

ANEXO I

ANÁLISIS DE LA CAPTURA POR UNIDAD DE ESFUERZO (CPUE)

Índice

ANÁLISIS DE LA CAPTURA POR UNIDAD DE ESFUERZO (CPUE)	2
1. Antecedentes	2
2. Metodología	2
3. Resultados de la estandarización de las tasas de captura (CPUE)	6
4. Análisis alternativo: Modelo Tweedie con interacciones	10
5. REFERENCIAS	13



ANÁLISIS DE LA CAPTURA POR UNIDAD DE ESFUERZO (CPUE)

1. Antecedentes

Utilizando modelos lineales generalizados (GLM), se realizó la estandarización de las tasas de captura de sardina austral para la flota artesanal que operó en aguas interiores de la Región de Los Lagos entre los años 2007 y 2020. La información proviene de las naves que participaron de la pesca de investigación a cargo de IFOP hasta el primer semestre de 2012 y luego, de los registros obtenidos por el Programa de Seguimiento de las Pesquerías Pelágicas Centro-Sur (Bitácoras de pesca IFOP). La base de datos estuvo conformada por observaciones de capturas, en donde los rendimientos son expresados como toneladas (t) de sardina austral por viaje de pesca (v).

2. Metodología

En los modelos lineales generalizados (GLM; McCullagh y Nelder, 1989), la CPUE es predicha como una combinación lineal de variables explicativas y el principal objetivo es estimar el efecto anual. Existen varias alternativas para modelar las tasas de captura (CPUE) a través de un GLM y su uso depende de las características de la variable a modelar. En este caso, se evaluaron los modelos Delta log-normal y Delta-gamma (Ortiz y Arocha, 2004), que permiten modelar separadamente las tasas de captura exitosas y el número de éxitos de captura. De esta manera, valor anual de la CPUE, es obtenido como el producto entre la proporción de éxitos de pesca, obtenido a partir de un modelo Binomial y el índice estimado para las tasas de captura con pesca (modelo log-normal y gamma).

Se consideró, además, una aproximación que utiliza una distribución Poisson-compuesta para modelar la CPUE (Dunn y Smyth, 2005; Shono, 2008; Tascheri *et al.*, 2010). Esta aproximación permite modelar de forma conjunta las tasas de captura y la proporción de éxito de pesca.

La elección del modelo que describe de mejor manera la variabilidad en las tasas de capturas se basó en los supuestos de distribución de la variable respuesta y sus residuos y en el porcentaje total de varianza explicada en cada caso.

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

$$\ln(CPUE)_{i,j,k,l} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + t_l + \varepsilon_{i,j,k,l}, (Log - normal) \quad (1)$$

$$CPUE_{i,j,k,l} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + t_l + \varepsilon_{i,j,k,l}, (Gamma, Poisson - compuesta) \quad (2)$$

Donde,

- μ = media general o intercepto
- α_i = factor año
- β_j = factor mes
- γ_k = factor zona
- t_l = factor capacidad de bodega CTG
- $\varepsilon_{i,j,k,l}$ = error aleatorio con media cero y varianza (σ^2) constante.

El análisis consideró como año de partida el 2007 debido a que la información de la procedencia de los lances de pesca comenzó a ser registrada a partir de ese año. De acuerdo con las cuadrículas señaladas por Aranís *et al.*, 2008 (**Figura 1**), la zona de estudio fue dividida en zona norte = Z1 (A, B,C), centro = Z2 (D,E,F) y sur = Z3 (G,H,I), de manera de incorporar el factor espacial en la estandarización de las tasas de captura. Para modelar el tamaño de las embarcaciones como fuente de variabilidad, se utilizaron de manera arbitraria, 6 categorías de capacidad de bodega (CTG): ≤ 30 m³, 31-40, 41-50, 51-60, 61-70 y ≥ 70 m³.

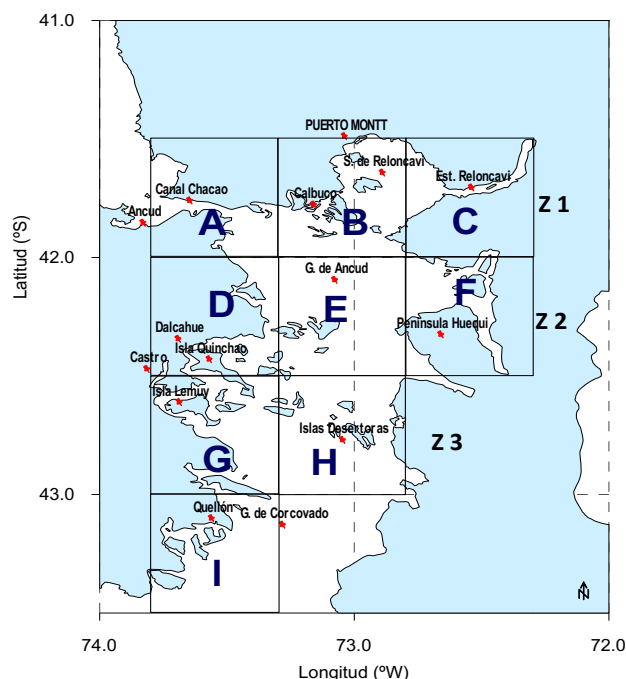


Figura 1. Áreas de Pesca de la captura sardina austral en las Aguas Interiores del Mar de Chiloé señaladas por Aranís *et al.*, 2014.

A partir del año 2013, el número de registros disminuyó considerablemente debido a que el monitoreo de la actividad extractiva se realiza a través del programa de seguimiento de la pesquería centro-sur (Aranís *et al.*, 2014). El programa solo registra la información de las naves que al llegar a puerto (Calbuco) reportan la captura de sardina austral (**Tabla 1**). Por el contrario, entre los años 2006 y 2012, los registros provenían de la pesca de investigación donde gran parte de las naves autorizadas, estaban inscritas en la pesca y ellas estaban obligadas a informar recalada, captura y permitir actividades de toma de información biológico-pesquera por parte de IFOP.

Tabla 1. Número de registros provenientes de la bitácora por año y zona, zona norte (A, B, C); zona centro (D, E, F); zona sur (G, H, I). * No se muestran los años 2005 y 2006.

Año	Norte	Centro	Sur	Total
2007	768	672	186	1626
2008	1090	477	22	1589
2009	1629	295	-	1924
2010	1141	109	24	1274
2011	576	116	133	825
2012	240	442	31	713
2013	15	46	30	91
2014	97	52	15	164
2015	60	95	3	158
2016	40	16	12	68
2017	34	12	17	63
2018	20	60	45	125
2019	19	129	60	208
2020	21	60	101	182

La actividad de la flota en las diferentes zonas de pesca (**Figura 2**), muestra que los lances se concentran principalmente en la zona norte del área de operación (Z1). Sin embargo, los años 2012, 2013, 2015 y 2019, los lances se realizaron mayoritariamente en la zona centro (Z2). En la zona sur (Z3) en tanto, la actividad es menor, aunque el año 2011 el número de lances superó a los realizados en la zona centro. A partir del año 2013, la información no es totalmente comparable con los años previos, ya que solo corresponde a información parcial. Sin embargo, el año 2014, se aprecia la misma dinámica observada hasta el año 2011, donde la mayor actividad de la flota, se registra en la zona norte del área de estudio, cercana al principal puerto de desembarque (Calbuco). Este patrón no se repitió los años 2015 a 2019, cuando se registró mayor información en la zona centro (Z2).

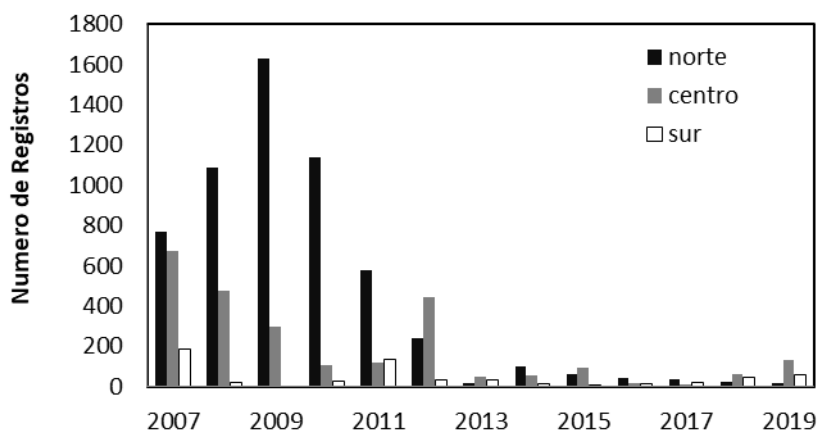


Figura 2. Número de viajes totales registrados por zona de pesca, de la flota que operó sobre sardina austral entre enero de 2007 y diciembre de 2019.

Al interior del año, el análisis de la información agrupada en escala mensual, indica que los viajes tienden a concentrarse entre febrero y junio, disminuyendo considerablemente entre julio y octubre (**Figura 3**). Esta dinámica está asociada al agotamiento de la cuota y a la veda reproductiva que se fija entre septiembre y octubre. Además, hacia final de año, generalmente se asigna un remanente de cuota que se captura en los meses de noviembre y diciembre.

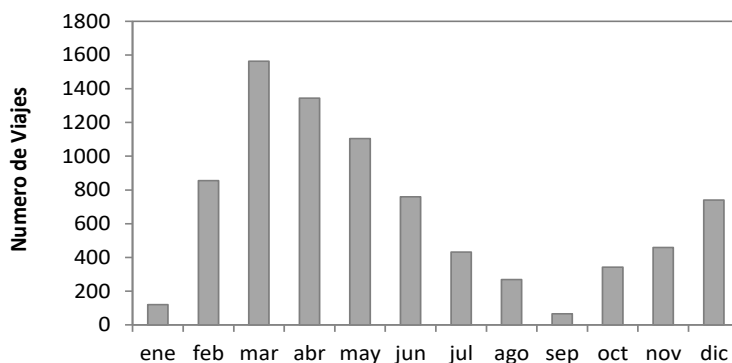


Figura 3. El número de viajes por mes contabilizados desde la flota que operó sobre sardina austral entre los años 2007 y 2019.

El análisis de los rendimientos de pesca nominales (RPN), indica que, durante los años 2014 y 2015, la mediana alcanzó valores en torno a las 40 t. por viaje con pesca (t/vcp), por sobre niveles observados al principio de la serie, aunque los cuartiles de dispersión también son más amplios. A partir del año 2016, se aprecia una reducción en los rendimientos de pesca hasta el año 2018 donde se aprecian los menores valores de toda la serie, independientemente si consideran todos los viajes o solo aquellos con valores mayores a 5 t/v (Figura 4).

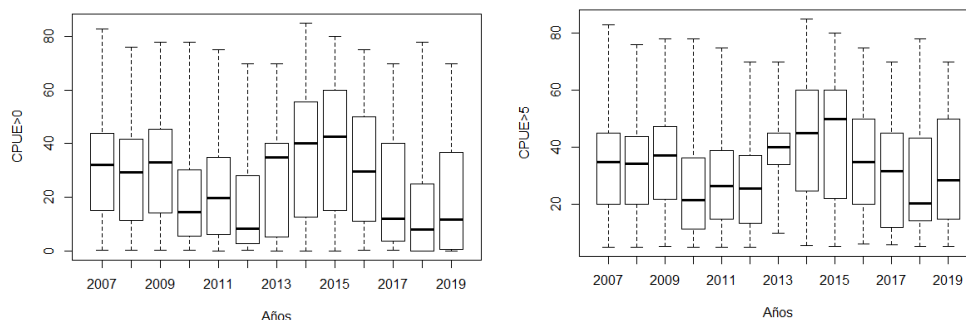


Figura 4. Variabilidad de los rendimientos de pesca nominales obtenidos por la flota que operó sobre sardina austral entre los años 2007 y 2019. Todos los viajes (panel izquierdo), solo los viajes con capturas mayor a 5 toneladas (panel derecho).

El análisis por zona: norte (1), centro (2) y sur (3), muestra que la zona 1, donde se concentran los registros, el año 2016 evidenció un incremento en el valor medio en los RPN. En la zona 2 en tanto, ocurre lo contrario. Mientras los años 2014 y 2015, fueron los mayores observados, los años 2017 y 2018 disminuyen considerablemente (Figura 5) en las tres zonas, excepto el 2017 en la zona 3. En esta misma zona, los registros pesqueros dan cuenta de rendimientos medios comparativamente más altos, seguidos de la 2 y 1 respectivamente (Figura 6).

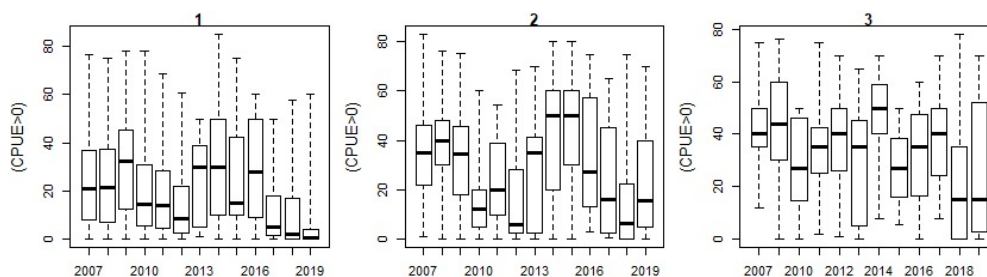


Figura 5. Variabilidad media en los rendimientos de pesca nominales por zona de pesca y año, obtenidos por la flota que operó sobre sardina austral entre los años 2007 y 2019.

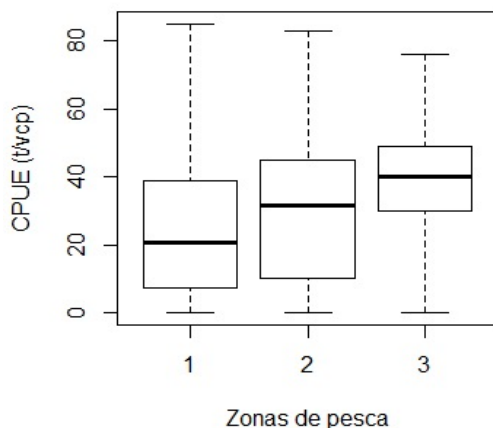


Figura 6. Variabilidad media total en los rendimientos de pesca nominales por zona de pesca, obtenidos por la flota que operó sobre sardina austral entre los años 2007 y 2019.

3. Resultados de la estandarización de las tasas de captura (CPUE)

El análisis gráfico preliminar, realizado para establecer el tipo de distribución de la variable respuesta, indica que la CPUE de los viajes totales (**Figura 7a**) y de los viajes con pesca (**Figura 7b**), difieren de una distribución normal en su escala logarítmica. Esta condición, supone que la modelación de la CPUE a través de una aproximación log-normal, no sería apropiada. Tal supuesto, se confirma al analizar la distribución de los residuos. Cuando se modeló la CPUE asumiendo una aproximación log-normal, el histograma de los residuos evidenció una asimetría positiva en relación a la distribución esperada. El gráfico qq-plot también revela una divergencia entre la distribución esperada y la observada (**Figura 8**). En el caso de los modelos Gamma y Poisson compuesta (tweedie), su estructura ofrece mayor independencia del tipo de distribución de la variable respuesta. En efecto, el análisis de residuales en ambos casos demuestra, en comparación al modelo log-normal, más similitud entre los valores observados y los predichos (**Figura 9**). De esta manera, en el presente análisis, solo son presentados los resultados de los modelos Delta-Gamma y Poisson compuesta.

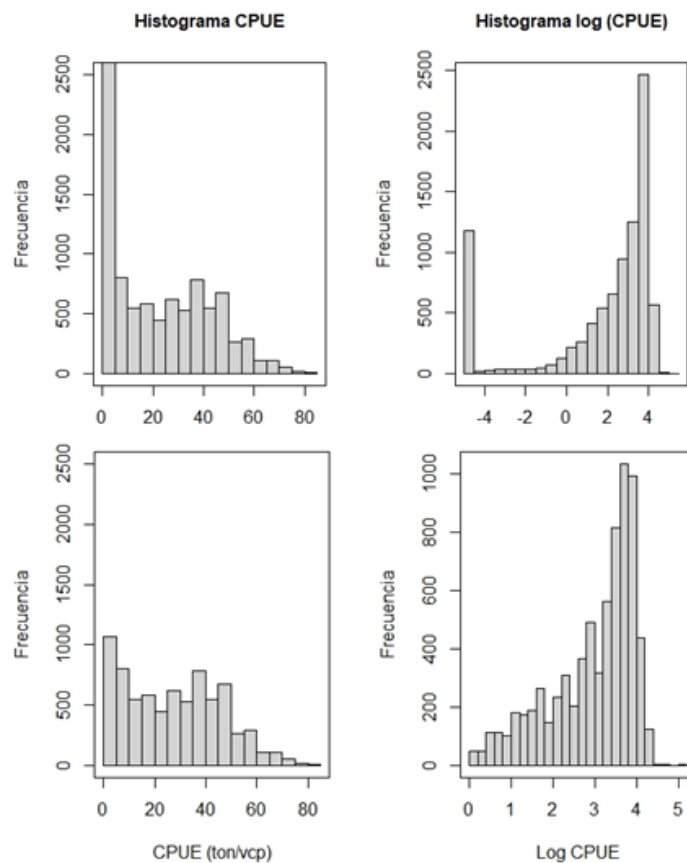


Figura 7. Distribución de frecuencia de la CPUE en escala real y logarítmica. Panel superior: total de viajes registrados, Panel Inferior: Solo viajes con pesca.

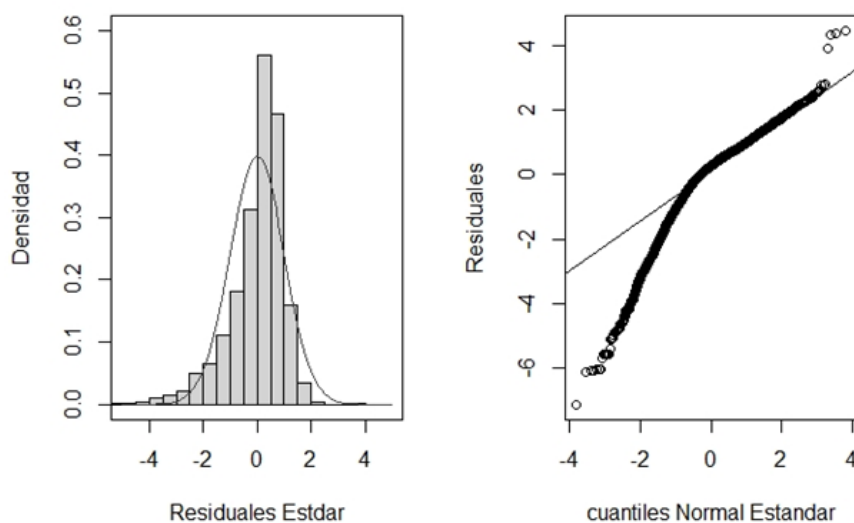


Figura 8. Análisis de los residuos en la estandarización de la CPUE a través del modelo log-normal.

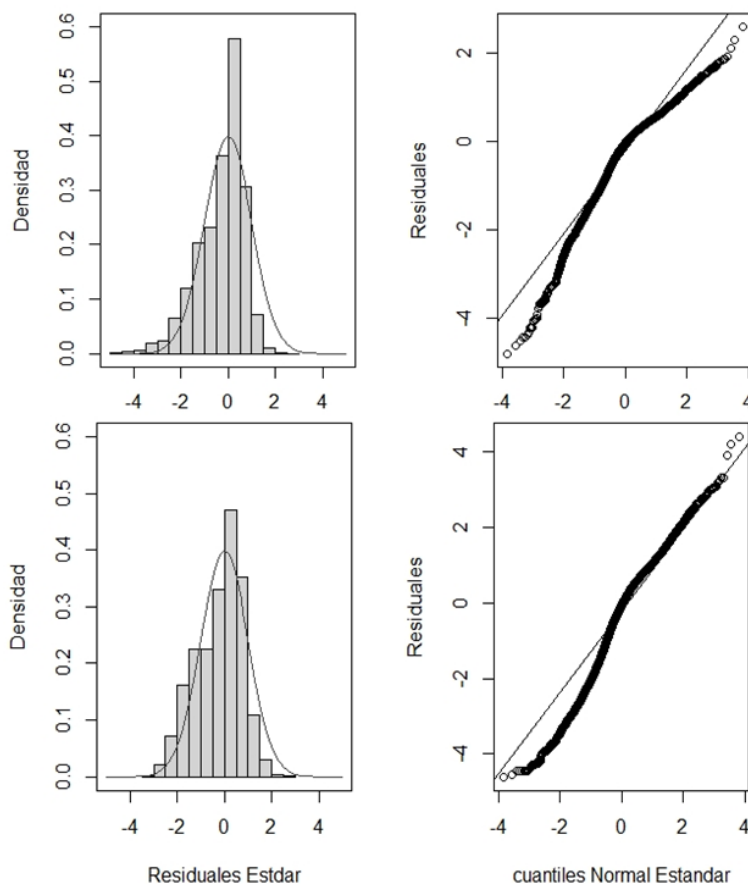


Figura 9. Análisis de los residuos en la estandarización de la CPUE a través de, Panel superior: modelo Gamma y Panel Inferior: Poisson compuesta.

Los resultados de los modelos Delta Gamma (Binomial+Gamma) y Tweedie, muestran amplia similitud en sus tendencias y en menor grado en su magnitud. La tendencia de ambos modelos, es concordante con la señal del índice nominal, excepto el año 2015, donde la CPUE nominal muestra un incremento respecto del año 2014. El año 2016 ambas señales (nominal y estandarizadas) disminuyen y los años 2017 y 2018 muestra los valores más bajos de la serie, aunque también coinciden en un incremento relativo durante el 2019 y un importante aumento en el rendimiento del último año (**Figura 10**).

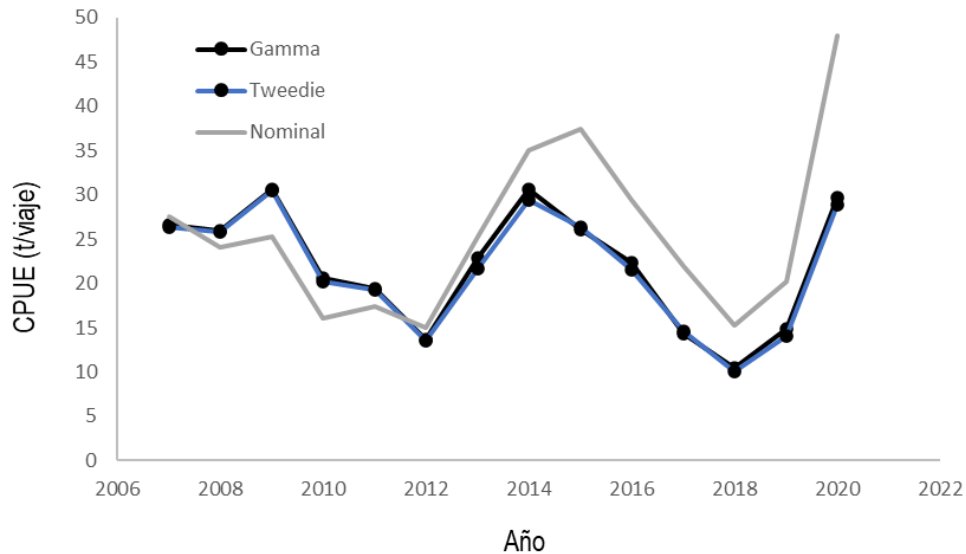


Figura 10. CPUE nominal y estandarizada por dos Modelos Lineales Generalizados en la pesquería de sardina austral en aguas interiores de la Región de Los Lagos.

El análisis de devianza del GLM (**Tabla 2**) indica que los modelos Gamma y Tweedie, explican un 11,5 % y 15,7 % de la variabilidad total respectivamente. De los predictores considerados en la estandarización (rangos de capacidad de bodega, mes, año y zona), en cada caso, el factor año aporta con el mayor grado de explicación de la CPUE, con un 5.5 % y 7.5 % de la devianza total.

El análisis de distribución de los residuos, así como el porcentaje de devianza explicada, indican que el modelo más apropiado para describir la CPUE de sardina austral, considerando la información analizada y los factores incluidos en la estandarización corresponde el modelo Poisson compuesta (Tweedie).

Tabla 2. Tabla de análisis para el GLM de los datos de captura de sardina austral.

Factor	G.L.	Gamma $R^2 = 11,5 \%$	Tweedie $R^2 = 15,7 \%$
Año	13	5.5 %	7.5 %
Mes	11	2.2 %	2.9 %
CB	5	2.0 %	2.9 %
Zona	2	1.8 %	2.4 %

Se considera que el modelo Poisson compuesta podría representar actualmente, de mejor manera las variaciones en las tasas de captura y es usado como calibrador en el modelo base de evaluación de stock. Para este modelo, la variabilidad de cada factor y su comportamiento sobre la media de las tasas de captura, se muestra en la **Figura 11**. Las tasas de captura a nivel del factor mes muestran valores altos durante el primer semestre y una reducción en el sexto y el noveno mes, evidenciando la estacionalidad en las capturas. En el caso de los rangos de capacidad de bodega (6 categorías) se aprecia un incremento en las tasas de captura con el aumento en la capacidad de bodega de las naves. El factor año en tanto, muestra una fuerte reducción entre año 2010, 2012 y 2017 y un importante incremento durante el último año de análisis. Por último, el factor zona indica que los mayores rendimientos promedios se obtienen hacia el sur del área de operación de la flota.

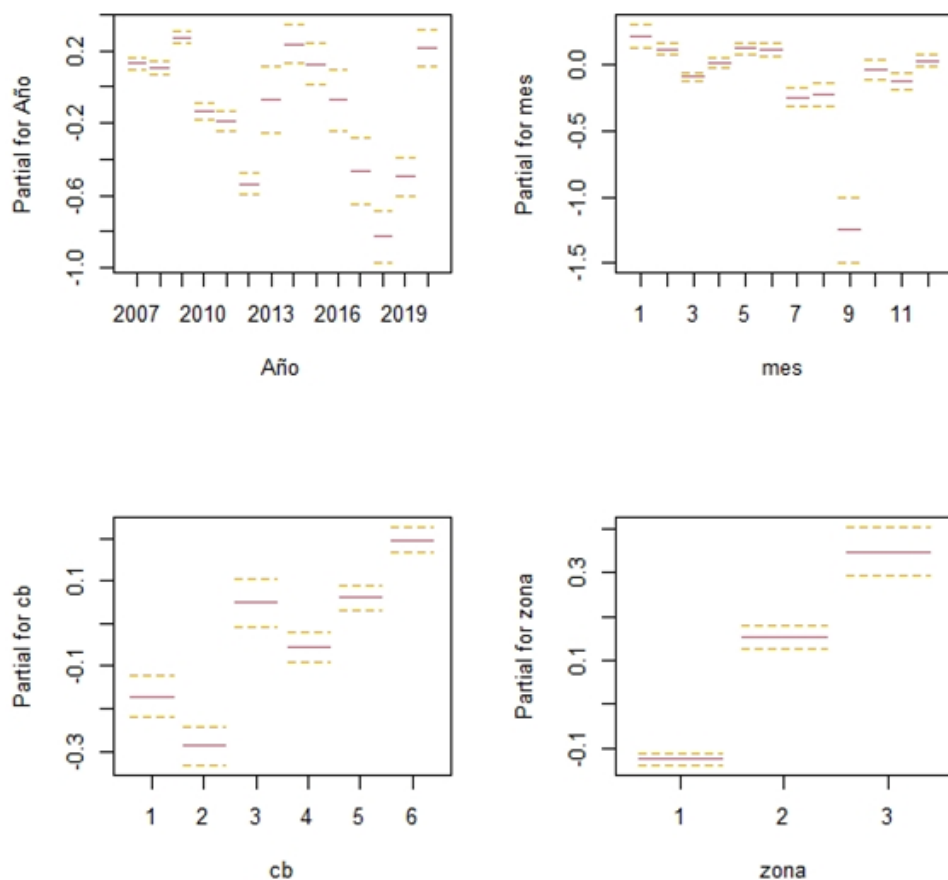


Figura 11. Resultados de los principales efectos del modelo de las tasas de capturas sardina austral para el modelo Tweedie.

A pesar que los residuos tienden a la normalidad y linealidad en el plano ortogonal (gráfico qq-plot), cada año se continúa explorando variadas aproximaciones para modelar la CPUE. Se considera que la actual aproximación, permite explicar de manera general la variabilidad en las tasas capturas en la pesquería de sardina austral en aguas interior de la Región de Los Lagos y es consistente con la tendencia de los desembarques e índice acústico. De la misma manera, el modelo seleccionado sigue la tendencia en los rendimientos de pesca nominales (sin estandarizar) y la eficiencia de la flota en capturar la totalidad de la cuota asignada a partir del año 2013, excepto los últimos dos años.

4. Análisis alternativo: Modelo Tweedie con interacciones

Se incorpora un segundo análisis que considera interacciones entre factores. Las interacciones aquí consideradas fueron: año/zona y mes/zona. Estos análisis provienen de las recomendaciones realizadas en el Taller de Revisión Por Pares Externa e Independiente y priorizadas en los Comités Científicos.

El análisis se realiza solo considerando la aproximación tweedie. De acuerdo al análisis previo, éste representa hasta ahora, el mejor método para modelar los rendimientos en la pesquería de sardina austral en aguas interiores de la Región de Los Lagos.

Los resultados del análisis de devianza del GLM se presentan en la **Tabla 3** e indica que cuando se incluyen interacciones, el nivel de explicación incrementa desde 15,8 % hasta un 18.4 %.

Para el modelo con interacciones, la variabilidad de cada factor y su comportamiento sobre la media de las tasas de captura (**Figura 12**), no muestra diferencias evidentes con la aproximación original, sugiriendo que

el modelo con interacciones podría representar de mejor forma la variabilidad de la CPUE considerando el mayor nivel de explicación de la desviación. En la **Figura 13**, se muestra la variabilidad del índice estandarizado a través del modelo tweedie con interacciones. La evaluación de stock de sardina austral actualizada, utiliza el índice tweedie con interacciones (**Tabla 4**) como fuente de información para ajustar el modelo. Dicho modelo no advierte el incremento relativo en el índice nominal durante el 2019 manteniéndose en un nivel bajo, en torno a las 10 t/vcp. No obstante, para el último año se registra un aumento del rendimiento estandarizado por sobre el modelo sin interacciones, en torno a las 40 t/vcp, el más alto de toda la serie analizada.

Tabla 3. Tabla de análisis para el GLM de los datos de captura de sardina austral a través de 2 configuraciones para el modelo tweedie

Factor	G.L.	Tweedie $R^2 = 15,7\%$	Interacciones $R^2 = 18,4\%$
Año	13	7.5%	7.5%
Mes	11	2.9%	2.9%
CB	5	2.9%	2.9%
Zona	2	2.4%	2.4%
mes:zona	22		1.6%
Año:zona	25		1.1%

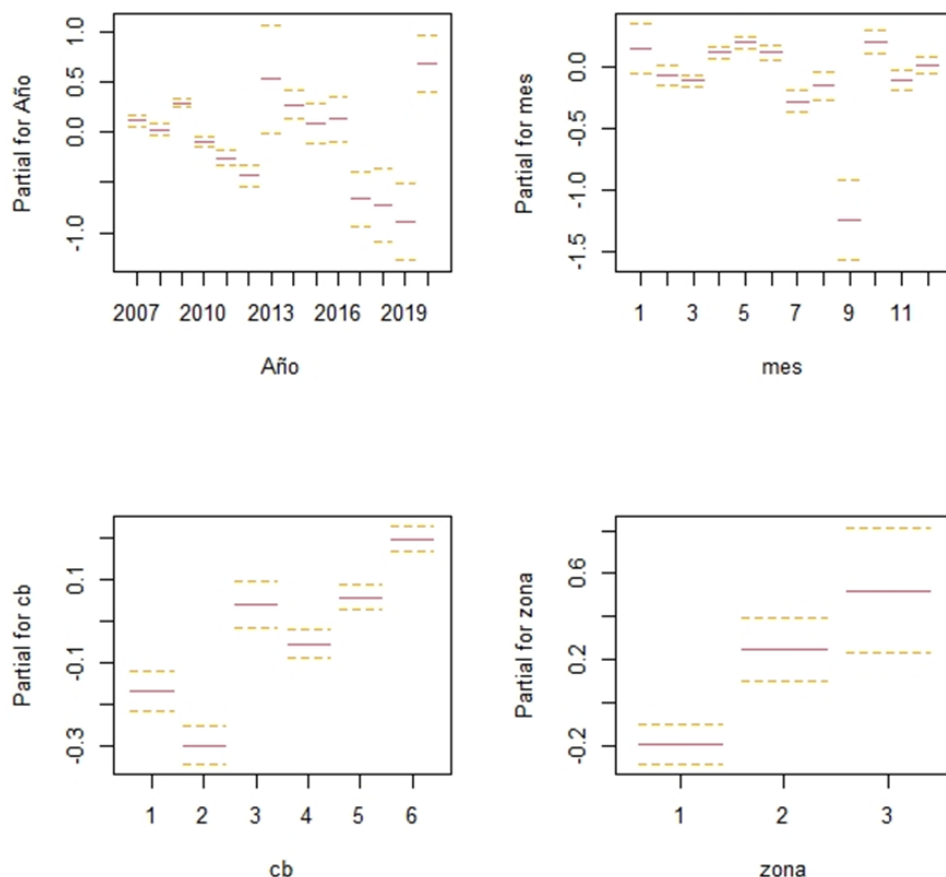


Figura 12. Resultados de los principales efectos del modelo de las tasas de capturas sardina austral para el modelo Tweedie con interacciones.

Tabla 4. Tabla de análisis estadísticos para el modelo tweedie con interacciones usado como índice en la presente evaluación de stock.

Factor	Df	Deviance	Resid. Dev	Pr (>Chi)
NULL			21063	
Año	13	1578.1	19485	< 2.2e-16
mes	11	604.52	18881	< 2.2e-16
cb	5	606.29	18274	< 2.2e-16
zona	2	508.02	17766	< 2.2e-16
mes:zona	22	345.38	17421	< 2.2e-16
año:zona	25	233.17	17188	< 2.2e-16



Figura 13. CPUE estandarizada por Modelos Lineales Generalizados tweedie con interacciones, en la pesquería de sardina austral en aguas interiores de la Región de Los Lagos.



5. REFERENCIAS

- Aranis A., A. Gómez; S. Mora; L. Ossa; K. Walker; L. Caballero; G. Eisele; F. Cerna; A. López; C. Machuca; L. Muñoz; C. Valero; M. Ramírez; V. Valdebenito; C. Vera. 2014. Informe Final, Programa de Seguimiento de las Pesquerías Pelágicas Zona Centro-Sur, 2013. Subsecretaría de Economía y EMT, Inst. Fom. Pesq. Valparaíso, Chile.
- Dunn, P.K., Smyth, G.K. 2005. Series evaluation of Tweedie exponential dispersion model densities. Stat Comput 15, 267–280. <https://doi.org/10.1007/s11222-005-4070-y>
- McCullagh P y J Nelder. 1989. Generalized linear models. Chapman and hall. London. 511 pp.
- Ortiz M y F Arocha. 2004. Alternative error distribution models for the standardization of catch rates of non-target species from a pelagic longline fishery: billfish species in the Venezuelan tuna longline fishery. Fisheries Research. 70: 275-297.
- Shono H. 2008. Application of the Tweedie distribution to zero-catch data in CPUE analysis. Fish. Res. 93, 154–162.
- Tascheri R., J.C. Saavedra-Nievas, R. Roa-Ureta. 2010. Statistical models to standardize catch rates in the multi-species trawl fishery for Patagonian grenadier (*Macruronus magellanicus*) off Southern Chile. Fish. Res. 105, 200–214.