

TALLER DE REVISION/IMPLEMENTACION DE MEJORAS DE LA EVALUACION DE STOCKY EFECTOS EN PUNTOS BIOLÓGICOS DE REFERENCIA DE PEQUEÑOS PELÁGICOS DEL ECUADOR

Guayaquil, 21 - 25 de noviembre del 2022

Introducción

Entre las actividades del plan de mejoramiento de la Pesquería de Pelágicos Pequeños (Small Pelagic Sustainability SPS-FIP) para obtener la certificación MarineTrust, se encuentra realizar evaluaciones de stock de manera periódica, con la finalidad de conocer el estado de los recursos pelágicos pequeños sujetos a explotación y a su vez que las mismas cuenten con revisiones de pares de expertos para revisar la metodología empleada con la finalidad de proponer mejoras para las futuras evaluaciones que se realicen. En la reciente revisión de pares realizada por el Dr. Luis Cubillos y María José Cuevas, indicaron que hay tres principales aspectos que hay que tomar en consideración: a) Supuestos principales, donde se revisa la estructura poblacional y parámetros de historia de vida, b) Diagnóstico del ajuste de los modelos, principalmente análisis de residuales y análisis retrospectivo y c) Evaluación de sesgo y precisión, donde se utilizan técnicas de simulación - estimación considerando un enfoque similar al utilizado por Carvalho et al. (2017).

Los aspectos anteriores son determinantes tanto para el establecimiento del estado de situación de los recursos como para la estimación de Puntos Biológicos de Referencia, esto último considerados referentes para el manejo de los recursos. Sin perjuicio de lo anterior y con el fin de abordar parte de los puntos anteriores, se realizó un taller en dependencias del Instituto Público de Acuicultura y Pesca (IPIAP) del Ecuador, entre el 21 y 25 de noviembre del 2023. En el taller se revisaron las estimaciones de los parámetros de historia de vida, diagnóstico de modelos basado en análisis de residuales, análisis retrospectivos, análisis de puntos influyentes y sus efectos en los Puntos Biológicos de Referencia. Como caso de estudio se consideraron dos especies relevantes para la pesquería: Macarela (*Scomber japonicus*) y Picudillo (*Decapterus macrosoma*).

Participantes

Cristian M. Canales (Chile), Viviana Jurado, David Chicaiza, Mercy Preciado

1. Parámetros de historia de vida

Se revisan los fundamentos de los parámetros de historia de vida de macarela y picudillo, orientados particularmente a los parámetros de crecimiento, longevidad y mortalidad natural. Con el fin de acotar los valores de longitud asintótica, k y longevidad, se consideró como referencia los valores indicados en la app FishLife (<https://james-thorson.shinyapps.io/FishLife/>)

1.1. Macarela (*Scomber japonicus*)

Se definieron como rango posible de k valores entre 0.2 y 0.4, y como edad máxima (t_{max}) entre 8 y 10 años (**Figura 1**). Complementariamente y basado en datos de composiciones de tallas de las capturas y cruceros, se ajustaron los parámetros de crecimiento para este recurso en base al análisis de componentes modales de un modelo de crecimiento en tallas (MCCT¹) (Canales y Arana, 2009). En este modelo se consideró como prior el valor de k antes mencionado

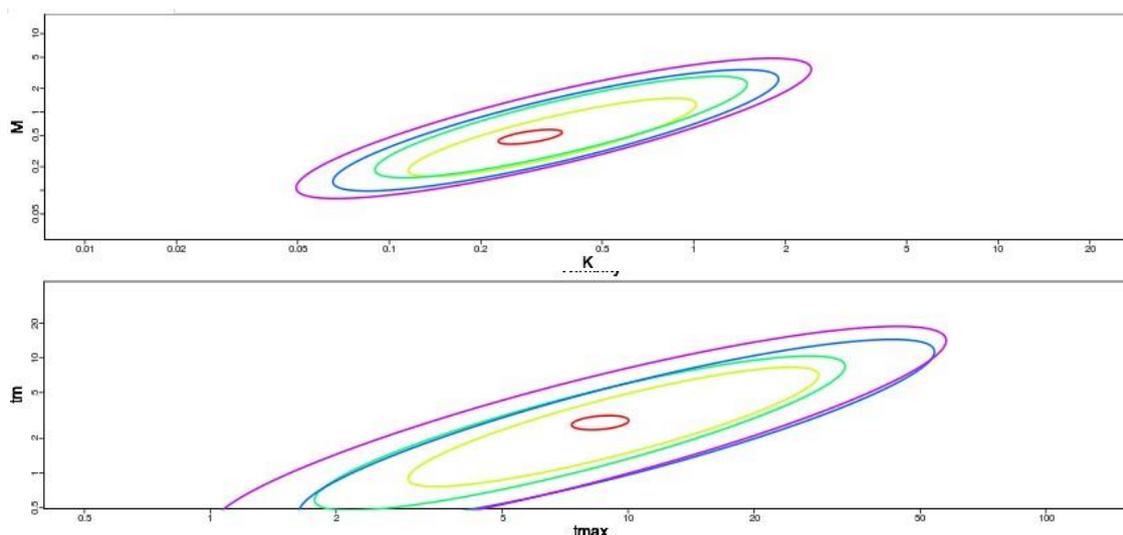


Figura 1. Relación k vs M y edad máxima vs edad de madurez para macarela según la app FishLife.

Se consideró el análisis de 11 años de composiciones de tallas de la pesquería combinadas con 2 años de cruceros acústicos. Las composiciones de tallas fueron elegidas en base a la información que estas aportan respecto de componentes modales. Los análisis fueron realizados para distintos supuestos de edades posibles (8 y 10 grupos de edad) y supuestos de variabilidad de la desviación estándar de la talla a la edad (constante o variable por edad). Los resultados se resumen en la **Tabla 1** y gráficamente se ilustran en las **Figuras 2 y 3**.

Las estimaciones muestran que la longitud asintótica podría variar entre 37.6 y 42.2 cm, en tanto el coeficiente de crecimiento k está entre 0.18 y 0.22. La solución más verosímil (menor LL) (**Tabla 1**) corresponde al escenario S2 en el cual la desviación estándar de la

¹ $La=L001-e-k+e-kLa-1$

talla a la edad es 1.30 respecto de la talla a la edad. En este escenario se estima que en la información analizada está configurada por 10 años de edad, la longitud asintótica L_{00} de 37.29 cm, la tasa de crecimiento $k=0.22$ y la talla de reclutamiento $L_0=12.19$ cm. Cabe indicar que los parámetros de crecimiento obtenidos son similares a los empleados en evaluaciones de stock anteriores, no obstante, se sugiere emplear estos nuevos resultados para el nuevo periodo de evaluación y mantenerlos como fijos.

Tabla 1. Parámetros de crecimiento y valor de la verosimilitud (LL) del ajuste del modelo MCCT a las composiciones de tallas de macarela. En negrilla se destaca el escenario más verosímil.

Caso	Edades	L_{00} (cm)	k	L_0 (cm)	a^2	b	LL
S1	8	37.62	0.21	12.27	1.30	0 (fijo)	3132
S2	10	37.29	0.22	12.19	1.30	0 (fijo)	3130
S3	8	42.28	0.18	11.64	0 (fijo)	0.059	3196
S4	10	37.15	0.22	11.68	0 (fijo)	0.055	3189

² Dev std(La)=a+b La

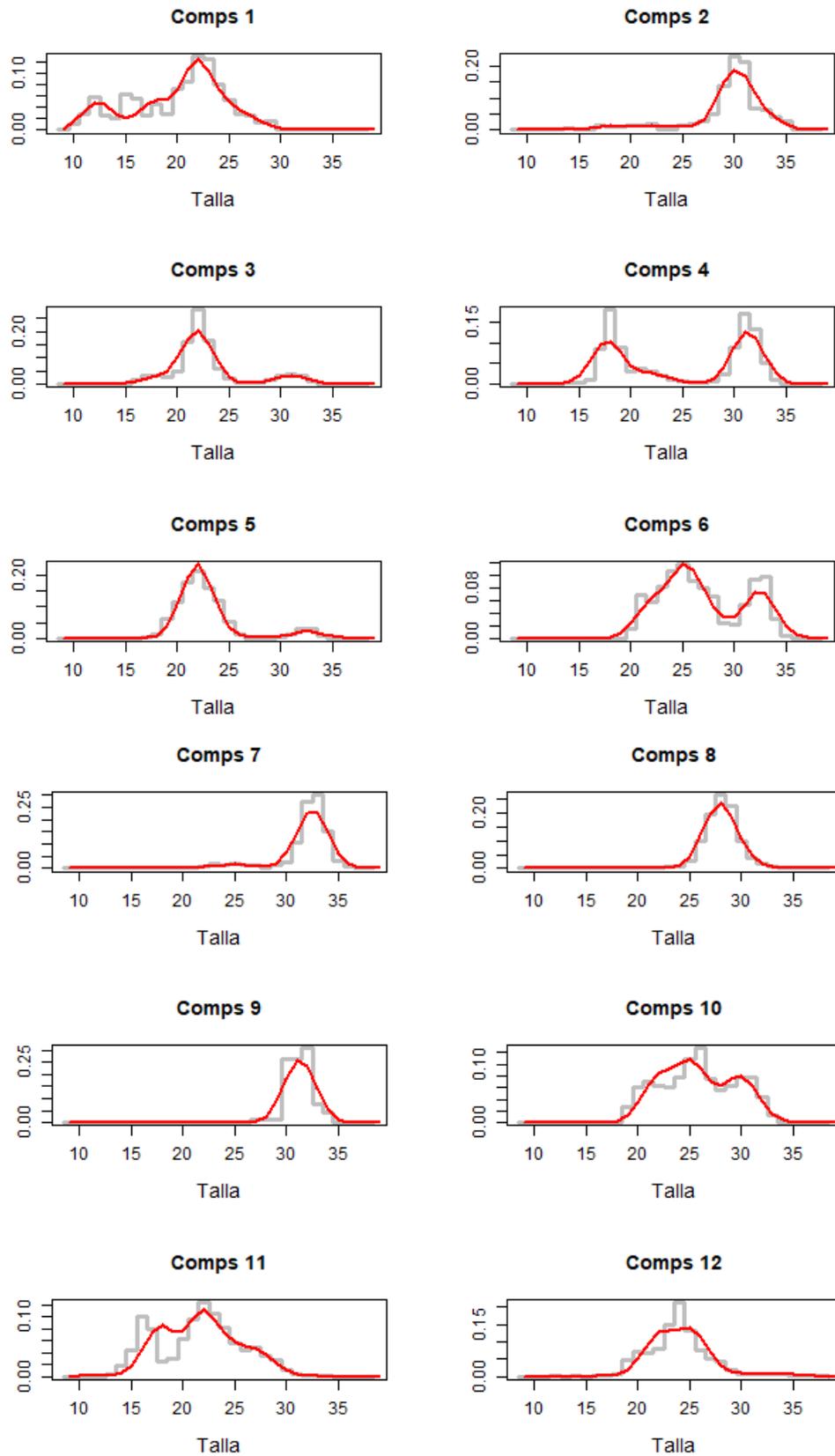


Figura 2. Ejemplo del ajuste del modelo MCCT (línea roja) a comps de tallas de cruceros (comps 1 y 2) y la pesquería (comps 3 a 12). Macarela

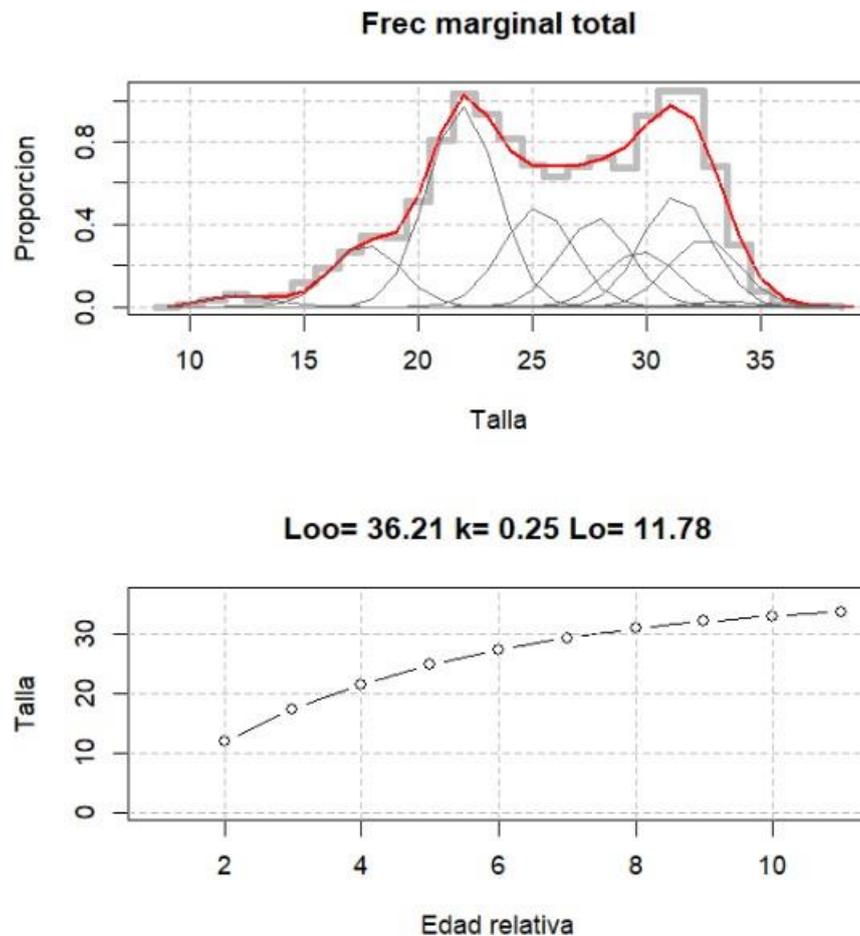


Figura 3. Resumen del ajuste del modelo MCCT (línea roja) a las comps de tallas combinadas de cruceros y pesquería. Ejemplo del modelo y parámetros de crecimiento suponiendo 10 años de edad. Macarela

1.2. Picudillo (*Decapterus macrosoma*)

Siguiendo el mismo protocolo para macarela, los análisis sobre picudillo de FishLife (**Figura 4**) muestran que el rango del coeficiente de crecimiento k estaría delimitado entre 0.7 y 1.1, mientras la longevidad estaría comprendida entre 3 y 4 años. De acuerdo con esto, la estimación de los parámetros consideró una distribución informativa de $k \sim N(0.8, 0.1)$. Se analizaron 7 composiciones de tallas anuales de cruceros y capturas, y estas fueron modeladas en base al modelo MCCT (**Figuras 5 y 6**). Los resultados muestran que el escenario más verosímil es el caso 4 el cual considera 4 grupos de edad presentes en las capturas, y en cuyo caso los parámetros de crecimiento son $L_{oo}=23,4$ cm y $k=0.62$ (**Tabla 2**). Estos parámetros permiten reproducir muy bien la información analizada y discrepan notablemente del conjunto de parámetros considerados en la evaluación de stock.

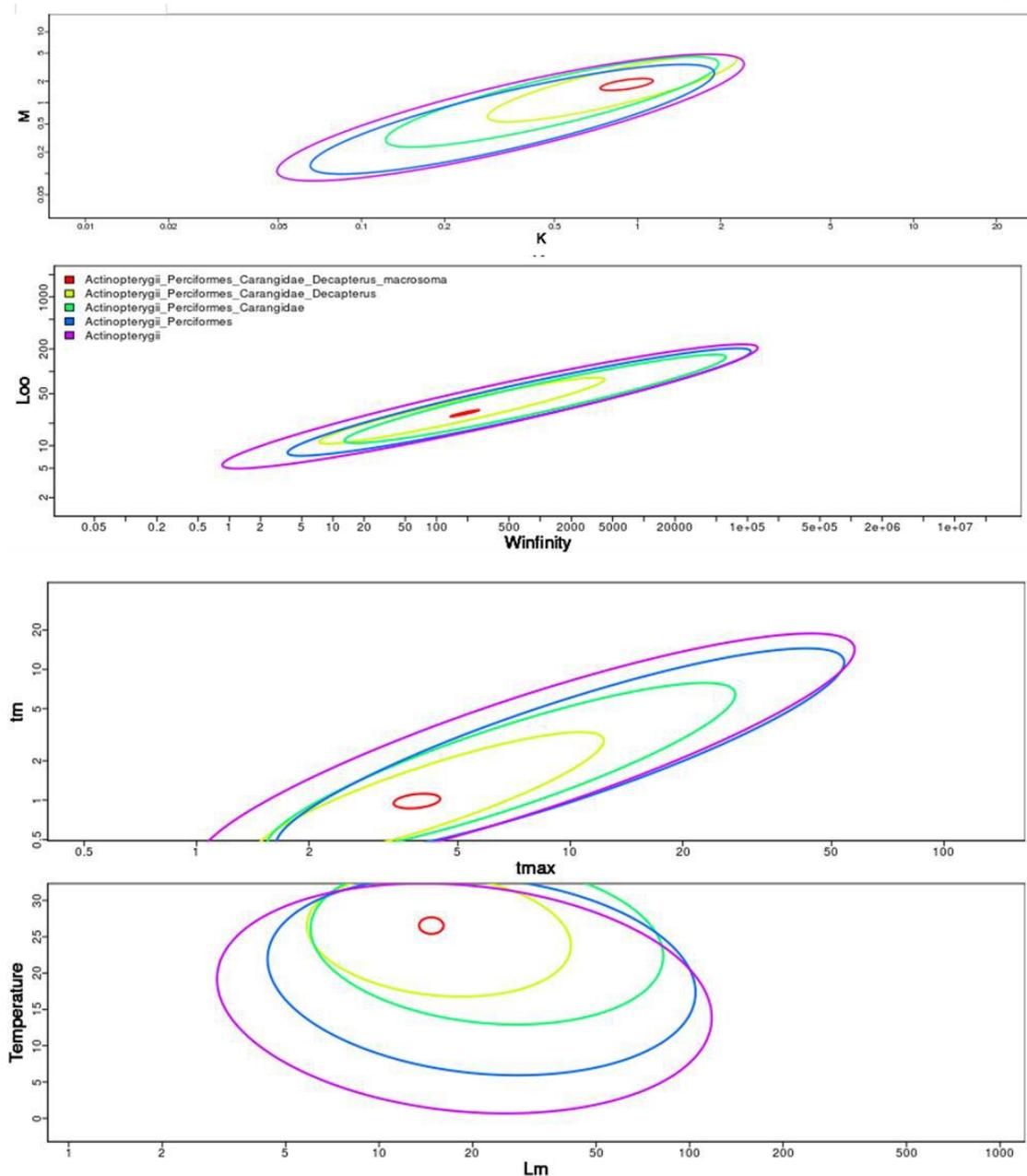


Figura 4. Relación de parámetros de historia de vida para picudillo según la app FishLife.

Tabla 2. Parámetros de crecimiento y valor de la verosimilitud (LL) del ajuste del modelo MCCT a las composiciones de tallas de picudillo. En negrilla se destaca el escenario más verosímil.

Caso	Edades	Loo	k	Lo	a	b	LL
1	3	23.99	0.68	13.99	2.22	0 (fijo)	1790
2	3	23.69	0.66	13.18	0 (fijo)	0.13	1789
3	4	24.64	0.75	14.37	2.28	0 (fijo)	1794
4	4	23.38	0.62	13.02	0 (fijo)	0.11	1773

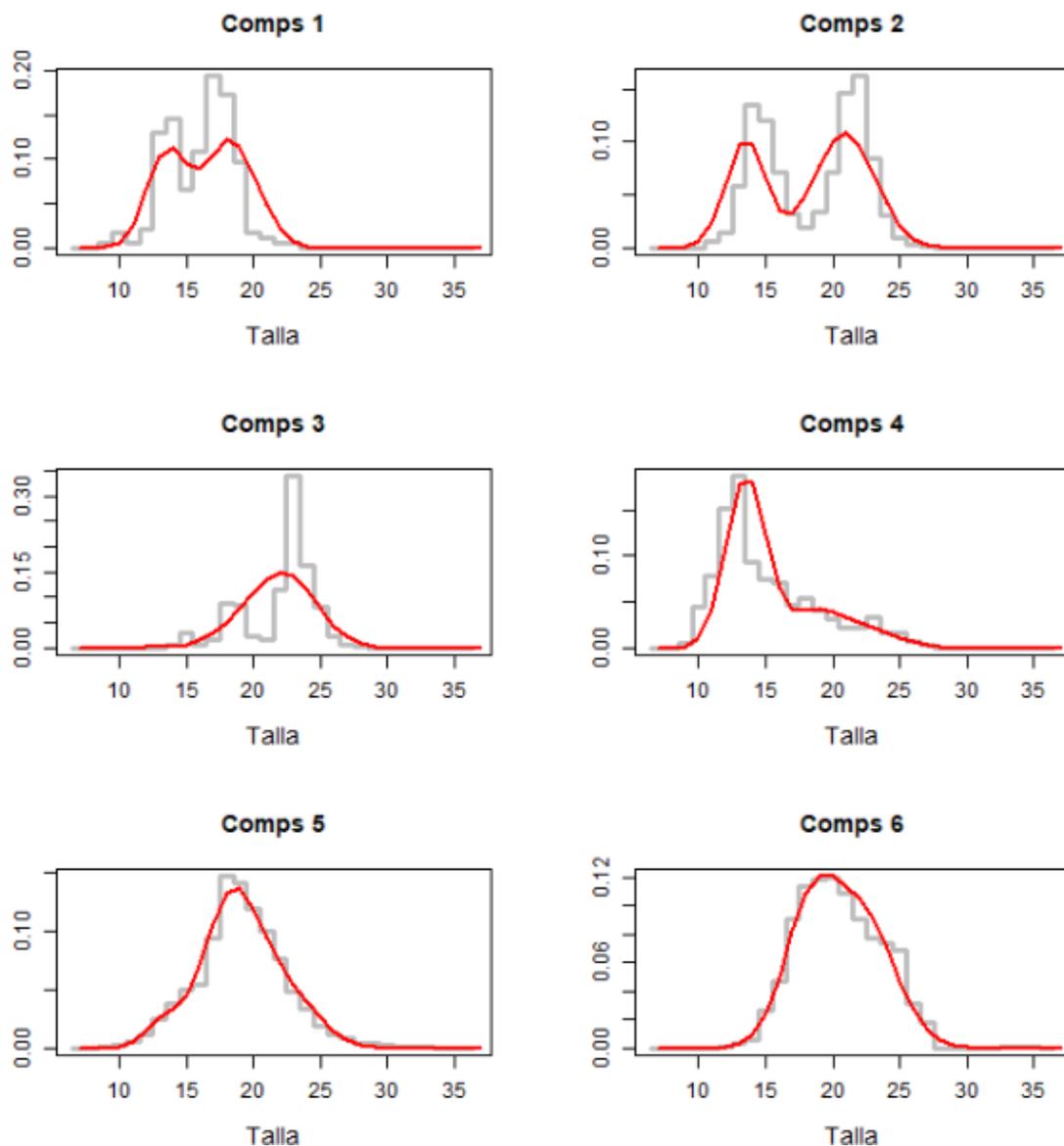


Figura 5. Ejemplo del ajuste del modelo MCCT (línea roja) a comps de tallas de cruceros y la pesquería de Picudillo

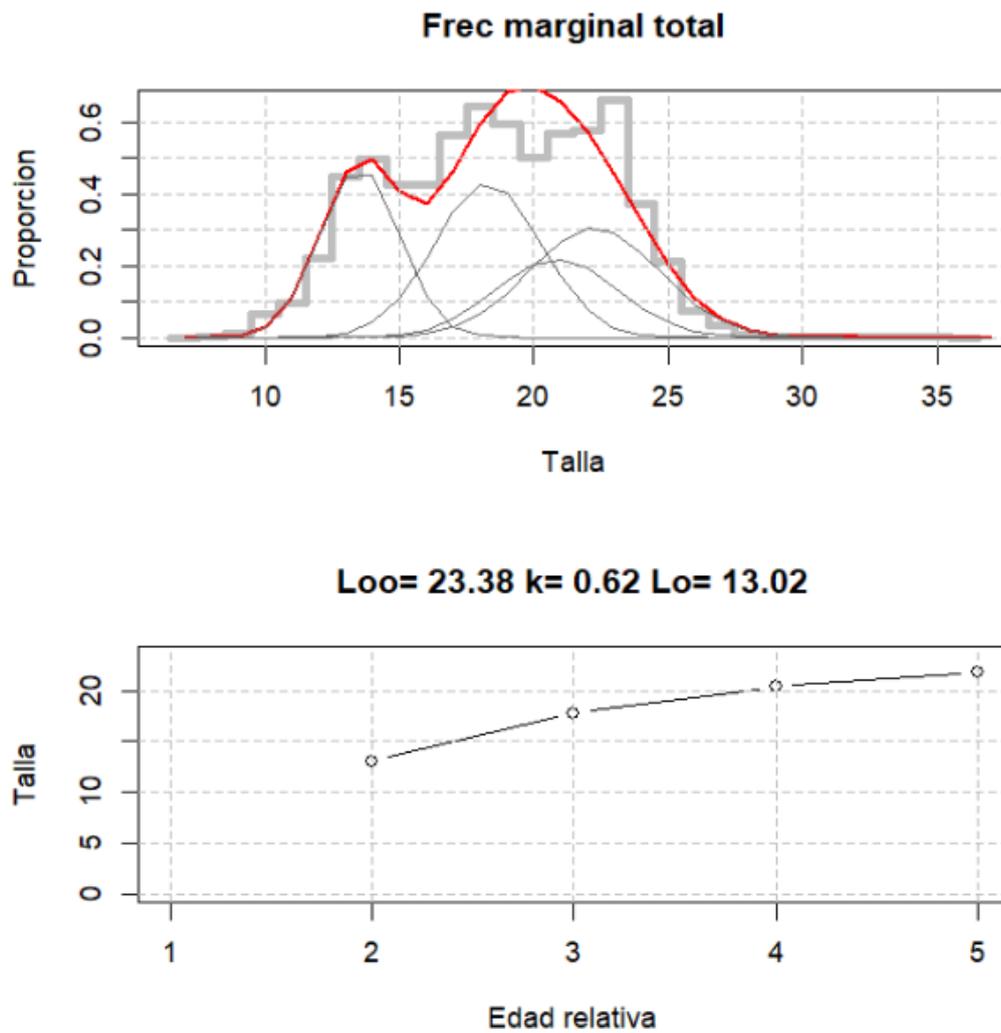


Figura 6. Resumen del ajuste del modelo MCCT (línea roja) a las comps de tallas combinadas de cruceros y pesquería. Ejemplo del modelo y parámetros de crecimiento Picudillo

2. Modelo de evaluación de stock

Se abordan distintas temáticas relacionadas con el modelo de evaluación de stock, la estimación de parámetros y configuración de escenarios base de análisis para futuras evaluaciones poblacionales. Los análisis son realizados por separado para ambas especies.

2.1. Picudillo

- **Análisis de sensibilidad de evaluación de stock y escenario base**

Se realizaron escenarios de evaluación de stock con el fin de evaluar la viabilidad de estimar el conjunto de parámetros de crecimiento y mortalidad natural al interior del modelo. Además de lo anterior, se consideró la re-estimación de la talla de madurez informada en $L_m=16$ cm (antes se consideraba 25.5 cm). La configuración de escenarios se detalla en **Tabla 3** y gráficamente se ilustran en la **Figura 7**. Los resultados muestran que en todos los casos la condición de la población para el año más reciente cae por debajo del objetivo de manejo, pero los escenarios S3 y S6 son los que tienen la mejor condición con $SPR > 0.35$. El escenario S3 es descartable debido al alto valor de M, en tanto el escenario S6 es el más verosímil y candidato a escenario base para las próximas evaluaciones poblacionales (**Tabla 4**).

Tabla 3. Configuración de escenarios de evaluación en función de la estimación de parámetros de crecimiento y mortalidad para Picudillo.

Escenario	Configuración
S1	Base
S2	Parámetros FishLife fijos ($L_{\infty}=40$, $k=1.0$, $M=2.0$) + nueva L_m + 2 clases de edad en la pesquería
S3	Parámetros estimados + L_m nueva + 6 clases de edad en la pesquería
S4	S3 + $M=0.8$
S5	S1 + nueva L_m
S6	S1+Crecimiento ajustado por MCCT + $M=2k$ + nueva L_m

Tabla 4. Escenarios de crecimiento y mortalidad naturales fijos o estimados para Picudillo. En negrilla se destaca el escenario más verosímil.

	Loo	k	Lo	a0	cv_edad	M	h	SPR	LL
S1	36.8	0.25	15.24	1.18	0.048	0.5	0.9	0.06	1383
S2	40.0	1.00	18.91	2.18	0.052	2.0	0.9	0.09	1391
S3	40.0	0.43	7.99	2.16	0.052	4.5	0.9	0.38	1416
S4	40.0	0.23	15.56	1.25	0.048	0.8	0.9	0.14	1476
S5	36.8	0.25	15.40	1.19	0.048	0.5	0.9	0.11	1381
S6	23.4	0.62	13.02	0.00	0.141	1.2	0.9	0.35	1351

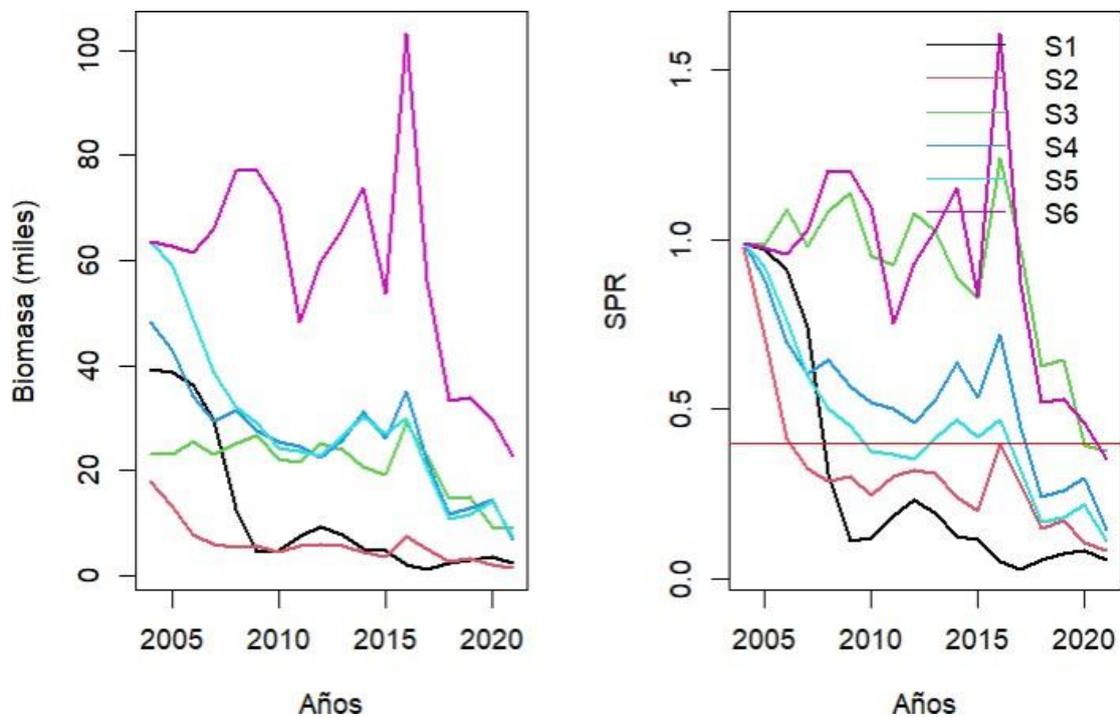


Figura 7. Análisis de escenarios de evaluación de picudillo en base a diferentes configuraciones de los parámetros biológicos

2.2. Macarela

- **Análisis de bloques de selectividad**

Se examinó el perfil de residuales de la talla promedio de las capturas anuales y cruceros, así como los bloques de selectividades empleadas en la evaluación de stock. Se consideraron 10 bloques en aquellos años con mayores desvíos y cuyos años corresponden a: 1974, 1988, 1994, 1998, 2000, 2003, 2011, 2012, 2013 y 2019. El perfil de las curvas de selectividad muestra que importantes cambios ocurrieron a través de los años con una tendencia sostenida a la disminución de la talla promedio de selectividad (**Figura 8**). Al respecto se destaca que en los últimos 20 años la flota ha vulnerado individuos principalmente inmaduros. Por su lado, la selectividad del crucero muestra anómalamente un incremento de tipo exponencial respecto de la talla, indicando que los individuos más grandes aún no se han reclutado totalmente a la zona de prospección.

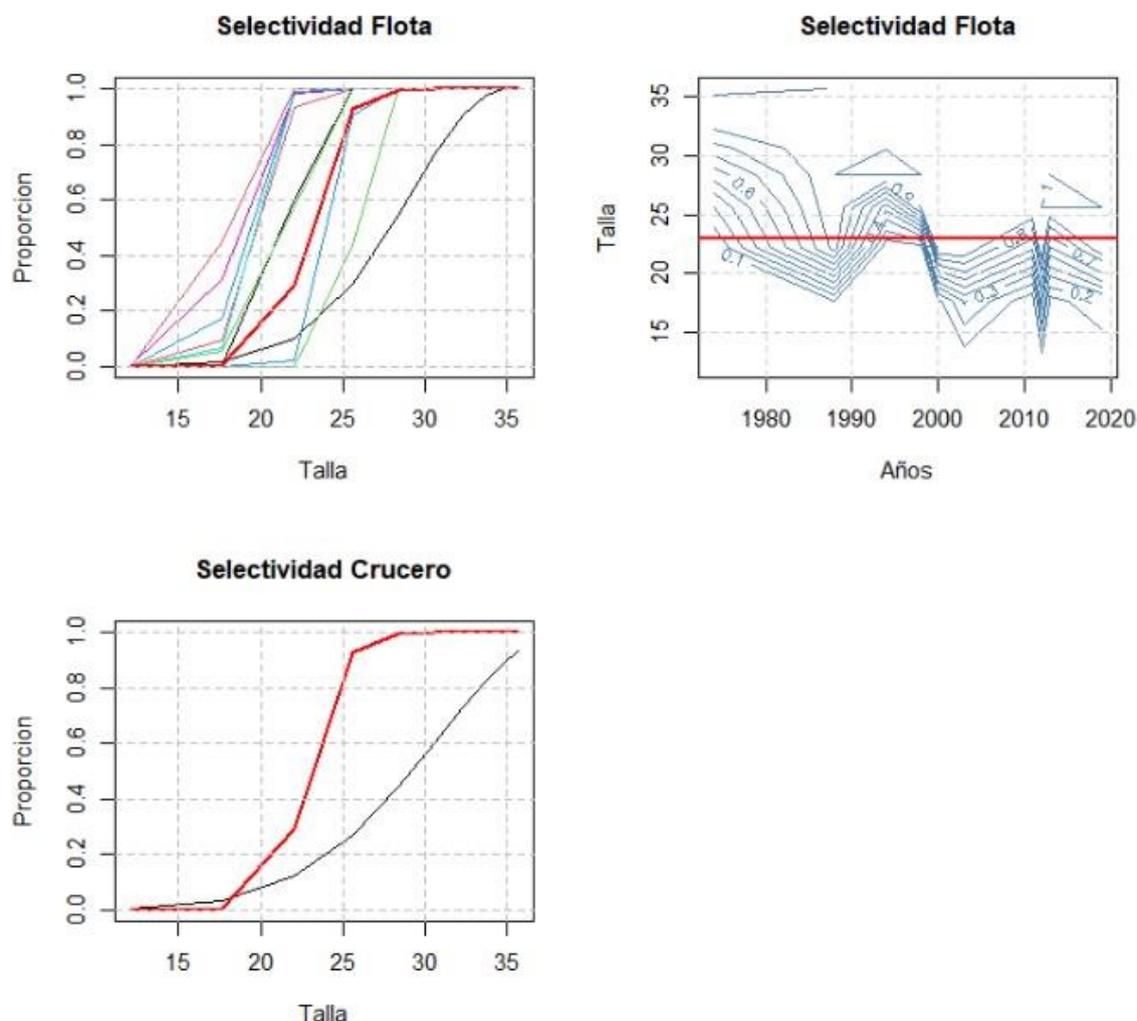


Figura 8. Curvas de selectividad de la flota y cruceros por bloques de años. En rojo se destaca la talla de madurez sexual de Macarela. En rojo el modelo base y en verde con 10 bloques de selectividad.

- **Análisis de residuales de la CPUE y talla promedio de capturas de macarela**

Como resultado del análisis anterior, el ajuste del modelo al índice de abundancia y talla promedio mejoró sustancialmente respecto del modelo base, y cuyos residuales sugieren una esperada mayor densidad en torno al valor cero representada por una distribución de Gauss (**Figura 9**).

- **Análisis Retrospectivo**

Se implementa un análisis retrospectivo con el fin de examinar el efecto que tiene la inclusión de nueva información anual, en las estimaciones de biomasa y Puntos Biológicos de Referencia.

i) Efectos sobre variables poblacionales

Un análisis retrospectivo de la evaluación de stock base de macarela confirmó el patrón identificado por Cubillos y Cuevas (2022), el cual indica que conforme se agregan nuevas piezas de información, se verifica la tendencia a la subestimación de la biomasa y sobreestimación de la mortalidad por pesca. En esta situación, la biomasa se re-escala al aumento en toda su trayectoria histórica. Sin perjuicio de esto, el patrón identificado queda particularmente determinado antes y después del año 2019, observándose que al quitar hasta los últimos dos años de información (2020 y 2021) la diferencia entre las estimaciones resulta ser de notable menor magnitud (**Figura 10**).

ii) Efectos sobre Puntos Biológicos de Referencia y diagnóstico poblacional

El patrón retrospectivo genera impacto en las medidas de diagnóstico como es la razón B/B_{rms} y el factor $CPUE/CPUE_{rms}$, las cuales si bien fluctúan en torno al objetivo de manejo (1.0) (**Figura 11**), no ocurre si se considera el período previo al 2019 y se explica por los efectos que esto tiene sobre los Puntos Biológicos de Referencia (**Tabla 5**). A manera de ejemplo, la CPUE de referencia del período previo al 2019 fue estimada un 40% mayor respecto del período más reciente, mientras la biomasa de referencia en igual base de comparación resulta ser un 18% mayor. El hito relevante en este análisis es la inclusión de la información de los cruceros acústico (biomasa y composiciones de tallas) registrada a partir del año 2018, siendo esto una posible causa de patrón retrospectivo identificado.

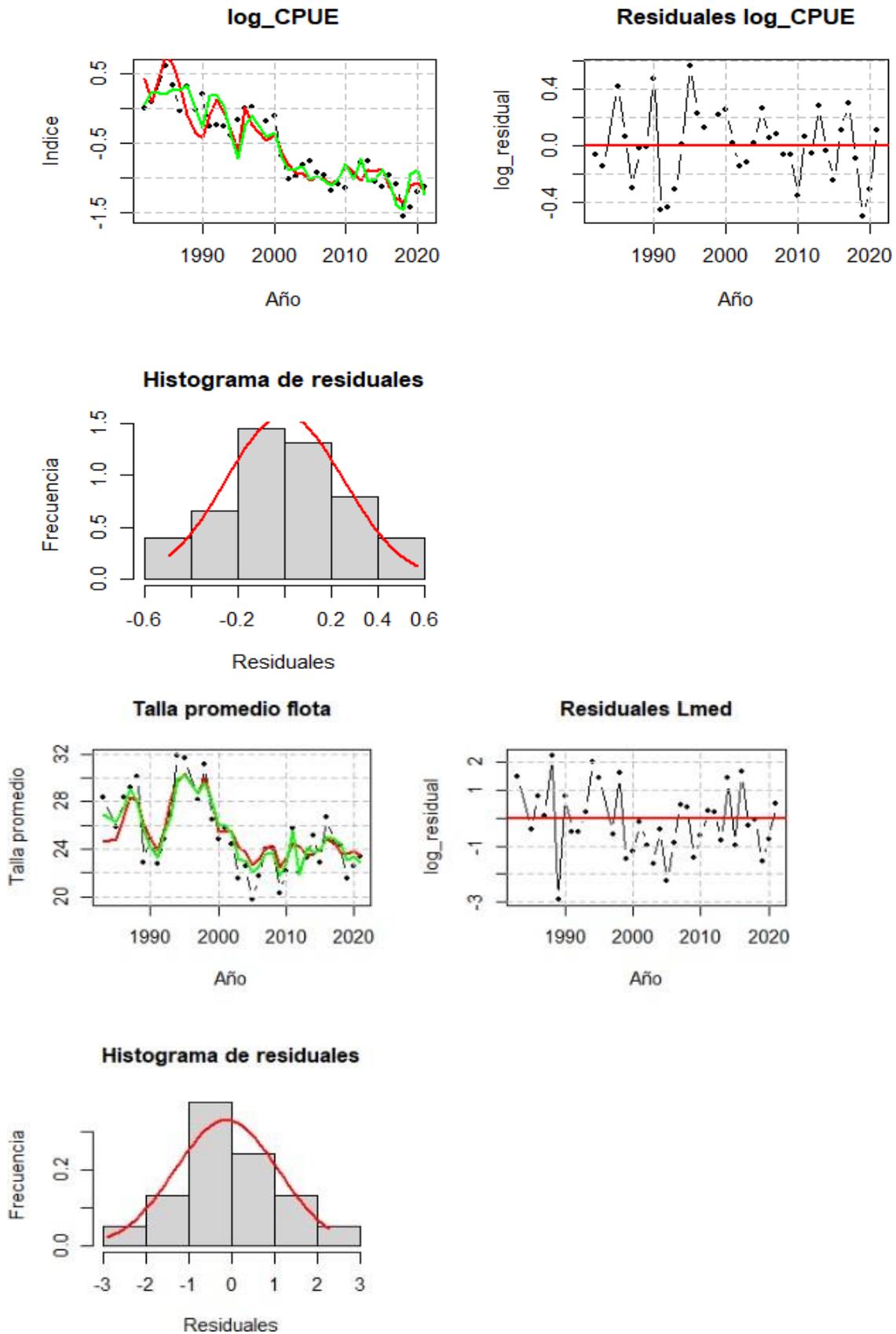


Figura 9. Ajuste del modelo (base en color rojo y verde escenario analizado) y residuales de la CPUE y talla promedio de las capturas MACARELA. En rojo el modelo base y en verde el modelo con 10 bloques de selectividad.

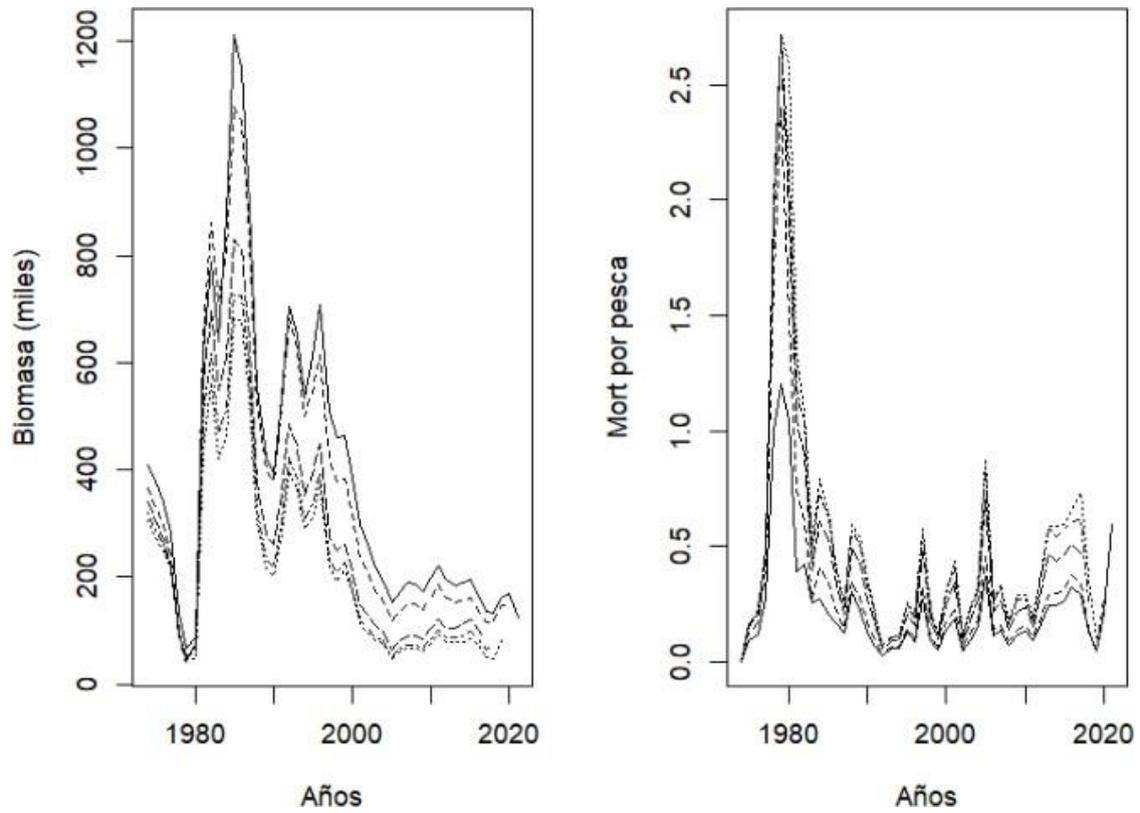


Figura 10. Análisis retrospectivo de biomasa y mortalidad por pesca de macarela

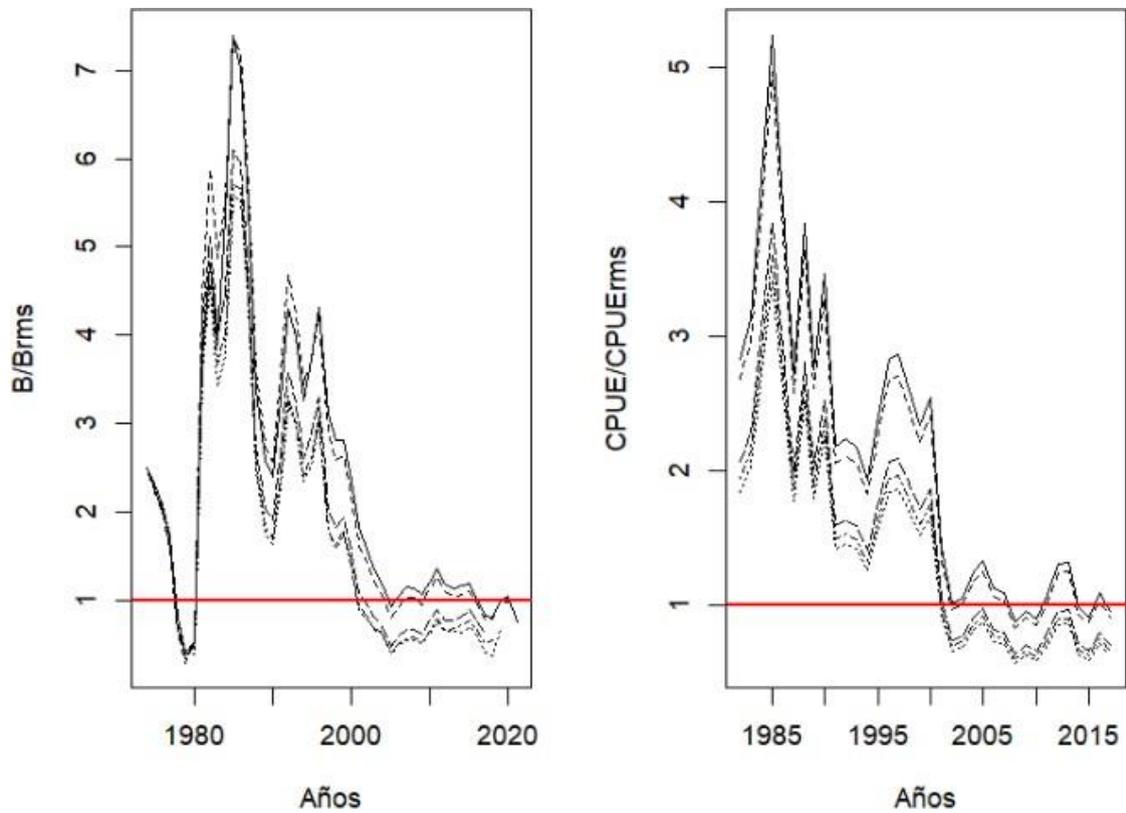


Figura 11. Análisis retrospectivo de la biomasa y CPUE observada relativa al objetivo de manejo (RMS) de macarela

Tabla 5. Análisis retrospectivo de los puntos de referencia de Macarela. Los colores muestran grupos de magnitudes similares.

Ultimo año	B0 (t)	Frms	Brms (t)	RMS (t)	CPUErms
2021	409,599	0.261	157,400	82,235	0.353
2020	364,955	0.271	138,452	73,859	0.373
2019	306,993	0.301	117,803	61,463	0.541
2018	319,562	0.311	124,320	64,106	0.515
2017	340,362	0.301	132,333	68,886	0.483

- **Análisis de sensibilidad a la información acústica**

Identificadas la fuente del patrón retrospectivo, se realiza un análisis de sensibilidad con el objeto de establecer el aporte que tiene la información acústica (biomasa y composición de tallas) en el modelo de evaluación de stock. El análisis determinó que el modelo de evaluación reproduce de forma consistente las abundancias acústicas entre los años 2013 y 2018, y con la finalidad de evaluar el efecto del índice de abundancia acústica en la estimación del diagnóstico poblacional, se realiza un análisis de escenarios basado en distintas configuraciones que se muestran en **Tabla 6**.

Tabla 6. Escenarios de análisis en base a la información acústica

Escenarios	Configuración
S1	Base
S2	se eliminó índice acústico y sus comps. de tamaños de las composiciones de tallas
S3	se eliminó el año 2013 de todos los datos acústicos
S4	S1 pero sin comps. de tallas acústicas
S5	S4 pero sin índice acústico 2013

Los escenarios de análisis muestran que el modelo fue sensible a la remoción de composiciones de estructura de talla de las campañas acústica (S2-S5), y como consecuencia, la biomasa poblacional en todos los escenarios alternativos resulto menor respecto del escenario base (**Figura 12**). Además, la diferencia en log-verosimilitud en las otras fuentes de información (cpue y comps de tallas de las capturas) muestra que en cualquiera de los escenarios S3-S5, se registra un significativo mejor ajuste a las composiciones de tallas de las capturas y sin mayor efecto en el ajuste de la CPUE (**Tabla 7**).

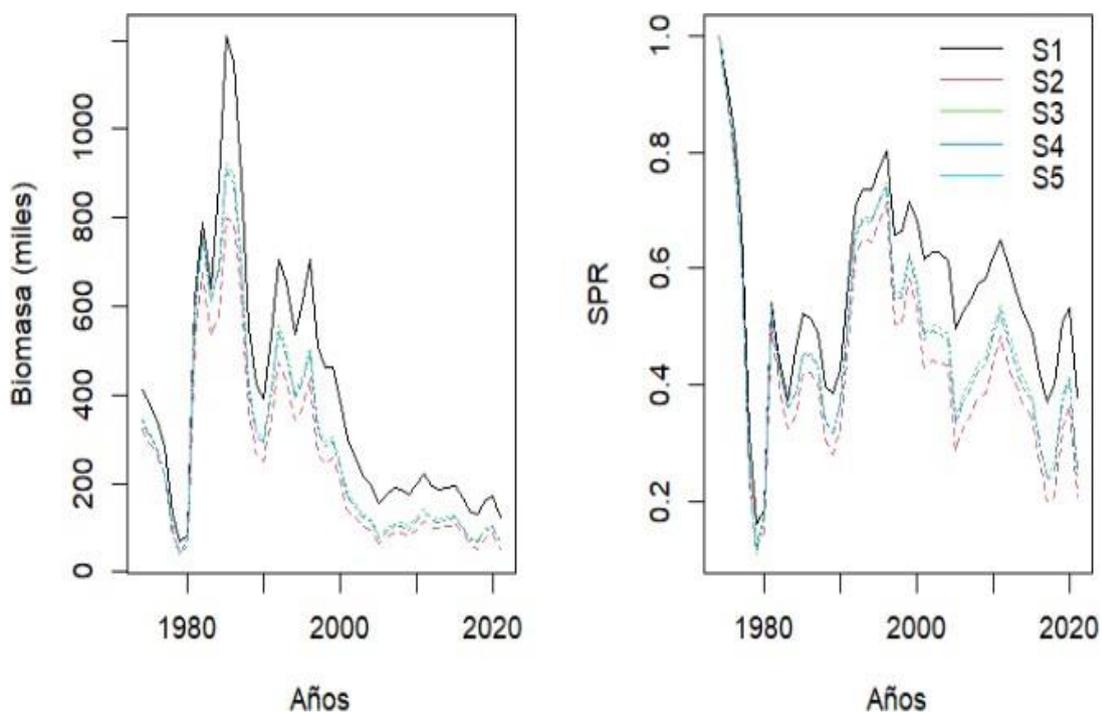


Figura 12. Biomasa Desovante y Proporción de la biomasa virginal dinámico (B/B_0) de macarela para distintos escenarios dependientes de la información acústica.

Tabla 7. Diferencia en log-verosimilitud respecto del valor mínimo según caso de análisis por conjunto de datos empleados en la evaluación de stock del recurso macarela.

	CPUE	Desemb	Prop_f	SPR
S1	0.42	0.00	13.94	0.38
S2	1.51	0.13	8.50	0.21
S3	0.09	0.06	1.89	0.24
S4	0.08	0.07	0.24	0.25
S5	0.00	0.07	0.00	0.24

- **Análisis de sensibilidad a los parámetros de crecimiento y bloques de selectividad**

Se realizaron escenarios de evaluación de stock de macarela con el fin de evaluar el efecto de los nuevos parámetros de crecimiento y bloques de selectividad. La configuración de escenarios se detalla en **Tabla 8** y el resultado gráfico en la **Figura 13**. Los resultados muestran que el conjunto de parámetros de crecimiento mejora el ajuste del modelo base, y que esta mejora aún más con el incremento de bloques de selectividad (log-verosimilitud). En tal sentido se recomienda realizar el análisis de discriminación de escenarios en base al criterio de Akaike pues el número de parámetros no es el mismo entre escenarios. No obstante esto, en todos los casos la condición de la población para el año más reciente cae por debajo del objetivo de manejo, aunque en el escenario S4 se obtiene la mejor condición con $SPR=0.36$ (**Tabla 9**).

Tabla 8. Configuración de escenarios de evaluación en función de la estimación de parámetros de crecimiento y bloques de selectividad de macarela.

Escenario	Configuración
S1	Base
S2	Parámetros de crecimiento estimados
S3	S2 + 10 bloques de selectividad (70,88,94,98,00,03,12,13,19)
S4	S2 + 9 bloques de selectividad (70,74,88,95,00,11,12, 13,19)

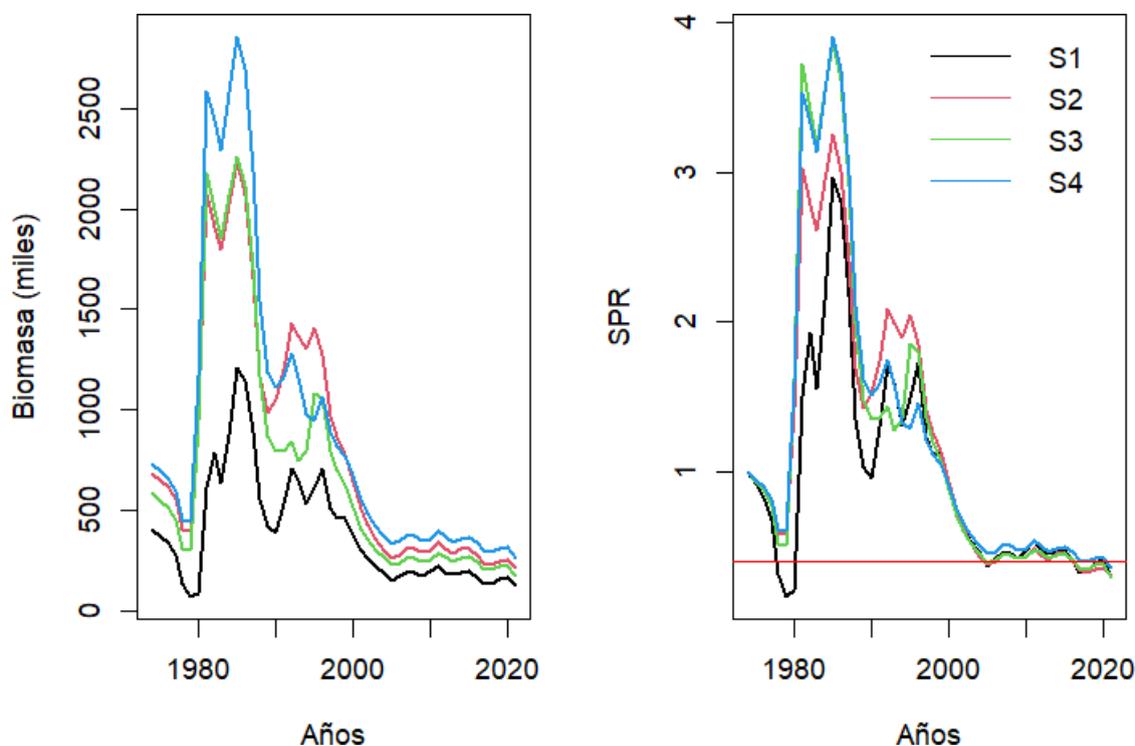


Figura 13. Análisis de escenarios de evaluación de macarela en base a diferentes configuraciones de crecimiento y bloques de selectividad.

Tabla 9. Resultados del análisis de sensibilidad de macarela. En negrilla se destaca el escenario más verosímil.

	S1	S2	S3	S4
Biomasa	124,418	214,218	173,022	265,569
B/B0	0.304	0.312	0.296	0.363
LL	3338	3327	3280	3313

- **Perfil de verosimilitud**

La verosimilitud es la probabilidad de los datos condicionada al modelo (hipótesis). Se evaluó el desempeño de un modelo candidato a variaciones de +/- 50% en el valor del reclutamiento virginal R_0 . La expectativa de este análisis fue identificar que piezas de información están guiando la evaluación o tienen mayor incidencia sobre la escala de la población. El resultado indica que la escala de la población se sustenta solo en la información que proporciona la CPUE y las composiciones de tallas de las capturas (diferencia en log verosimilitud > 2) (**Tabla 10, Figura 11**). Sin embargo, ambas piezas de información muestran notables inconsistencias por cuanto los mínimos se ubican hacia los extremos del eje de R_0 . Lo anterior deber ser analizado en mayor profundidad considerando por ejemplo, la inclusión de mayor variabilidad en los patrones de selectividad o en el coeficiente de capturabilidad de la CPUE.

Tabla 10. Diferencia en log-verosimilitud de las distintas fuentes de información consideradas en la evaluación de stock en base a escenarios de R_0 . Se reporta el gradiente máximo en la solución final de cada escenario.

R0	Fuente de información						
	Total	CPUE	Cruceros	Desemb	Prop_f	Prop_c	Grad
2441	14.3	16.4	0.0	0.7	0.0	0.3	3.30E-05
2929	3.8	11.5	0.1	0.4	5.0	0.1	9.33E-06
3417	0.2	7.5	0.3	0.3	10.5	0.0	7.63E-05
3906	0.0	4.7	0.4	0.2	15.7	0.0	1.81E-05
4394	1.0	3.1	0.4	0.1	19.7	0.1	3.40E-06
4882	2.3	2.0	0.5	0.1	23.0	0.1	5.66E-05
5370	3.6	1.2	0.5	0.1	25.8	0.2	1.40E-05
5858	4.8	0.7	0.5	0.0	28.0	0.3	4.27E-06
6346	5.9	0.3	0.5	0.0	29.9	0.3	1.05E-06
6835	6.8	0.0	0.5	0.0	31.5	0.4	1.73E-04

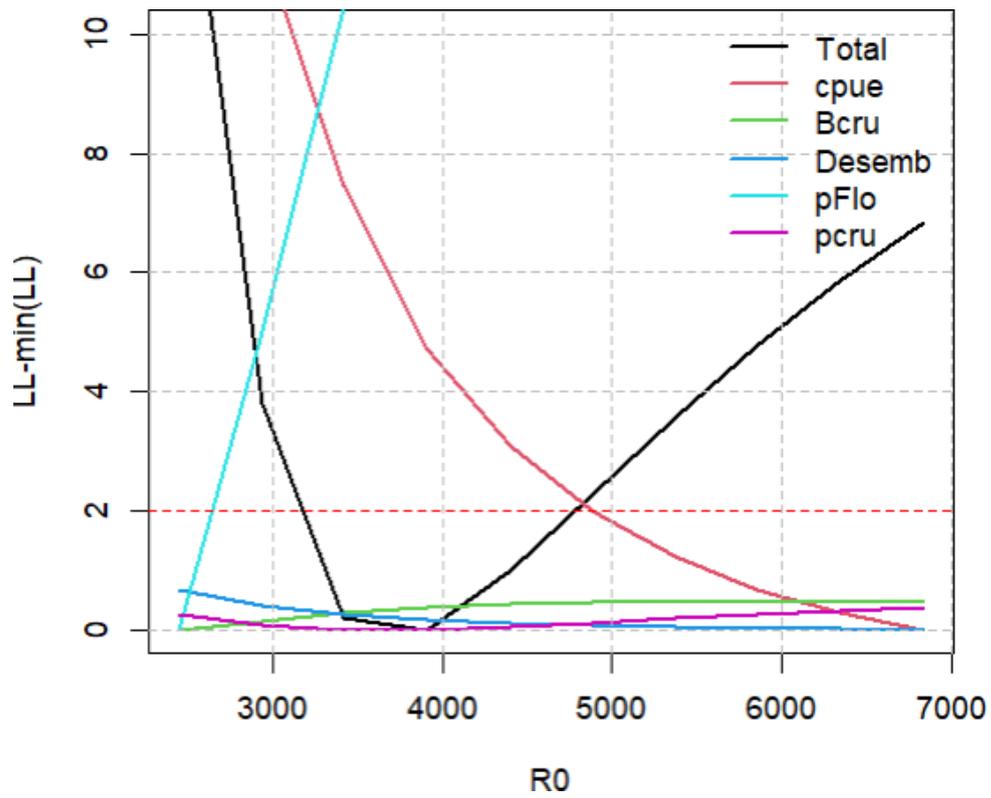


Figura 11. Perfil de verosimilitud sobre el reclutamiento virginal (R_0) en macarela

3. Indicadores de Diagnóstico Poblacional

Una vez obtenidos los nuevos parámetros de historia de vida que se emplearán en las evaluaciones de stocks de macarela y picudillo, se procedió a actualizar los valores de los indicadores de diagnósticos para estas especies, dónde el indicador relativo para macarela B/BRMS incrementó de 0.55 a 0.91 (objetivo igual o mayor a 1.0), mientras el índice de sobrepesca F/FRMS pasó de 2.80 a 1.22 (objetivo es menor a 1.0).

Para el caso de picudillo el cambio en los indicadores fue más marcado, dónde el valor de B/BRMS incrementó de 0.17 a 0.88 y el índice de sobrepesca F/FRMS disminuyó de 6.17 a 0.45. Se determina el nivel de éxito o el estado de salud en general definido como la proporción de especies que se encuentran en torno $\pm 5\%$ del objetivo de manejo (RMS). Los resultados indican que el 67% de las especies al 2021 alcanzaron la condición objetivo.

Tabla 11. Cuadro comparativo de los indicadores de diagnóstico de los stocks de pelágicos pequeños del Ecuador 2017-2021 recalculado para macarela y picudillo. El Éxito se mide como la proporción de especies que se encuentren en torno $\pm 5\%$ del objetivo de manejo

Especie	2017		2019		2020		2021	
	B/B _{rms}	F/F _{rms}						
Botella	0.28	4.25	1.15	0.69	0.95	2.04	0.99	1.10
Chuhueco	0.43	0.56	0.35	0.95	1.38	0.14	1.28	0.31
Macarela	0.58	1.84	0.73	0.24	0.78	1.03	0.91	1.22
Picudillo	0.15	0.20	0.35	0.76	0.23	2.45	0.88	0.45
Pinchagua	0.80	1.57	1.03	0.38	1.10	0.16	0.98	0.35
Sardina	0.08	0.07	0.68	0.67	0.58	0.27	0.98	0.27
Promedio	0.38	1.42	0.71	0.62	0.83	1.02	1.00	0.62
Éxito	0%	50%	33%	100%	33%	67%	67%	67%

4. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos se puede concluir que:

- La información de composiciones de tallas de las capturas de macarela y picudillo proveen información para la estimación de parámetros de crecimiento. Esta metodología puede ser explorada en las restantes especies pelágicas, particularmente en aquellos casos en que las composiciones de tallas muestren polimodalidad.
- Para el uso del modelo de análisis de composiciones de tallas de las capturas (MCCT) se deben elegir de manera única y no repetitiva, aquellas composiciones de tallas que provea información de grupos de tallas modales.
- Las estimaciones de parámetros de crecimiento para picudillo discrepan notablemente de los empleados en la evaluación de stock (menor L_{∞} y mayor k), mejoran notablemente el ajuste del modelo a los datos y el estado de situación de la población. De acuerdo con esto, el stock se ubicaría ligeramente por debajo del objetivo de manejo
- La incorporación de más bloques de selectividad en el modelo de macarela mejoró el desempeño de residuales sin mayor efecto sobre el estado de situación del recurso analizado. La inclusión de la serie de datos de hidroacústica en la evaluación de macarela genera un patrón retrospectivo relevante y un cambio notable en los Puntos Biológicos de Referencia (PBR).
- Los perfiles de verosimilitud indican que la evaluación de stock de macarela está sustentada por la información que provee la CPUE y las composiciones de tallas de las capturas. Sin embargo, ambas piezas de información resultan inconsistentes y por ende se debería reducir el tamaño muestral o bien incluir bloques de variaciones en la capturabilidad de la flota.
- El mejor ajuste del modelo a los datos de macarela se obtiene con 9 bloques de selectividad y parámetros de crecimiento estimados por MCCT. Además de esto, la condición del recurso mejora notablemente pero aún por debajo del objetivo de manejo.
- La incorporación de mejoras en la evaluación de macarela y picudillo determinaron una mejora en el estado de situación general del ensamble de especies, reflejado en que al 2021 el 67% de las especies alcanzaron la condición objetivo (variación de $\pm 5\%$ respecto del objetivo de manejo).