
Number of Fisher Scoring iterations: 5
```

- **Anchoveta modelo 4**

```
Call:
glm(formula = CPUE ~ year + zona + time, family = Gamma(link = "log")

Deviance Residuals:
   Min       1Q     Median     3Q     Max
-3.1821   -0.5031   -0.0271   0.3173  1.9771

Coefficients:

                Estimate     Std. Error   t value      Pr(>|t|)

(Intercept)    3.720756     0.017892   207.960    < 2e-16 ***
year1996      -0.127591     0.027794    -4.591    4.45e-06 ***
year1997      -0.038660     0.025896    -1.493    0.135476
year1998       0.187139     0.024985     7.490    7.16e-14 ***
year1999      -0.210816     0.033086    -6.372    1.91e-10 ***
year2000       0.338283     0.028249    11.975    < 2e-16 ***
year2001       0.516827     0.025326    20.407    < 2e-16 ***
year2002       0.466110     0.027526    16.934    < 2e-16 ***
year2003       0.363437     0.029004    12.531    < 2e-16 ***
year2004       0.135123     0.032024     4.219    2.46e-05 ***
year2005       0.074862     0.029085     2.574    0.010062 *
year2006       0.312071     0.026338    11.849    < 2e-16 ***
year2007       0.389155     0.025115    15.495    < 2e-16 ***
year2008       0.389833     0.026569    14.672    < 2e-16 ***
year2009       0.442262     0.025078    17.635    < 2e-16 ***
year2010      -0.010425     0.030632    -0.340    0.733609
year2011       0.095397     0.028277     3.374    0.000743 ***
year2012       0.373534     0.028138    13.275    < 2e-16 ***
year2013       0.456711     0.026223    17.417    < 2e-16 ***
year2014       0.404216     0.027176    14.874    < 2e-16 ***
year2015       0.185604     0.029539     6.283    3.38e-10 ***
year2016       0.424753     0.026389    16.096    < 2e-16 ***
year2017       0.301795     0.029402    10.264    < 2e-16 ***
year2018       0.327320     0.027359    11.964    < 2e-16 ***
year2019       0.749125     0.023416    31.992    < 2e-16 ***
year2020       0.479980     0.027867    17.224    < 2e-16 ***
year2021       0.209220     0.029260     7.150    8.95e-13 ***
year2022       0.112991     0.027046     4.178    2.96e-05 ***
year2023       0.242634     0.025280     9.598    < 2e-16 ***
zona2          0.249450     0.009983    24.988    < 2e-16 ***
zona3          0.310344     0.009701    31.992    < 2e-16 ***
zona4          0.487734     0.019018    25.645    < 2e-16 ***
zona5          0.163065     0.025683     6.349    2.21e-10 ***
time3         -0.431194     0.011225   -38.415    < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for Gamma family taken to be 0.2918063)

Null deviance:       9719.2  on 20517  degrees of freedom
Residual deviance: 8326.7  on 20484  degrees of freedom
AIC: 201142
Number of Fisher Scoring iterations: 6
```

- **Anchoveta modelo 5**

Call:
glm(formula = CPUE ~ year * time + zona, family = gaussian(link = "log")

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-101.151	-24.037	-1.184	22.512	209.026

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)
(Intercept)	3.769304	0.022374	168.470	< 2e-16 ***
year1996	-0.143955	0.036304	-3.965	7.36e-05 ***
year1997	-0.060917	0.032799	-1.857	0.063282 .
year1998	0.155977	0.028138	5.543	3.00e-08 ***
year1999	-0.255257	0.047938	-5.325	1.02e-07 ***
year2000	0.304676	0.029448	10.346	< 2e-16 ***
year2001	0.433911	0.026881	16.142	< 2e-16 ***
year2002	0.406227	0.028907	14.053	< 2e-16 ***
year2003	0.325194	0.030002	10.839	< 2e-16 ***
year2004	0.102819	0.035975	2.858	0.004266 **
year2005	0.032690	0.034837	0.938	0.348063
year2006	0.278037	0.029359	9.470	< 2e-16 ***
year2007	0.359197	0.028239	12.720	< 2e-16 ***
year2008	0.382304	0.028306	13.506	< 2e-16 ***
year2009	0.395449	0.027093	14.596	< 2e-16 ***
year2010	-0.012856	0.037971	-0.339	0.734931
year2011	0.048329	0.033690	1.435	0.151433
year2012	0.322177	0.029420	10.951	< 2e-16 ***
year2013	0.368810	0.028393	12.990	< 2e-16 ***
year2014	0.362421	0.029082	12.462	< 2e-16 ***
year2015	0.119295	0.033889	3.520	0.000432 ***
year2016	0.342946	0.028118	12.197	< 2e-16 ***
year2017	0.270168	0.032810	8.234	< 2e-16 ***
year2018	0.337242	0.029136	11.575	< 2e-16 ***
year2019	0.616256	0.025198	24.457	< 2e-16 ***
year2020	0.463841	0.028735	16.142	< 2e-16 ***
year2021	0.238179	0.030856	7.719	1.22e-14 ***
year2022	0.164050	0.029387	5.582	2.40e-08 ***
year2023	0.236473	0.027018	8.753	< 2e-16 ***
time3	-0.838894	0.170834	-4.911	9.15e-07 ***
zona2	0.222319	0.009040	24.593	< 2e-16 ***
zona3	0.274577	0.008576	32.016	< 2e-16 ***
zona4	0.430147	0.015510	27.734	< 2e-16 ***
zona5	0.100063	0.026749	3.741	0.000184 ***
year1996:time3	0.012292	0.304420	0.040	0.967792
year1997:time3	0.421970	0.208220	2.027	0.042721 *
year1998:time3	0.665760	0.232858	2.859	0.004253 **
year1999:time3	0.279757	1.167492	0.240	0.810625
year2000:time3	0.387053	0.196727	1.967	0.049143 *
year2001:time3	0.625140	0.175768	3.557	0.000377 ***
year2002:time3	0.386742	0.188820	2.048	0.040553 *
year2003:time3	0.096624	0.237967	0.406	0.684719
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)

```
year2004:time3  0.190227    0.325040    0.585    0.558392
year2005:time3  0.139542    0.264333    0.528    0.597575
year2006:time3  0.197699    0.185859    1.064    0.287477
year2007:time3  0.387435    0.175078    2.213    0.026913 *
year2008:time3  0.137383    0.183072    0.750    0.453004
year2009:time3  0.464285    0.175294    2.649    0.008089 **
year2010:time3 -0.231522    0.350624   -0.660    0.509059
year2011:time3  0.469389    0.205105    2.289    0.022117 *
year2012:time3  0.419461    0.204134    2.055    0.039909 *
year2013:time3  0.641462    0.176071    3.643    0.000270 ***
year2014:time3  0.454323    0.180254    2.520    0.011728 *
year2015:time3  0.649892    0.192590    3.374    0.000741 ***
year2016:time3  0.712152    0.177889    4.003    6.27e-05 ***
year2017:time3  0.344050    0.187514    1.835    0.066550 .
year2018:time3  0.220003    0.191814    1.147    0.251411
year2019:time3  0.721776    0.172003    4.196    2.72e-05 ***
year2020:time3  0.422820    0.176978    2.389    0.016898 *
year2021:time3  0.309763    0.232332    1.333    0.182456
year2022:time3  0.674822    0.197326    3.420    0.000628 ***
year2023:time3  0.795210    0.180238    4.412    1.03e-05 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 982.0724)

Null deviance:      25273777  on 20517  degrees of freedom
Residual deviance: 20089373  on 20456  degrees of freedom
AIC: 199654

Number of Fisher Scoring iterations: 6
```

- **Anchoveta modelo 6**

Call:
glm(formula = CPUE ~ zona + time2_, family = gaussian(link = "log")

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-101.151	-24.037	-1.184	22.512	209.026

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)
(Intercept)	3.7693041	0.0223737	168.470	< 2e-16 ***
zona2	0.2223193	0.0090399	24.593	< 2e-16 ***
zona3	0.2745771	0.0085763	32.016	< 2e-16 ***
zona4	0.4301472	0.0155100	27.734	< 2e-16 ***
zona5	0.1000627	0.0267488	3.741	0.000184 ***
time2_3	-0.8388941	0.1708337	-4.911	9.15e-07 ***
time2_5	-0.1439550	0.0363038	-3.965	7.36e-05 ***
time2_6	-0.9705574	0.2513549	-3.861	0.000113 ***
time2_9	-0.0609171	0.0327986	-1.857	0.063282 .
time2_10	-0.4778414	0.1186665	-4.027	5.68e-05 ***
time2_13	0.1559767	0.0281376	5.543	3.00e-08 ***
time2_14	-0.0171572	0.1588649	-0.108	0.913998
time2_15	-0.2552569	0.0479377	-5.325	1.02e-07 ***
time2_16	-0.8143938	1.1543489	-0.706	0.480507
time2_19	0.3046765	0.0294480	10.346	< 2e-16 ***
time2_20	-0.1471643	0.0981389	-1.500	0.133746
time2_22	0.4339112	0.0268811	16.142	< 2e-16 ***
time2_23	0.2201568	0.0444281	4.955	7.28e-07 ***
time2_25	0.4062270	0.0289069	14.053	< 2e-16 ***
time2_26	-0.0459251	0.0813874	-0.564	0.572571
time2_28	0.3251943	0.0300024	10.839	< 2e-16 ***
time2_29	-0.4170763	0.1659317	-2.514	0.011960 *
time2_31	0.1028188	0.0359746	2.858	0.004266 **
time2_32	-0.5458485	0.2759441	-1.978	0.047929 *
time2_34	0.0326900	0.0348369	0.938	0.348063
time2_35	-0.6666626	0.2011310	-3.315	0.000919 ***
time2_37	0.2780374	0.0293587	9.470	< 2e-16 ***
time2_38	-0.3631581	0.0739720	-4.909	9.21e-07 ***
time2_40	0.3591972	0.0282386	12.720	< 2e-16 ***
time2_41	-0.0922619	0.0407623	-2.263	0.023621 *
time2_43	0.3823042	0.0283060	13.506	< 2e-16 ***
time2_44	-0.3192069	0.0671975	-4.750	2.05e-06 ***
time2_46	0.3954486	0.0270934	14.596	< 2e-16 ***
time2_47	0.0208398	0.0424645	0.491	0.623604
time2_49	-0.0128560	0.0379705	-0.339	0.734931
time2_50	-1.0832726	0.3054439	-3.547	0.000391 ***
time2_52	0.0483292	0.0336897	1.435	0.151433
time2_53	-0.3211760	0.1127738	-2.848	0.004404 **
time2_55	0.3221773	0.0294197	10.951	< 2e-16 ***
time2_56	-0.0972561	0.1122545	-0.866	0.386287
time2_58	0.3688105	0.0283925	12.990	< 2e-16 ***
time2_59	0.1713787	0.0446054	3.842	0.000122 ***

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)
time2_61	0.3624207	0.0290820	12.462	< 2e-16 ***
time2_62	-0.0221505	0.0586834	-0.377	0.705837
time2_64	0.1192948	0.0338893	3.520	0.000432 ***
time2_65	-0.0697076	0.0880056	-0.792	0.428322
time2_67	0.3429460	0.0281177	12.197	< 2e-16 ***
time2_68	0.2162041	0.0515185	4.197	2.72e-05 ***
time2_70	0.2701677	0.0328097	8.234	< 2e-16 ***
time2_71	-0.2246761	0.0766188	-2.932	0.003367 **
time2_73	0.3372423	0.0291356	11.575	< 2e-16 ***
time2_74	-0.2816489	0.0879562	-3.202	0.001366 **
time2_76	0.6162558	0.0251980	24.457	< 2e-16 ***
time2_77	0.4991379	0.0273607	18.243	< 2e-16 ***
time2_80	0.4638413	0.0287352	16.142	< 2e-16 ***
time2_81	0.0477668	0.0479440	0.996	0.319114
time2_83	0.2381792	0.0308556	7.719	1.22e-14 ***
time2_84	-0.2909517	0.1575560	-1.847	0.064811 .
time2_86	0.1640497	0.0293869	5.582	2.40e-08 ***
time2_87	-0.0000224	0.0994794	0.000	0.999820
time2_89	0.2364726	0.0270177	8.753	< 2e-16 ***
time2_90	0.1927880	0.0602529	3.200	0.001378 **

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

(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 982.0724)

Null deviance: 25273777 on 20517 degrees of freedom
Residual deviance: 20089373 on 20456 degrees of freedom
AIC: 199654

Number of Fisher Scoring iterations: 6