

ESTUDIOS Y DOCUMENTOS

**INFORME FINAL
FIPA Nº 2017-51**

**ESTUDIO DE SELECTIVIDAD DE LAS ARTES UTILIZADAS POR LAS
FLOTAS INDUSTRIALES QUE OPERAN SOBRE M. MAGELLANICUS**

Licitación ID 4728-41-LQ17



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR Y GEOGRAFÍA
ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR
VALPARAÍSO – CHILE**

ESCUELA DE
CIENCIAS DEL MAR



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE
VALPARAÍSO



Título	Estudio de selectividad de las artes utilizadas por las flotas industriales que operan sobre <i>M. magellanicus</i>
Requirente	Subsecretaría de Pesca y Acuicultura Fondo de Investigación Pesquera y Acuicultura
Contraparte	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso Facultad de Ciencias del Mar y Geografía
Unidad ejecutora	Escuela de Ciencias del Mar Avenida Altamirano 1480 Casilla 1020 Valparaíso
Jefe de proyecto	Dante Queirolo Palma Pontificia Universidad Católica de Valparaíso Fono: 56-32-2274264 E-mail: dante.queirolo@pucv.cl

Equipo de Trabajo

Nombre	Función
Dante Queirolo	Jefe de proyecto, simulación dinámica y selectividad de tallas
Cristian Canales	Modelación de selectividad y evaluación del efecto sobre la conservación
Mauricio Ahumada	Análisis de capturabilidad y selectividad de tallas
Pedro Apablaza	Jefe de operaciones, caracterización del arte y desempeño operacional
Andrés Flores	Análisis estadísticos
Nicolás Adasme	Apoyo en análisis de evaluación de selectividad
Nazareth Sánchez	Proceso de datos y apoyo en análisis de evaluación de efectos sobre la conservación
José Merino	Jefe de muestreo, levantamiento de planos
Víctor Zamora	Dibujo en Autocad y apoyo a operaciones
Roberto Escobar	Toma de datos a bordo y apoyo en simulación dinámica
René Riffo	Trabajo a bordo de nave pesquera
Rodolfo Muñoz	Trabajo a bordo de nave pesquera
Técnicos muestreadores	Toma de datos a bordo
Técnicos de apoyo	Digitación y preparación de bases de datos

Queirolo, D., C. Canales, M. Ahumada, P. Apablaza & A. Flores. 2019. Estudio de selectividad de las artes utilizadas por las flotas industriales que operan sobre *M. magellanicus*. Informe Final. Informe técnico FIPA N°2017-51. 106 pp.

Resumen Ejecutivo

El presente informe proporciona los resultados obtenidos durante la ejecución del proyecto FIPA N° 2017-51 “Estudio de selectividad de las artes utilizadas por las flotas industriales que operan sobre *M. magellanicus*”. A partir de la revisión de la literatura técnica y científica disponible acerca de selectividad de tallas de peces de las familias Merlucciidae y Gadidae, se demuestra que la selectividad de tallas usando redes de arrastre es variable en función del tamaño de luz de malla que se utiliza para la su captura, y de los sistemas o dispositivos de escape que se consideren en las redes.

Luego de la revisión de antecedentes disponibles y de la consulta a los armadores que participan en la pesquería, se reconoce una cantidad relativamente baja de modelos de redes de arrastre, algunos correspondientes a redes de fondo y otras a mediagua. Sin embargo, también se reconoce que existe gran variedad de copos distintos para un mismo modelo de red, lo que responde a la variabilidad estacional y espacial de la dinámica del recurso y de su composición de tamaños.

En este sentido, se determinó mediante GLM que la flota arrastrera hielera tiende a capturar ejemplares de mayor tamaño en comparación a la flota arrastrera fábrica, no obstante existe variación interanual de las tallas capturadas que puede afectar la interpretación de estos resultados. En lo anterior puede haber influencia no solo del arte de pesca y sus propiedades, sino también de la composición poblacional vulnerable.

Se implementó un procedimiento tendiente a conocer la selectividad teórica de mallas entre 110 y 140 mm de luz, con coeficientes de abertura entre 0,2 y 0,7. Esto permite disponer no solo de resultados experimentales a bordo de barcos de la flota, que desde ya resulta altamente complejo, sino también de múltiples otros tamaños y configuraciones de mallas. Se demostró que a un mismo tamaño de luz de malla es posible obtener longitudes de primera captura diferentes en función del coeficiente de abertura. A modo de ejemplo, una malla de 120 mm de luz con un coeficiente de abertura de 0,3 proporcionaría una longitud de primera captura de 50 cm LT, sin embargo si esa misma malla puede operar con un coeficiente de abertura de 0,35 se lograría una talla de primera captura de 56 cm LT.

Dicho resultado es consistente con los resultados obtenidos en la prueba con copo cubierto en la red Halcones (zona centro-sur) que emplea una luz de malla de 120 mm. Se ajustaron los parámetros de la ojiva de selectividad para capturas obtenidas con dicha red, estimándose en 52,1 cm LT la talla de primera captura, mientras que el factor de selectividad correspondió a 0,43. Para el caso de la red Gloria 1408 usada en la zona sur-austral, la evaluación de la selectividad empírica de la

red no resultó exitosa y los resultados no son consistentes tampoco con la selectividad teórica. Por lo tanto, se recomienda emplear a modo referencial la selectividad teórica de una malla de 130 mm con coeficiente de abertura de 0,25, que equivale a una talla de primera captura de 57,45 cm LT.

En cuanto a las consecuencias sobre la conservación del recurso, los análisis mostraron que la selectividad empírica tiene menor incidencia sobre los individuos de clases menores a 6 años para las dos flotas analizadas, respecto del patrón de explotación de la pesquería. Considerando la selectividad empírica para la zona centro-sur ($L_{50}=52,1$; $RS=11,63$) y la selectividad teórica en el caso de la zona sur-austral ($L_{50}=57,45$; $RS=4,21$), se concluye que la flota centro-sur vulneraría, por diseño, ejemplares de menor edad respecto de la flota arrastrera sur-austral.

Se han implementado modificaciones en una proporción de la flota para evitar la captura de ejemplares de la especie objetivo de bajo interés comercial (e.g. < 55 cm LT), específicamente mediante un cambio en la configuración de las mallas del copo usando mallas rotadas (años 2015 y 2016) en lugar de malla romboidal tradicional (años 2013 y 2014). Se demuestra una reducción en la proporción de ejemplares bajo 55 cm LT, sin embargo puede existir un efecto interanual significativo.

Si bien lo anterior representa un avance, es necesario evaluar e implementar medidas para la reducción del impacto sobre peces juveniles que sean efectivas y estándar para la flota en su conjunto. Luego de analizar las filmaciones submarinas hechas en redes usadas por las naves Bonn, Polaris II, Friosur VIII, Friosur X y Unzen, se observó que merluza de cola presenta una natación activa al interior de los copos de las redes filmadas, demostrando que posee resto suficiente para intentar un escape activo. Dado esto, y debido a la necesidad de ofrecer a los peces de menor tamaño una vía de escape, se concluye la necesidad de incorporar una sección de escape de malla cuadrada, de 100 mm de luz de malla, de material trenzado sin nudo, que se ubique entre el antecopo y el copo de las redes, lo cual debería ser evaluado en la pesquería en un período de tiempo prolongado.

Abstract

This report presents the results obtained during the execution of the FIPA 2017-47 project “Selectivity in trawl nets used by industrial fleets catching *M. magellanicus*”. Beginning with the available technical and scientific literature about the selectivity of the fish sizes of the Merlucciidae and Gadidae species, it has been demonstrated that the size selectivity, using trawl nets varies in terms of the mesh size used for the catch, and the systems and escape devices considered on the nets.

Following the available records and the consultation to the shipowners involved in the fishery, a relatively small quantity of trawl nets models was recognized; some of them corresponding to bottom trawl and some others to mid-water trawl. However, it is also recognized a great variety of different codends for the same net model, which corresponds to the seasonal and spatial variability of the resource dynamics, and to the size composition.

In this sense, through a GLM it was determined that the stern trawl fleet tends to catch bigger size specimens in comparison to the factory trawl fleet; nevertheless, there is an interannual variation of the caught sizes that can affect the interpretation of these results. This can be affected not only by the trawl nets and their properties, but also by the vulnerable composition of the population.

A procedure tending to set the theoretical selectivity of the nets between 110 and 140 mm, with spread coefficients of 0.2 and 0.7 was established. This allows to have the results not only from experiments carried out on board of the fleet, which is highly complicated, but also from different net sizes and configurations. It was also demonstrated that using this mesh size, it was possible to obtain different lengths on the first catch in terms of spread coefficients. For example, a 120 mm mesh with a spread coefficient of 0.3 would provide a first catch length of 50 cm LT; however, the same mesh with a 0.35 spread coefficient would deliver a first catch size of 56 cm LT.

This result is consistent with the results obtained in the codend test carried out with the Halcones net (center-southern area) using a 120 mm mesh size. The parameters of the selectivity ogive for catches obtained with this net were adjusted, being the size of the first catch calculated in 52.1 cm LT, white the selectivity factor corresponded to 0.43. In the case of the Gloria 1408 net, used in the southern area, the empiric evaluation of the net selectivity was not successful, and the results were neither consistent with the theoretical selectivity. Thus, as a reference, the theoretical selectivity by using a 130 mm mesh with a spread coefficient of 0.25 is recommended, which equals to a first catch size of 57.45 cm LT.

In terms of the consequences for the conservation of the resources, the analysis proved that the empirical selectivity has a lower incidence on specimens below 6 years for both of the analyzed fleets regarding to the patterns of fishery exploitation. Considering the empirical selectivity of the center-southern area ($L_{50}=52.1$; $RS=11.63$), and the theoretical selectivity in the case of the southern area ($L_{50}=57.45$; $RS=4.21$), it can be determined that, in comparison with the southern trawl fleet, the center-southern fleet affects, by design reasons, to younger specimens.

Some modifications have been implemented in part of the fleet in order to avoid the catch of specimens of the target species with a low commercial interest (e.g. < 55 cm LT), specifically changing the codend meshes to turned meshes (2015 and 2016) instead of the traditional rhomboid-meshed net (2013 and 2014). This shows a reduction in the ratio of specimens under 55 cm LT; however, a significant interannual effect can emerge.

While this represents an improvement, it is necessary to evaluate and to implement effective and standard measures for reducing the impact on juvenile fishes of the fleet. After analyzing the submarine shootings of the nets used by the Bonn, Polaris II, Friosur VIII, Friosur X and Unzen ships, it was observed that the Chilean hoki presents an active swimming inside the cod ends on the nets recorded, proving that it has enough energy to actively attempt to escape. For this, and due to the necessity for providing with an escape route to lower size fishes, it can be concluded that the need for incorporating a 100 mm, knotless, twisted, square mesh escape section between before the cod end and the cod end of the nets should be assessed by the industry during a long-term period.

Índice General

1. OBJETIVO GENERAL.....	1
2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	1
3. ANTECEDENTES	2
4. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	5
Objetivo específico 1. Caracterizar los artes de arrastre en uso en la flota que opera sobre la pesquería de merluza de cola en toda el área de distribución.	5
4.1.1. Revisión bibliográfica.....	6
4.1.2. Levantamiento de información	7
4.1.3. Índices y relaciones para caracterización de redes	7
4.1.4. Simulación dinámica.....	7
4.1.5. Variación en la composición de tamaños de merluza de cola	8
Objetivo específico 2. Evaluar la selectividad de las redes actualmente utilizadas en la pesquería del recurso, en términos de las tallas de los ejemplares retenidos.	10
4.2.1. Selectividad teórica	10
4.2.2. Actividad experimental	12
4.2.3. Modelamiento de las curvas selectivas.....	13
4.2.4. Proporciones de retención respecto a tallas de referencia	16
4.2.5. Estudio del comportamiento de merluza de cola y daños asociados a escape.....	17
Objetivo específico 3. Analizar las consecuencias sobre la conservación del recurso de la selectividad de las redes de arrastre utilizadas y proponer mejoras conforme a objetivos de conservación y manejo.	19
4.3.1. Desvíos en selectividad.....	19
4.3.2. Impacto en las medidas de conservación.....	20
4.3.3. Significancia del efecto selectivo	22
4.3.4. Simulación del efecto de la combinación esfuerzo de pesca vs tamaño de malla	22
Objetivo específico 4. Evaluar experimentalmente el desempeño de las redes de arrastre con las mejoras introducidas de acuerdo a los resultados obtenidos en el objetivo 3 y elaborar las recomendaciones sobre la base de lo anterior.	23

5. RESULTADOS.....	25
Objetivo específico 1. Caracterizar los artes de arrastre en uso en la flota que opera sobre la pesquería de merluza de cola en toda el área de distribución	25
5.1.1 Revisión bibliográfica.....	25
5.1.2 Información de los artes de pesca.....	30
5.1.3 Índices y relaciones para caracterización de redes	32
5.1.4 Simulación dinámica.....	35
5.1.5 Relación entre tamaños de captura y modelos de redes de arrastre	36
Objetivo específico 2. Evaluar la selectividad de las redes actualmente utilizadas en la pesquería del recurso, en términos de las tallas de los ejemplares retenidos	42
5.2.1 Selectividad teórica	42
5.2.2 Experiencias de selectividad	47
5.2.3 Proporciones de retención respecto a tallas de referencia	55
5.2.4 Comportamiento de merluza de cola.....	58
5.2.4. Evidencias de daños asociados al proceso de escape	68
Objetivo específico 3. -Analizar las consecuencias sobre la conservación del recurso de la selectividad de las redes de arrastre utilizadas y proponer mejoras conforme a objetivos de conservación y manejo.....	73
Objetivo específico 4. Evaluar experimentalmente el desempeño de las redes de arrastre con las mejoras introducidas de acuerdo a los resultados obtenidos en el objetivo 4.3 y elaborar las recomendaciones sobre la base de lo anterior.	84
5.4.1. Propuestas de mejora.....	84
5.4.2. Análisis de uso de malla rotada (T90).....	87
5.4.3. Propuesta de modificación en copos	91
6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	95
7. CONCLUSIONES.....	101
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103

Índice de Tablas

Tabla 1. Buques que han presentado operación significativa sobre el recurso merluza de cola agrupadas por armadores relacionados. Se indica la Unidad de Pesquería en que operan regularmente los buques. Con * se destacan los buques con más de 1.000 ton anuales de desembarque en el período 2013-2016. Con + se señalan los buques que participaron en actividades del presente estudio.	3
Tabla 2. Niveles de daño aparente en ejemplares de merluza de cola empleadas en la experiencia.	18
Tabla 3. Resumen de estimados de selectividad de mallas obtenidas por Mituhasi et al. (2000) para <i>M. magellanicus</i>	25
Tabla 4. Resumen de experiencias de selectividad en Atlantic cod (<i>Gadus morhua</i>) y factores de selectividad estimados a partir de los trabajos realizados por: Bagge (1978); Bohl & Valencia (1976); Bohl (1980, 1981); Lowry et al. (1995); Netzel & Zaucha (1989); Olofsson & Otterlind (1978); Shevtsov (1981); Strzyzewski et al. (1973); Tschernij et al. (1996); Wienbeck & Dahm (2000). PA: poliamida; PE: polietileno.	26
Tabla 5. Resumen de modelos de regresión lineal para estimación de L50 en bacalao del Atlántico según diferentes configuraciones de copos. Barcos entre 290 y 1250 HP. Modificado de Madsen (2007). ms: luz de malla.	28
Tabla 6. Resumen de modelos de regresión lineal para estimación de L50 en bacalao del Atlántico (<i>Gadus morhua</i>), eglefino (<i>Melanogrammus aeglefinus</i>) y polaca (<i>Pollachius virens</i>) según diferentes configuraciones tamaños de luz de malla empleados. Modificado de Halliday et al. (1999). ms: luz de malla (entre 130 y 155 mm).	28
Tabla 7. Mortalidad después del escape bajo condiciones experimentales, según especie. GM: <i>Gadus morhua</i> . PV: <i>Pollachius virens</i>	29
Tabla 8. Modelo y especificaciones de redes registradas por observadores a bordo del IFOP.	30
Tabla 9. Cantidad de lances en los cuales ha sido registrado el uso de cada modelo de red de arrastre en la pesquería de merluza de cola entre 2010 y 2016.	31
Tabla 10. Altura, abertura y relación de aspecto de la boca de las redes que han sido caracterizadas a la fecha en la pesquería de merluza de cola.	32
Tabla 11. Longitud de relinga superior (LRS), relación Abertura/LRS y dimensiones de las mallas en las alas y copo de las redes que han sido caracterizadas a la fecha en la pesquería de merluza de cola. *valores nominales informados (no medidos). Entre paréntesis la desviación estándar de la luz de malla en la muestra. + redes de arrastre de mediagua. ++ redes de arrastre de fondo.	33
Tabla 12. Características de los sistemas de selección dispuestos en las redes de arrastre, de las mallas del copo y antecopo, y de los cinturones dispuestos en el copo. * Redes de arrastre de fondo, usadas en menor frecuencia para merluza de cola.	34
Tabla 13. Variables de salida de las simulaciones dinámicas realizadas en redes de arrastre usadas para la captura de merluza de cola, para velocidades de arrastre entre 3,0 y 4,3 nudos.	35
Tabla 14. Resumen estadístico de los tamaños de ejemplares de merluza de cola capturado por las naves seleccionadas. n: número de ejemplares.	36
Tabla 15. Resumen estadístico de la modelación de la talla de merluza de cola por el modelo lineal generalizado para las naves arrastrera hielera. GVIF: factor de inflación de la varianza generalizada; DF: grado de libertad; AIC: criterio de información de Akaike.	38
Tabla 16. Resumen estadístico de la modelación de la talla de merluza de cola por el modelo lineal generalizado para las naves arrastreras fábricas. GVIF: factor de inflación de la varianza generalizada; DF: grado de libertad; AIC: criterio de información de Akaike.	40

Tabla 17. Número de retenciones (N ^o retención), porcentaje de retención por tamaño de malla (TM, en mm) y abertura de la malla (AB) en la experiencia de selectividad teórica.....	43
Tabla 18. Parámetros de ajuste del modelo electivo logístico (a, b), tallas de primera captura (L50), rango selectivo (RS), errores estándar asociados (EE), criterio de Akaike (AIC) y devianza del modelo (MDEV), para una luz de malla (TM) de 110 mm y distintas aberturas (AB).....	44
Tabla 19. Parámetros de ajuste del modelo electivo logístico (a, b), tallas de primera captura (L50), rango selectivo (RS), errores estándar asociados (EE), criterio de Akaike (AIC) y devianza del modelo (MDEV), para una luz de malla (TM) de 120 mm y distintas aberturas (AB).....	44
Tabla 20. Parámetros de ajuste del modelo electivo logístico (a, b), tallas de primera captura (L50), rango selectivo (RS), errores estándar asociados (EE), criterio de Akaike (AIC) y devianza del modelo (MDEV), para una luz de malla (TM) de 130 mm y distintas aberturas (AB).....	44
Tabla 21. Parámetros de ajuste del modelo electivo logístico (a, b), tallas de primera captura (L50), rango selectivo (RS), errores estándar asociados (EE), criterio de Akaike (AIC) y devianza del modelo (MDEV), para una luz de malla (TM) de 140 mm y distintas aberturas (AB).....	44
Tabla 22. Captura, talla promedio y proporción de muestreo en el copo y cubrecopo en los lances para la estimación de selectividad a bordo del PAM Bonn.....	48
Tabla 23. Selectividad de tallas de red Halcones de 120,3 mm de luz de malla. Parámetros a* y b estimados de la curva logística, L50, rango de selección (RS) y factor de selección (FS) calculados a partir de los parámetros. EE: error estándar.....	49
Tabla 24. Captura, talla promedio y proporción de muestreo en ambas piernas del copo experimental usado para la estimación de selectividad a bordo del PAM Friosur X.....	52
Tabla 25. Selectividad de tallas de red Gloria 1408 de 130 mm de luz de malla. Parámetros a* y b estimados de la curva logística, L50, rango de selección (RS) y factor de selección (FS) calculados a partir de los parámetros. EE: error estándar.....	54
Tabla 26. Longitud promedio de merluza de cola y proporciones bajo tallas de referencia (50, 54 y 75 cm LT) por zona, nave y red. Entre paréntesis se presenta la desviación estándar.....	56
Tabla 27. Resumen de filmaciones submarinas disponibles a la fecha para analizar comportamiento de merluza de cola al interior de redes de arrastre.....	58
Tabla 28. Valor- <i>p</i> asociado al análisis de Kruskal-Wallis de las variables posición inicial, cambio de posición, orientación inicial, cambio de orientación, tipo de natación e intentos de escape en diferentes secciones de una misma red o entre redes de distintas naves. C: copo; AC: antecopo; AAC: ante-antecopo (*diferencias significativas; valor- <i>p</i> <0,05).....	65
Tabla 29. Análisis de correlaciones realizadas para identificar y explicar los distintos comportamientos de los peces en las redes utilizadas por las cuatro naves estudiadas. * Sin datos del ante-antecopo; ** Con datos del ante-antecopo, *** Solo datos del antecopo.....	66
Tabla 30. Tabla de las descripciones de cada escala de daño sufrido por los peces que escaparon por entre las mallas de la red.....	68
Tabla 31. Niveles de daño aparente promedios, por marca de clase en el copo y el cubrecopo.....	72
Tabla 32. Proporción de biomasa desovante virginal para diferentes combinaciones de tasas de explotación (A) y de edad de selectividad al 50% (B) entre flotas industriales. Los niveles son representados por tonos degradados en color verde. En negrilla se destaca la condición de largo plazo.....	83
Tabla 33. Resumen estadístico de la modelación de la PB55 de merluza de cola por el modelo lineal generalizado. GVIF: factor de inflación de la varianza generalizada; DF: grado de libertad; AIC: criterio de información de Akaike.....	88

Índice de Figuras

Figura 1. Etapas para la simulación dinámica de artes de arrastre. De izquierda a derecha: i) dibujo del plano, ii) ingreso de estructuras, iii) unión de componentes y cuerpos y iv) simulación dinámica según parámetros de operación.	8
Figura 2. Esquema de la disposición en la placa acrílica de prueba de las distintas combinaciones de tamaños de malla (filas) y aberturas de malla (columnas), con sus respectivas dimensiones (en mm), empleada en la experiencia de selectividad teórica.	10
Figura 3. Estructura de tallas de los ejemplares de merluza de cola utilizados en la experiencia de selectividad teórica (Longitud total, en cm).	11
Figura 4. Algunos tipos de materiales empleados en la construcción de copos. a) paño de PE sin nudo usado para ventanas de escape del tipo BACOMA, b) paño de PA con nudo usado para ventana de escape tipo sueca, c) paño de PE doble con nudo usado para ventana de escape tipo danesa, d) paño de PE doble con nudo para copos de malla rotada (T90), e) paño para copo estándar de PE doble con nudo y f) paño para copo estándar de PA con nudo.	27
Figura 5. Composición de tallas por sexo de merluza de cola capturada por tipo de red, periodo 2014-2016. Línea roja corresponde la talla media de madurez sexual de 55 cm LT estimada para las hembras (Young et al., 1998).	37
Figura 6. La talla de merluza de cola modelada por el GLM para las naves arrastreras hieleras. Línea vertical corresponde el intervalo de confianza del 95%.	38
Figura 7. Distribución espacial de la talla de merluza de cola modelada por el GLM para las naves arrastreras hieleras. Línea vertical corresponde el intervalo de confianza del 95%.	39
Figura 8. La talla de merluza de cola modelada por el GLM para las naves arrastreras fábricas. Línea vertical corresponde el intervalo de confianza del 95%.	41
Figura 10. Proporción retenida y curvas de selectividad en experiencias de selectividad teórica por tamaño de luz de malla (110-140 mm) y abertura de malla (u), por rango de talla (longitud total, en cm). A: ajustes. O: proporción observada.	45
Figura 11. Estimaciones de tallas de primera captura (L50) según tamaño de luz de malla (mm) y coeficientes de abertura de las mallas (u).	46
Figura 12. Fotografía de cubierta durante un lance usando el método de copo cubierto para la estimación de selectividad a bordo del PAM Bonn.	47
Figura 13. Estructura de tamaños de los peces retenidos en lances con cubrecopo a bordo del PAM Bonn. Arriba, retención en el cubrecopo de 60 mm de luz de malla. Al centro, en el copo de 120 mm de luz de malla. Abajo, proporción relativa de peces en cubrecopo respecto al total de peces retenidos en ambos copos.	49
Figura 14. Curvas de selectividad ajustadas en lances con cubrecopo realizados a bordo del PAM Bonn. La curva con línea gruesa representa la curva media estimada según método de Fryer.	50
Figura 15. Copo experimental del tipo pantalón construido con una pierna de 100 mm de luz de malla (derecha) y 130 mm de luz de malla (izquierda).	51
Figura 16. Estructura de tamaños de los peces retenidos en ambas piernas del copo experimental usado a bordo del PAM Friosur X. Arriba, retención en el copo de 100 mm de luz de malla. Al centro, en el copo de 130 mm de luz de malla. Abajo, proporción relativa de peces en copo de 100 mm respecto al total de peces retenidos en ambos copos.	53

Figura 17. Curvas de selectividad ajustadas en lances con cubrecopo realizados a bordo del PAM Friosur X. La curva con línea gruesa representa la curva media estimada según método de Fryer. La línea segmentada corresponde a la selectividad teórica que posteriormente fue usada en los análisis del objetivo 3.	54
Figura 18. Distribución de frecuencia de tamaños de merluza de cola obtenidos por nave y red durante lances de pesca comercial registrados durante el estudio.	57
Figura 13. Fotogramas con presencia de merluza de cola obtenidos en filmaciones submarinas realizadas en los lances 11, 18 y 25 a bordo de la nave Friosur VIII.	59
Figura 14. Fotogramas con presencia de merluza de cola obtenidos en filmaciones submarinas realizadas en los lances 1, 2 y 6 a bordo de la nave Friosur X.	60
Figura 15. Fotogramas con presencia de merluza de cola obtenidos en una filmación submarina realizada en el lance 5 a bordo de la nave Polaris II.	61
Figura 16. Fotogramas con presencia de merluza de cola obtenidos en filmaciones submarinas realizadas en los lances 3 (marea 1), 1 (marea 3) y 4 (marea 3) a bordo de la nave Bonn.	62
Figura 17. Fotogramas con presencia de merluza de cola obtenidos en filmaciones submarinas realizadas a bordo de la nave Unzen.	63
Figura 18. Posición inicial (SUP = Superior; INF = Inferior), orientación inicial (F = Frontal; LT = Lateral; P = Posterior), cambio de posición y orientación, tipo de natación (SM = Sin movimiento; NO = Normal; FR = Frenético), cantidad de choques de peces registrados a bordo de las naves Friosur VIII (n = 121), Polaris II (n = 97), Bonn (n = 174) y Unzen (n = 443).	64
Figura 19. Análisis de correlación con datos de las naves Friosur VIII (sin datos de ante-antecopo), Polaris II, Bonn y Unzen, a partir de un tamaño de muestra de 822 peces. Las variables de posición y orientación inicial no fueron utilizadas. Con relación a las variables analizadas, estas corresponden a: Posición de la cámara (2= AC; 3 = Copo), cambio de posición y cambio de orientación (1 = Sí; 2 = No), tipo de natación (1 = sin movimiento; 2 = normal; 3 = frenético) y choques (1 = cero choques; 2 = un choque, 3 = dos o más choques).	67
Figura 20. Caracterización del proceso de escape de merluza de cola en PAM Bonn y en BF Unzen. Se presenta la frecuencia relativa de éxito de escape (Si o No), nivel de daño observado, cantidad de intentos de escape y tiempo de contacto medido en segundos.	69
Figura 21. Ejemplares de merluza de cola y su nivel de daño aparente.	70
Figura 22. Proporción de ejemplares por nivel de daño aparente en el copo y cubrecopo (nave Bonn).	71
Figura 23. Boxplot para mediana (rango intercuartílico) de los niveles de daño en el copo y cubrecopo. Se indica igualmente el daño promedio (X) (nave Bonn).	71
Figura 24. Selectividad de todos los lances de merluza de cola a la talla (A) y convertido a edad (B) por medio de modelos de crecimiento.	74
Figura 25. Selectividad de todos los lances de merluza de cola a la talla (A) y convertido a edad (B) por medio de modelos de crecimiento.	74
Figura 26. A) Patrón de explotación de merluza común a la edad para la flota artesanal e industrial (Caso 1 y Caso 2). B) Patrón de explotación combinada de ambas flotas y en el caso de sub-reporte de 3 veces la captura artesanal (Caso 1 b).	75
Figura 27. Relación entre la selectividad empírica y el patrón de explotación de la flota A) Centro sur y B) Sur austral.	76
Figura 28. Error relativo en la proporción de retención/vulnerabilidad entre el patrón de explotación y la selectividad empírica por tipo flota.	77

Figura 29. Composición de edades teóricas de largo plazo considerando situaciones hipotéticas de selectividad vs patrón de explotación para la flota A) Centro-Sur, B) Sur-Austral.	78
Figura 30. Proporción de biomasa desovante virginal de merluza de cola respecto de la tasa de explotación flota centro sur y flota sur austral considerando: a) el Patrón de Explotación, b) Selectividad empírica. La estrella indica la condición actual.....	80
Figura 31. Rendimiento por recluta de merluza de cola respecto de la tasa de explotación flota centro sur y flota sur austral considerando: a) el Patrón de Explotación, b) Selectividad empírica. La estrella indica la condición actual	81
Figura 32. Proporción de la biomasa por recluta virginal (A) y rendimiento por recluta (B) de largo plazo en merluza de cola para distintas combinaciones de talla al 50% de explotación flotas centro sur y sur austral.....	82
Figura 33. Variación anual y trimestral de PB55 estimada por el modelo lineal generalizado de merluza de cola. Línea vertical corresponde el intervalo de confianza del 95%.	88
Figura 34. Distribución espacial de la talla promedio de la merluza de cola capturada por trimestre y año reportado por una nave. La barra de escala representa la longitud total (cm).....	89
Figura 35. Propuesta de plano para copo de redes de arrastre de merluza de cola que contiene un sección de escape de malla cuadrada.	93
Figura 36. Vistas en 3D del copo propuesto para redes de arrastre de merluza de cola. En color café, la sección de escape de merluza de cola. En color celeste, la sección tradicional de malla romboidal.....	94

Índice de Anexos

Anexo I. Planos de redes de arrastre usados en la pesquería

Anexo II. Copos de redes de arrastre usados en la pesquería

Anexo III. Simulación de un copo modificado para un experimento de arrastre pantalón (trouser trawl)

Anexo IV. Imágenes de la simulación de las redes Gloria 1408, FT 2044, Halcones y Tornado

Anexo V. Análisis exploratorios y diagnóstico del modelo seleccionado en GLM

Anexo VI. Personal participante por actividad

Anexo VII. Viajes de pesca y lances realizados por embarcación

Anexo VIII. Taller de Difusión de Resultados

1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la selectividad de tallas de las redes de arrastre en la pesquería de merluza de cola (*Macruronus magellanicus*) entre las regiones V a XII y evaluar su impacto sobre la conservación y su contribución para la recuperación del stock.

2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar los artes de arrastre en uso en la flota que opera sobre la pesquería de merluza de cola en toda el área de distribución (Objetivo 4.1).
- Evaluar la selectividad de las redes actualmente utilizadas en la pesquería del recurso, en términos de las tallas de los ejemplares retenidos (Objetivo 4.2).
- Analizar las consecuencias sobre la conservación del recurso de la selectividad de las redes de arrastre utilizadas y proponer mejoras conforme a objetivos de conservación y manejo (Objetivo 4.3).
- Evaluar experimentalmente el desempeño de las redes de arrastre con las mejoras introducidas de acuerdo a los resultados obtenidos en el objetivo 4.3 y elaborar las recomendaciones sobre la base de lo anterior (Objetivo 4.4).

3. ANTECEDENTES

La especie *Macruronus magellanicus* habita extensas regiones tanto del Pacífico sudoriental como del Atlántico sudoccidental, encontrándose el límite norte de su distribución usualmente entre los 32 y 33°S en ambos océanos (Arana, 2012). En cuanto a la pesquería, merluza de cola posee en Chile dos Unidades de Pesquerías las cuales se encuentran en estado y régimen de plena explotación en el área marítima de la V a la X regiones y de la XI a la XII regiones (D.S. N°683/2000 y 686/2000, respectivamente).

Para la administración de la pesquería, a partir de 2012 se suspendió la recepción de solicitudes y el otorgamiento de nuevas autorizaciones de pesca, por el término de un año contado desde el 1° de agosto de 2012 (V a XII regiones) (D.Ex. N° 756 de 2012). También se suspende transitoriamente por el período de un año a contar del 1° de agosto de 2012, la inscripción en el RPA en todas sus categorías, V a XII regiones (R.Ex. N° 2079 de 2012). Además, se suspende por el mismo período en las regiones citadas, la inscripción de todas las especies que constituyan fauna acompañante, según corresponda al arte o aparejo de pesca.

Como una de las medidas de administración principales en la pesquería, se establece anualmente una cuota de captura de merluza de cola. El D. Ex. N° 1140 de 2015 estableció para el año 2016 una cuota anual de captura de 40.321 t para las unidades de pesquería de la V a X regiones y de la XI a XII regiones, declaradas en plena explotación y sometidas a LTP, de las cuales se reservan 100 t para fines de investigación 24.133 t para la V a X regiones y 16.088 t para la XI y XII regiones. El D.Ex. N° 795 de 2013 establece veda reproductiva entre los paralelos 41°28,6'LS y 47°LS, entre los días 1 y 31 de agosto de cada año, ambas fechas inclusive. No obstante lo anterior, se autoriza durante la veda su extracción como fauna acompañante de merluza de tres aletas hasta en un 30% en peso de merluza de cola por lance de pesca.

En cuanto a la flota que participa en esta pesquería, considerando los registros recientes de los años 2013 a 2016, es posible señalar que la mayor representatividad tanto en la operación como en el desembarque se vincula a seis grupos de armadores, de los cuales cuatro corresponden a armadores industriales y dos a armadores de buques factorías (Tabla 1). En total, 13 buques han explicado prácticamente la totalidad de la merluza de cola capturada entre 2013 y 2016, no obstante en los años más recientes (2015 y 2016) el esfuerzo de pesca sobre el recurso ha sido realizado por 9 buques (5 industriales y 4 factorías) (Tabla 1).

Tabla 1. Buques que han presentado operación significativa sobre el recurso merluza de cola agrupadas por armadores relacionados. Se indica la Unidad de Pesquería en que operan regularmente los buques. Con * se destacan los buques con más de 1.000 ton anuales de desembarque en el período 2013-2016. Con + se señalan los buques que participaron en actividades del presente estudio.

Grupo	Armadores relacionados	Buques	Unidad de Pesquería	Puertos de desembarque
1	Pesquera Bio-Bío S.A. BLUMAR S.A.	PAM Bonn*+ PAM Biomar IV PAM Pelagos II PAM Polaris II*+	Centro-Sur	Talcahuano y San Vicente
2	Pesquera Isla Quihua S.A.	PAM Terranova	Centro-Sur	Conorel, Lota y San Vicente
3	Orizon S.A.	PAM San José	Centro-Sur	Coronel
4	Pesquera Austral S.A. Pesquera Grimar S.A.	PAM Friosur VIII*+ PAM Friosur IX* PAM Friosur X*+	Centro-Sur Sur-Austral	Talcahuano y Pto. Chacabuco
5	EMDEPES S.A.	BF Unzen*+ BF Unionsur*	Sur-Austral	Pta. Arenas
6	DERIS S.A.	BF Cabo de Hornos* BF Diego Ramírez*	Sur-Austral	Pto. Chacabuco y Pta. Arenas

Para la extracción de la especie no existe una talla mínima de captura sino sólo medidas indirectas a través de las características del arte de pesca. En este sentido, las redes de arrastre usadas al sur del paralelo 43°S deben tener un tamaño mínimo de luz de malla de 130 mm y no deben utilizar cubre copo (D. Ex. N° 144/1980). Sin embargo, la R.Ex. N° 2808 de 2005 establece que las redes de arrastre que se utilicen para otras especies distintas de merluza común, en el área comprendida entre el límite norte de la República y el paralelo 43°S, deben tener un tamaño mínimo de luz de malla de 100 mm y usar panel de escape de malla cuadrada, o bien, tener un tamaño mínimo de luz de malla de 120 mm. En ambos casos, se prohíbe el uso de cubrecopos.

En cuanto a la selectividad intraespecífica que generan los artes de pesca, existe un reconocimiento en términos generales de que la selectividad corresponde a una propiedad que puede ser modificada para dirigir la mortalidad por pesca sobre aquellas clases de edad que resulte más conveniente de remover en la población con fines de alcanzar la sustentabilidad de una pesquería, compatibilizando los objetivos de manejo con los requerimientos de mercado. Sin embargo, en el caso de la pesquería de merluza de cola en Chile, no se registran estudios de selectividad de tallas en la historia extractiva de esta actividad. Se reconocen algunos esfuerzos por estudiar el comportamiento de escape de juveniles a través de paneles de escape de malla cuadrada (Melo *et al.*, 2002), lo cual fue registrado mediante filmaciones submarinas. En Argentina en tanto, se probaron dos tamaños de luz de malla (103 y 120 mm) para estimar sus respectivas selectividades, obteniéndose valores de longitud de primera captura de 50,46 y 65,25 cm de longitud total, respectivamente (Mituhasi *et al.*, 2000).

En cuanto a los artes de pesca usados por la flota, se utilizan artes de arrastre de fondo y de mediagua tanto en la unidad de pesquería centro-sur como en la sur-austral, cuya selección depende de la distribución espacial del recurso y del tipo de agregación que esta forme. Fundamentalmente a partir de 1998 se observó un uso más extendido de artes de mediagua en la zona sur-austral (Canales, 2007). En la zona centro-sur, Queirolo *et al.* (2008a) registraron agregaciones de merluza de cola en profundidades relativas en torno al 85% (51-97%) de la profundidad del fondo marino, lo que demuestra que en ese período el recurso se encontró en la columna de agua despegada del fondo y explicó el uso de artes de arrastre de mediagua para su captura.

En la pesquería de merluza común se ha realizado estimaciones de selectividad de tallas por Gálvez & Rebolledo (2005), datos que fueron posteriormente reanalizados por Queirolo *et al.* (2012) para incorporar el efecto de submuestreo y la variabilidad entre lances conforme a lo indicado por Millar & Fryer (1999). Para mejorar la selectividad de tallas en esta pesquería, Queirolo *et al.* (2008b) documentaron el efecto de escape debido al uso de paneles de escape de malla cuadrada en redes de arrastre, indicando el escape de una fracción significativa de peces de menos de 30 cm LT. Lo anterior sustenta la R.Ex. SUBPESCA N°2808-2005 que establece el uso de mallas de 100 mm y dispositivo de escape de malla cuadrada o, en su defecto, el uso de mallas de 120 mm en redes de arrastre de merluza común. Lo anterior puede servir de ejemplo en cuanto a los próximos pasos en la pesquería de merluza de cola.

Ahora bien, se debe tener presente que el escape de los peces debido a la selectividad del arte, ya sea por la luz de malla del copo o por paneles de escape de malla cuadrada, debe procurar el menor daño posible de los ejemplares que escapa, para asegurar la sobrevivencia. Jones (1993) cuantificó que sobre el 5% de los peces capturados en Southern Plateau en Nueva Zelanda. Suuronen (2005) explica las fuentes de daño en los peces y entrega algunas recomendaciones para evitar daño innecesario debido al contacto con los artes de pesca.

Con todo, en la pesquería de merluza de cola no se han definido estrategias de explotación por tallas o edades de manera explícita, lo cual hace necesario que se lleve a cabo una simulación usando diversas ojivas de selectividad del arte de pesca, con la finalidad de recomendar la característica selectiva que propenda a mantener la población en una condición saludable o llevarla a esta condición.

4. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Objetivo específico 1. Caracterizar los artes de arrastre en uso en la flota que opera sobre la pesquería de merluza de cola en toda el área de distribución.

Para determinar las principales características de diseño, armado y construcción de un arte de pesca en general, es fundamental estandarizar la nomenclatura para la comprensión cabal de estos conceptos, dada su relevancia en el éxito funcional y operacional del sistema de captura. En base a lo anterior, es posible señalar que el diseño de una red de arrastre se refiere en términos simples a la forma que ésta posee, la cual está dada por la combinación de cortes que se realizan en los paños de cada sección y a la dimensión y cantidad de mallas que la componen. De este modo se establece el plano de la red que incluye mallas y cortes, principalmente. Ahora bien, los materiales que componen el arte de pesca y sus características se refieren directamente a la construcción del arte, a nivel de paños, cables y estructuras, portalones, flotación, borlón, entre otros, lo que en conjunto a la red dan origen al arte de pesca de arrastre. El armado por su parte corresponde a las relaciones que describen la integración de los componentes, principalmente en lo relativo a la unión de paños y estructuras, hecho que determina en gran medida la abertura de trabajo de las mallas y el correcto desempeño hidrodinámico de la red.

Respecto al diseño, las principales redes de arrastre que operan en las pesquerías de peces demersales en Chile están constituidas por 2, 4 y 6 paneles, siendo las más utilizadas las dos primeras. También en la pesquería demersal austral se reconocen diseños de redes con 8 o más paneles, asociados a redes de origen japonés. El número de paneles de las redes determina en gran medida la forma de la boca de la red, permitiendo clasificarlas en redes de baja, media y gran altura. Cada diseño a su vez posee variantes en sus dimensiones, existiendo modelos de diferentes tamaños de acuerdo a la potencia de las naves que las utilizan. De acuerdo a los patrones de distribución y agregación del recurso, las redes para la captura de merluza de cola podrán corresponder a redes de arrastre de fondo y redes de arrastre de mediagua.

Respecto a los materiales utilizados en la construcción, las mallas que conforman los paños de red presentan dimensiones que varían desde las alas hasta el túnel y copo, disminuyendo su tamaño en forma gradual (tamaño de malla mayor en las alas y menor en el túnel y copo). Se reconoce que esta variable por sí sola es insuficiente para explicar la selectividad, dado que el diámetro de los hilos, color, rigidez y forma también han sido descritas como factores relevantes que deben ser considerados.

En términos del armado de las redes de arrastre, el coeficiente de armado explica la relación entre la tela estirada y la longitud del cabo al cual se encabalga dicho paño, determinando entonces la configuración que adoptará la malla durante la operación de pesca. El cuerpo y las alas de las redes empleadas en esta pesquería se caracterizan por emplear coeficientes de abertura entre 0,4 y 0,6 al nivel de la boca inferior, mientras que en los túneles y copos estos coeficientes son por lo general bastante bajos, variando entre 0,20 y 0,27. Esto último indica que la abertura de la malla es relativamente baja, con lo cual el área de la malla disminuye en forma considerable respecto a su área máxima, condicionando la filtración y por tanto la selectividad de la red. A lo anterior se suma el uso de cinturones o cabos restrictores, los cuales reducen significativamente la capacidad de abertura de las mallas.

Ahora bien, las características de diseño, armado y construcción por sí solas no permiten saber con certeza su incidencia en la selectividad intra-específica, razón por la cual es necesario recurrir a fuentes bibliográficas que consideren información complementaria para conducir este objetivo. Se realizó entonces en primer lugar una revisión exhaustiva de información bibliográfica relevante, para luego orientar el levantamiento de información de los artes de arrastre utilizados mediante entrevistas y revisión directa de las redes. Posteriormente, se determinaron los índices que permiten caracterizar y clasificar las redes utilizadas. Se desarrollaron modelos numéricos para simular el desempeño hidrodinámico de redes representativas, de tal manera que sea posible comprender su desempeño en términos cualitativos y cuantitativos.

4.1.1.- Revisión bibliográfica

Se realizó una revisión bibliográfica de las principales fuentes de información que puedan contribuir a la determinación de las principales características de diseño, armado y construcción de los artes utilizados la pesquería de merluza de cola, en particular referido a los artes de arrastre que con mayor recurrencia son usados para la captura de la especie objetivo. Se debe reconocer que estos artes de pesca también pueden ser usados para la captura de otras especies en ambas unidades de pesquería, como son merluza común, merluza austral y merluza de tres aletas. En cuanto a las fuentes nacionales, se destaca que en nuestro país es escasa la información respecto a experiencias de selectividad de peces en pesquerías demersales con redes de arrastre, concentrándose principalmente en merluza común.

Respecto a las fuentes internacionales, es importante señalar que desde hace más de una década se ha intensificado el esfuerzo de investigación y las innovaciones tecnológicas para disminuir

los posibles efectos de los artes de pesca, ya sea con fines de asegurar la sustentabilidad de la actividad extractiva como para reducir la interferencia sobre especies no objetivo y el ambiente. En este sentido, se considera oportuno sintetizar la experiencia mundial respecto a las principales características de los artes de pesca que inciden en la selectividad, indicando en cada caso los resultados obtenidos en experiencias prácticas y las soluciones adoptadas.

4.1.2.- Levantamiento de información

Se realizaron entrevistas y visitas a terreno con los usuarios en la pesquería para conocer los artes de pesca realmente utilizados y sus propiedades, así como comprender, desde la perspectiva del usuario, los elementos que podrían incidir en la selectividad de tallas. A la fecha se han realizados entrevistas, reuniones y visitas a talleres de redes en Talcahuano-San Vicente, Puerto Chacabuco y Punta Arenas. Fue posible disponer de gran parte de los planos de las redes usadas en la pesquería de merluza de cola, y a la información general asociada a construcción, armado y amarinamiento de cada red. En cuanto al tamaño de luz de malla, se adquirieron y emplearon medidores de malla que cumplen con la regulación EC N° 129/2003 de la Comunidad Europea.

4.1.3.- Índices y relaciones para caracterización de redes

En la caracterización de las redes de arrastre es necesario establecer diversos índices y relaciones que permitan comparar los diseños y modelos utilizados por la flota, correspondientes a relaciones de forma e índices de las mallas, lo cual permitió identificar patrones de similitud entre diseños y modelos, a partir de lo cual se clasifican a modo general las redes según patrones característicos de agrupación. Junto con las dimensiones, relaciones de forma e índices de las mallas, se consideran las características relevantes de los buques que usan las respectivas redes, como son su eslora total, potencia principal (usada para el remolque) y tonelaje de registro grueso (TRG), y se llevará a cabo un análisis de conglomerados para establecer los patrones de asociación entre características de las redes y de los buques.

4.1.4.- Simulación dinámica

Para comprender el comportamiento hidrodinámico de las redes usadas en la pesquería, se considera emplear una herramienta de simulación dinámica que permita visualizar el desempeño de las redes más representativas en la pesquería. Para ello se usó el software DynamiT elaborado por

IFREMER, el cual permite evaluar del comportamiento mecánico-hidrodinámico del arte de arrastre (geometría funcional y fuerzas involucradas en el entramado de los paños y estructuras), permitiendo evaluar uno o varios diseños en condiciones de operación pre-establecidas (velocidad, profundidad, etc.). Esta información es complementaria a aquella obtenida mediante índices y relaciones, razón por la cual también se emplea para la clasificación de las redes.

La simulación permite visualizar la configuración que adopta la red durante el arrastre, pudiendo estimarse algunas variables relevantes para el estudio, tales como la abertura y altura de la boca de la red, la abertura de portalones y la configuración general de la red durante el arrastre. Para ello es necesario ingresar todas las características de los paños utilizados así como la información de los cuerpos de la red, en términos de número y tamaños de mallas. Luego se ingresan las estructuras, la flotación y el lastre, para posteriormente definir y ajustar el modelo virtual del arte de arrastre, generando un archivo denominado "arte de arrastre". Finalmente se procede a la ejecución de la simulación para obtener los resultados de desempeño del arte, previo ingreso de los parámetros de operación tales como profundidad y velocidad (Fig. 1).

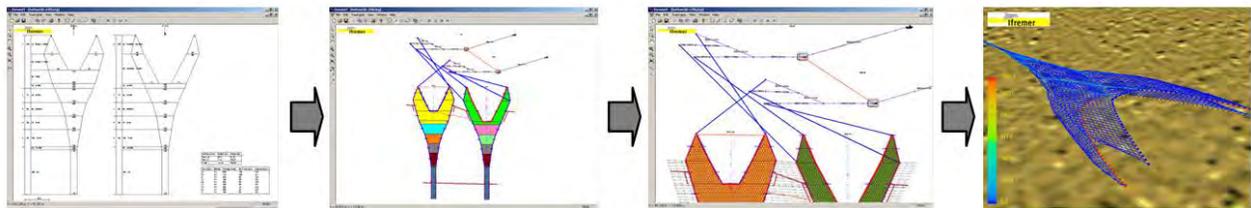


Figura 1. Etapas para la simulación dinámica de artes de arrastre. De izquierda a derecha: i) dibujo del plano, ii) ingreso de estructuras, iii) unión de componentes y cuerpos y iv) simulación dinámica según parámetros de operación.

La simulación dinámica fue realizada para redes representativas identificadas en el desarrollo del presente objetivo. Las principales variables de salida de la simulación dinámica son: separación o abertura entre puertas, altura de la red en la boca, altura interna de la red al inicio del copo y fuerza o resistencia hidrodinámica total.

4.1.5.- Variación en la composición de tamaños de merluza de cola

A partir de los registros de operación de flota industrial de la pesquería merluza de cola, se seleccionaron aquellas naves que operaron con el mismo tipo de red en el año 2014 hasta 2016 en la zona centro-sur y sur-austral. Se recolectaron un total de 60.977 individuos medidos para el muestreo de longitud que estuvieron distribuidos en 505 lances conforme a los registros de observadores de

IFOP. En particular, la información recopilada proviene de cuatro naves industriales de arrastre hieleras y dos de arrastre fábricas que operaron al norte y sur de los 45°S, respectivamente.

Para evitar sesgo en la modelación de la composición de tallas, la información fue analizada para cada tipo de pesquería (*i.e.*, arrastre hielera y arrastre fábrica), debido que como se mencionó previamente, éstas operaron en zonas geográficamente distintas. La variable mes o trimestre no fue considerada en la modelación porque el muestreo de ejemplares fue discontinuo lo que limitó agrupar la información en esas escalas temporales. Además, la nave tampoco fue considerada como un predictor debido a su correlación alta y significativa con los restantes predictores ($P < 0,05$), tales como el tipo de red, año, sexo, latitud (LAT) y longitud (LONG). Para cada zona, se modeló la longitud total (LT) de merluza de cola con un modelo lineal generalizado (MLG), la cual el tipo de red, año y sexo fueron tratados como variables categóricas, mientras que la LAT y LONG como predictores continuos mediante una interacción. El modelo completo aplicado fue:

$$LT \sim \alpha + AÑO + RED + SEXO + LAT * LONG + \varepsilon$$

donde α es la media global (o intercepto) y ε es un error asumido con una distribución normal.

Una serie de modelaciones se construyeron considerando todas las posibles combinaciones entre los predictores y variables categóricas. La selección del modelo con una familia “gaussiana” y una función de enlace “idéntica” se basó por un procedimiento automatizado “Stepwise Forward” basado en el valor de criterio de información de *Akaike* (AIC) según Burnham & Anderson (2002). Este procedimiento consistió en añadir una variable y eliminar aquella que no resultó significativa a la vez hasta la obtención del modelo con un valor de AIC mínimo. La significancia de los coeficientes fue evaluada con el análisis de varianza tipo II. En el diagnóstico del modelo se revisó el supuesto de normalidad y homocedasticidad de los residuos. Para examinar la posible multicolinealidad entre las variables predictoras, aplicamos la correlación de Pearson y factor de inflación de la varianza generalizado (GVIF) debido que existe variables continuas y categóricas dentro del modelo ajustado. Un valor GVIF próximo a 1 indicaría ausencia de colinealidad. Todos los análisis estadísticos de esta sección fueron llevados a cabo con el programa de acceso abierto R-project (www.rproject.org).

Objetivo específico 2. Evaluar la selectividad de las redes actualmente utilizadas en la pesquería del recurso, en términos de las tallas de los ejemplares retenidos.

4.2.1. Selectividad teórica

La experiencia consistió en registrar si cada uno de los ejemplares provenientes de una muestra de captura, era capaz o no de atravesar distintas configuraciones de mallas teóricas, correspondientes a cuatro luces de malla distintas y seis aberturas de malla diferentes (u), es decir, un total de 24 combinaciones posibles por ejemplar. Las combinaciones, todas correspondientes a configuraciones romboidales, fueron generadas mediante la perforación de una placa acrílica (Fig. 2).

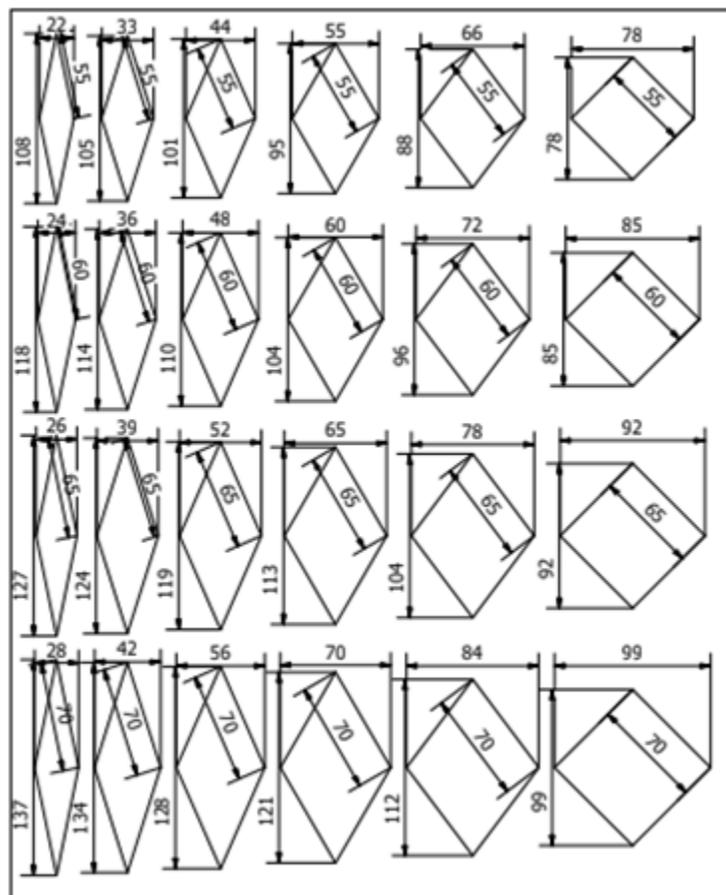


Figura 2. Esquema de la disposición en la placa acrílica de prueba de las distintas combinaciones de tamaños de malla (filas) y aberturas de malla (columnas), con sus respectivas dimensiones (en mm), empleada en la experiencia de selectividad teórica.

Durante la ejecución de la experiencia, cada ejemplar de la muestra fue expuesto perpendicularmente a cada una de las 24 configuraciones. La exposición fue frontal, sin forzar a los

ejemplares, modo tal que sólo la fuerza de gravedad (su peso) y su morfología fuesen los factores determinantes en el éxito o fracaso de la experiencia (“fall-through experiment”).

Las luces de malla empleadas correspondieron a 110, 120, 130 y 140 mm, en tanto las aberturas fueron expresadas como la proporción de abertura respecto al tamaño de malla ($u = \text{abertura interna} / \text{luz de malla}$), en donde u varió entre 0,2 y 0,7. La experiencia de selectividad teórica se llevó a cabo utilizando 404 ejemplares de merluza de cola, con tallas entre 39 y 104 cm (182 g – 3.232 g) y una talla media de 63,9 cm (837 g en promedio) (Fig. 3).

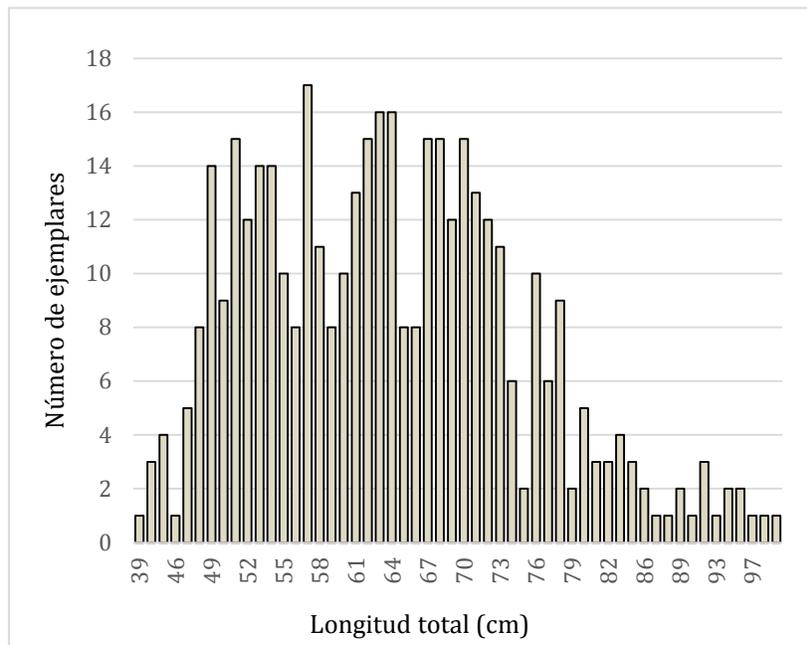


Figura 3. Estructura de tallas de los ejemplares de merluza de cola utilizados en la experiencia de selectividad teórica (Longitud total, en cm).

Cada uno de los 9.696 registros (404 ejemplares x 4 tamaños de malla x 6 aberturas de malla) fueron codificados en términos de éxito (1: si ejemplar atravesó completamente la configuración) o fracaso (0: si el ejemplar no atravesó la configuración). Las tallas de los ejemplares fueron agrupadas en rangos de 1 cm, estimándose la fracción retenida i -ésima (número de ejemplares retenidos/número total de ejemplares) para cada i -ésimo rango. Las fracciones retenidas a la talla observadas fueron modeladas a la talla mediante un modelo logístico.

4.2.2 Actividad experimental

A partir de la caracterización de los artes de pesca empleados por la flota, se consideran redes de prueba correspondientes a las actualmente en uso, a las cuales se les evalúa su selectividad mediante el desarrollo de una actividad experimental. Esto requiere la aprobación por parte de los armadores y la disposición de las tripulaciones a colaborar en los experimentos.

Para precisar la propuesta de actividad experimental, se consideraron las características de los artes empleados por la flota y su operación. En el caso de la pesquería en que se desarrolla el proyecto esto cobra especial relevancia por factores como: el gran tamaño de las redes de pesca, el empleo de cabos restrictores en el túnel-copo que limitan la abertura de las mallas, la necesidad de no intervenir en la maniobra de virado obstaculizando los estrobos de la red y los altos volúmenes de captura por lance de pesca, los cuales son elementos que generan desafíos técnicos importantes para implementar modificaciones, las que sólo pueden ser definidas con precisión una vez caracterizados en detalle los artes en operación, y luego de ser consensuadas con patrones de pesca y jefes de flota. Al respecto, cabe indicar que obstáculos similares en experiencias selectivas con redes merluceras en la pesquería de merluza común (FIP 96-25), generaron inconvenientes en el ajuste de los datos, los que han sido discutidos tanto por los mismos autores como por otros investigadores (Gálvez et al., 1996; Queirolo et al., 2012).

Internacionalmente, es posible diferenciar las experiencias selectivas en dos grandes grupos correspondientes a: i) Experiencias con copo cubierto y ii) Experiencias de artes pareados. Al respecto, el consultor estima que las pruebas de selectividad a la talla utilizando copo cubierto tienen un alto riesgo de ser inviables al intentar ser implementadas en terreno, debido al alto riesgo de fracaso debido al tamaño y a las condiciones de operación de las redes de arrastre empleadas por la flota hielera demersal centro-sur (PDCS) y sur-austral (PDA).

Conforme a las dificultades propias de llevar a cabo lances de evaluación de selectividad en redes de arrastre de gran envergadura, se ha optado por concordar con cada armador el mejor método experimental. En el caso del armador PacificBlu (hieleros zona centro-sur, PDCS), los lances se llevaron a cabo mediante el método de copo cubierto, lo cual posee la ventaja de poder recolectar los peces que escapan por las mallas del copo. Por su parte, en el caso de Friosur (hielero zona sur-austral, PDA), se acordó trabajar usando el método de arrastre pantalón. El material para la construcción del copo experimental fue importado desde USA (Net Systems) y recepcionado en Valparaíso en marzo de 2018. Por su parte, el armador Emdepes declinó participar en las experiencias de selectividad dada la alta complejidad y riesgo de este tipo de pruebas en naves de gran envergadura, no obstante dieron las facilidades para el embarque de personal del equipo de trabajo

para realizar la caracterización del arte de pesca, la caracterización de las capturas y la realización de filmaciones submarinas.

4.2.3. Modelamiento de las curvas selectivas

Contrastando la composición de tallas obtenida en el copo de prueba (actualmente en uso) y el copo de referencia sin selectividad, se lleva a cabo el ajuste de curvas selectivas correspondientes a datos de “artes pareados”. El enfoque de análisis es común tanto para el caso de lances alternados como para copo tipo “pantalón”, las dos opciones que el consultor evalúa en detalle una vez iniciado el proyecto.

Así, para el modelamiento se utilizó el enfoque denominado SELECT (Millar, 1991; Millar & Walsh, 1992), el cual supone que la probabilidad de que un cierto ejemplar sea capturado en el copo de prueba o en el copo de referencia se distribuye binomial y que el destino de un ejemplar capturado es independiente del destino del resto de los ejemplares. De este modo, se define:

- El poder de pesca relativo “p” como la probabilidad de que un ejemplar entre en el copo de prueba, dado que ingresó al arte de pesca combinado.
- Donde n_{l1} y n_{l2} son el número de ejemplares de la talla “l” que ingresan en el copo de prueba y copo de referencia, respectivamente, donde la captura total de la talla “l” corresponde a $n_l = n_{l1} + n_{l2}$.
- La probabilidad de que un ejemplar de talla l quede retenido en el copo de prueba corresponde a $p \cdot r(l)$, es decir, la probabilidad de que ingrese al copo de prueba (p) multiplicada por la probabilidad de retención ($r(l)$).
- La probabilidad que un ejemplar que ingrese al arte sea retenido en el copo control es $1-p$.

Conforme a lo anterior, el número de peces en el copo de prueba se distribuye binomial

$$\phi(l) = p \cdot r(l) / (p \cdot r(l) + (1 - p))$$

$$\sum_1 (n_{l1} \cdot \ln \phi(l) + n_{l2} \cdot \ln(1 - \phi(l)))$$

Si la probabilidad de retención ($r(l)$) es logística, entonces se tiene:

$$\emptyset(l) = (p * \exp(a + b * l)) / ((1 - p) + \exp(a + b * l))$$

La estimación de los parámetros se realizó mediante la maximización de la función de verosimilitud, mediante una rutina numérica. Conforme a lo indicado por Wileman et al. (1996), la estimación considera dos escenarios: i) la estimación de a y b asumiendo que p=0,5 y, ii) la estimación conjunta de a, b y p. En aquellos lances realizados mediante el método de copo cubierto, el valor de p se asume igual a 1.

Los errores de estimación de los parámetros \hat{a} y \hat{b} se estiman mediante la matriz de Información de Fisher para “artes pareados”, la cual bajo el supuesto de p=0,5 se define por:

$$I_{11} = \sum_l \frac{n_l + d^2(l)}{\emptyset(l)(1 - \emptyset(l))} \quad I_{12} = I_{21} = \sum_l \frac{n_l + ld^2(l)}{\emptyset(l)(1 - \emptyset(l))} \quad I_{22} = \sum_l \frac{n_l + l^2d^2(l)}{\emptyset(l)(1 - \emptyset(l))}$$

donde d(l) corresponde a la derivada parcial de $\emptyset(l)$ respecto al parámetro a:

$$d(l) = \exp(a + b * l) / (1 + 2 * \exp(a + b * l))$$

Los errores de estimación de los parámetros \hat{a} y \hat{b} se estiman mediante la matriz de Información de Fisher (Matriz de Varianza-Covarianza) para “artes pareados”, para la estimación conjunta de a, b y p, se define por:

$$I_{13} = I_{31} = \sum_l \frac{n_l + d(l)h(l)}{\emptyset(l)(1 - \emptyset(l))} \quad I_{23} = I_{32} = \sum_l \frac{n_l + ld(l)h(l)}{\emptyset(l)(1 - \emptyset(l))} \quad I_{33} = \sum_l \frac{n_l + h^2(l)}{\emptyset(l)(1 - \emptyset(l))}$$

donde d(l) y h(l) (la derivada parcial de $\emptyset(l)$ respecto a p), se definen:

$$d(l) = p(1 - p)\exp(a + b * l) / (1 - p + \exp(a + b * l))^2$$

$$h(l) = \exp(a + b * l)(1 + \exp(a + b * l)) / (1 - p + \exp(a + b * l))^2$$

La estimación de los parámetros de las curvas selectivas se lleva a cabo mediante software de uso libre R (www.rproject.org), empleando la función trawlfuction desarrollada por Russell Millar (<https://www.stat.auckland.ac.nz/~millar>) o empleando algoritmos numéricos de maximización de la función de verosimilitud.

Con la finalidad de determinar el ajuste del modelo logístico, se realiza el análisis de los residuales, mediante la Devianza de cada lance (D), la cual bajo la hipótesis nula de un modelo

correcto se distribuye Chi2 con n-2 grados de libertad para una curva logística (Wileman et al., 1996), definida según:

$$\text{signo}(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x > 0 \\ -1 & \text{si } x < 0 \end{cases}$$

$$D = \sum_1 D_1^2$$

$$D_1 = \text{signo}(y_1 - \hat{y}_1) * \left\{ 2 * n_1 + \left[y_1 * \ln\left(\frac{y_1}{\hat{y}_1}\right) + (1 - y_1) * \ln\left(\frac{1 - y_1}{1 - \hat{y}_1}\right) \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

Los parámetros de selectividad para cada lance individual se estimaron usando la rutina numérica Raphson-Newton. Los valores de L50% y del rango de selección (RS) corresponden a las siguientes expresiones:

$$l_{50\%} = -a/b$$

$$RS = 2 * \ln(3)/b = 2,197/b$$

Dado los volúmenes de captura, y conforme a lo indicado por Millar (1994), se llevó a cabo un submuestreo de las capturas, la cual afecta la estimación del parámetro "a" de la curva logística $\emptyset(l)$, siendo necesario corregirla mediante $a^*=a+\ln(q)$, donde $q=p1/p2$, corresponde al ratio de las proporciones de muestreo en el copo de prueba y el copo control, respectivamente, las que fueron estimadas de acuerdo al tamaño de muestra y a una estimación de la captura total en cada copo. Se estimó la captura en cada copo estimando el volumen que ocupe la captura en los pozos de la embarcación y transformando dicho valor a peso mediante un factor de estiba Fe (Fe = Volumen / Peso).

La estimación de la varianza del L50% y de Rango de Selección (RS) se llevó a cabo conforme a lo indicado por Wileman et al. (1996):

$$\text{Var}(\hat{l}_{50\%}) = \frac{\sigma_a^2 + 2l_{50}\sigma_{ab}^2 + l_{50}^2\sigma_b^2}{b^2}$$

$$\text{Var}(\widehat{SR}) = \left(\frac{2 \ln(3)}{b^2}\right)^2 \sigma_b^2$$

Se evaluó la posible contribución de variables explicativas a los parámetros de selectividad. Se exploró entonces la modelación de los parámetros a* y b de las curvas logísticas de cada lance,

empleando a priori variables como tamaño de malla, captura, duración del lance y velocidad de arrastre, las cuales han resultado significativas, por ejemplos en la modelación de los parámetros selectivos de merluza común (Queirolo et al., 2012). La elección del mejor modelo se llevó a cabo utilizando el menor valor del Criterio de Información de Akaike (AIC) en un proceso Stepwise utilizando el software de uso libre R (www.rproject.org).

4.2.4. Proporciones de retención respecto a tallas de referencia

La talla media de primera madurez sexual (TPMS) es probablemente la talla de referencia más útil en estudios de selectividad, ya que generalmente se busca la longitud de primera captura de la flota sea mayor que la TPMS para evitar la sobrepesca por crecimiento. En este sentido, Balbontín (2013) usando método microscópico para establecer la madurez sexual estimó que a 54,83 cm LT se ubica la talla de madurez al 50%, con límites de confianza del 95% de 54,66 y 54,99 cm, que corresponde a una edad media de madurez de 4 años. Esto es consistente con otros antecedentes de la especie, los cuales indican que se recluta a la pesquería a los 2 años de edad (33 cm LH) y que partir de los 4 años de edad (TPMS 54 cm LT) los individuos adultos, con un comportamiento demersal, comienzan a hacer su aporte reproductivo al stock. Por tal motivo, en este estudio se empleó una talla de referencia de 54 cm LT como “talla de madurez”.

Una segunda talla de referencia comúnmente usada se refiere a la talla objetivo comercial para la flota pesquera, la cual se obtiene a partir de la experiencia de los usuarios conforme a los rendimientos de proceso en planta, y corresponde a un tamaño sobre el cual es conveniente productivamente un ejemplar para ser procesado. Esta talla es denominada en este estudio como “talla comercial” y se estableció a partir de una consulta a los usuarios.

Por último, se reconoce que el deterioro de la estructura demográfica de la población está marcada por una reducción progresiva de la participación de los ejemplares de mayor tamaño en las capturas, probablemente debido a factores de sobrepesca. En este sentido, SUBPESCA (2006, 2011) han señalado que una evidencia en el deterioro de la población se evidencia por la escasa participación de ejemplares mayores a 75 cm LT, la cual es usada en este estudio como referencia de “talla megadesovantes”.

Se estimó para cada lance realizado en el estudio la proporción de ejemplares de talla menor o igual a cada una de las tallas de referencia señaladas anteriormente (madurez, comercial y megadesovantes).

4.2.5. Estudio del comportamiento de merluza de cola y daños asociados a escape

La importancia que representa el comportamiento de la especie objetivo y la fauna acompañante en el diseño, dimensionamiento y evaluación de los artes de pesca y de los mecanismos de selección, hace imprescindible contar en la presente investigación con un sistema de filmación submarino *ad-hoc* a los requerimientos de profundidad y luminosidad en las zonas de abundancia del recurso objetivo y su fauna acompañante.

Se utilizaron sistemas de filmación submarino para registrar el comportamiento de la especie objetivo al interior del túnel (antecopo) y copo de las redes de arrastre. Para ello se utilizaron cámaras digitales GoPro modelo Hero3+ y SJ400 instaladas al interior de carcasas de aluminio anodizado con capacidad de trabajo de hasta 1500 m de profundidad. Cabe destacar que el satisfactorio resultado de las observaciones submarinas depende en gran medida de la iluminación empleada. Es imprescindible entonces considerar iluminación externa dada la profundidad de operación y la distribución de los recursos objetivo. Esto se debe principalmente a la nula penetración de radiación infrarroja en las profundidades consideradas para el estudio, para lo cual se emplea iluminación LED de intensidad variable según requerimiento. La autonomía del sistema en modo grabación es superior a 30 minutos, con un alcance real superior a 3 metros desde la fuente.

Durante el estudio fue posible realizar filmaciones submarinas en las redes de arrastre usadas para la captura de merluza de cola a bordo de las naves Polaris II, Bonn, Friosur VIII, Unzen y Friosur X. El material registrado fue usado para clasificar el comportamiento de merluza de cola en diferentes secciones de las redes. Además, se utilizó para la caracterización de los escapes y en la identificación de daños durante el proceso de escape.

En cuanto al daño, dadas las evidencias observadas mediante filmaciones, se realizó un muestreo de ejemplares de merluza de cola durante un lance de evaluación de selectividad, usando el método de copo cubierto. Así, se consideró una muestra de peces provenientes del copo y otra del cubrecopo de la red de pesca. Cada uno de los ejemplares obtenidos fueron revisados individualmente en términos de su nivel de daño aparente, conforme al tipo e intensidad de las lesiones que presentaron a la vista del observador embarcado. Igualmente, se registró la talla (longitud total de cada ejemplar. Con la finalidad de evaluar el nivel de daño aparente (en escala creciente de 1 a 5; Tabla 2), se confeccionó una escala basándose en observaciones preliminares que permitieron una aproximación a los tipos más frecuentes de lesiones observadas entre los ejemplares.

Tabla 2. Niveles de daño aparente en ejemplares de merluza de cola empleadas en la experiencia.

Nivel	Descripción
1	Sin lesiones corporales externas o sólo con lesiones leves en cabeza (< 25% de la superficie).
2	Sin lesiones corporales externas o muy leves en aletas y/o con daño medio cabeza (25% - 50% de la superficie). Sin daño ocular.
3	Con descamación o daño en aletas y con daño medio cabeza (25% - 50% de la superficie). Sin daño ocular o daño ocular leve.
4	Con descamación ventral, lesiones operculares, con daño en aletas o con daño alto en la cabeza (> 50% de la superficie). Sin daño ocular o daño ocular leve.
5	Con daño generalizado en cabeza y/o con pérdida de músculo y/o con daño ocular severo.

Para el análisis descriptivo se estimaron estadígrafos de tendencia central y de variabilidad, en tanto se llevó a cabo inferencia mediante pruebas de comparación de medias (Prueba de rangos de signos de Wilcoxon (Wilcoxon, 1945).

Objetivo específico 3. Analizar las consecuencias sobre la conservación del recurso de la selectividad de las redes de arrastre utilizadas y proponer mejoras conforme a objetivos de conservación y manejo.

De acuerdo con Crone (2013), y desde la perspectiva de la evaluación de poblaciones explotadas, la selectividad es el fenómeno que relaciona el tamaño de la población y su composición de edades o tallas, con el tamaño y la composición por edades o tallas de los individuos capturados y observados en una pesquería o crucero. La selectividad está influenciada por las características de los artes de pesca, el comportamiento de los peces y la heterogeneidad espacial en la distribución de diferentes tallas / edades de los peces y la distribución espacial del muestreo. La complejidad potencial de estos factores significa que una forma particular de selectividad es difícil de definir y estimar confiablemente.

4.3.1. Desvíos en selectividad

Lo antes mencionado implica reconocer primero, la diferencia que existe entre el efecto selectivo de la red y el patrón edad o talla específico mediante el cual la mortalidad por pesca se distribuye, y segundo, que el efecto de la red es una de varios efectos que condicionan el éxito de la captura. De acuerdo con esto, el patrón de explotación o selectividad “verdadera” (S_a) se podría expresar en función de la selectividad “empírica” actual (S_a^{red-1})

$$S_{a,f} = S_{a,f}^{red-1} + \theta_{a,f} \quad (1)$$

donde a es la edad (o talla), f el efecto flota/espacial, 1 denota el estado actual y θ el efecto asociado a otras fuentes de desviación de la selectividad empírica a la edad/talla por zona. Por su parte, si se considera que el trabajo realizado por Paya (2015) provee estimaciones de la selectividad “verdadera” ($S_{a,z}$) las que provienen de la evaluación de stock, entonces se tiene que los desvíos podrían ser calculados en la forma:

$$\theta_a = S_{a,f}^{red-1} - S_{a,f} \quad (2)$$

Suponiendo que $\theta_a \sim N(\theta_a, \sigma_\theta)$ considerando los resultados del ajuste de modelos GLM logísticos en el objetivo anterior, se podrán generar funciones aleatorias que permitan evaluar posibles cambios en el patrón de selectividad “verdadero” en respuesta a variaciones en la nueva selectividad “empírica”. En otras palabras y para una mejor comprensión de este análisis, se comparan primero las funciones de selectividad (empírica y verdadera) actuales, es decir, la estimada

sin variar efectos selectivos, y luego de esto, y asumiendo linealidad y estimado los desvíos por edad/talla, se estima una nueva selectividad “verdadera” $S'_{a,z}$ a partir del experimento de un nuevo efecto selectivo (2) de la red:

$$S'_{a,f} = S_{a,f}^{red-2} + \theta_{a,f} \quad (3)$$

En este ejercicio se ha incluido el efecto espacial en atención a que existirían efectos selectivos diferenciados por zonas. En la evaluación de stock actualmente se distinguen dos flotas (f) o zonas: zona centro sur (CS) y sur austral (SA) (Payá, 2015).

4.3.2. Impacto en las medidas de conservación

Cambios en el patrón de explotación o selectividad “verdadera” pueden producir importantes variaciones en el valor de criterios de referencia o Puntos Biológicos de Referencia (PBR), particularmente a nivel de valor de la mortalidad por pesca considerada límite u objetivo. Para la merluza de cola, el criterio de explotación de referencia corresponde a la tasa de explotación que genera el escape del 45% de la biomasa desovante virginal por recluta ($u_{45\%}$) (IFOP, 2014), valor que a su vez depende de la selectividad estimada en la evaluación de stock (Paya, 2015). Nótese que en este mismo sentido, y para efectos prácticos, el criterio de biomasa definida como objetivo y proxy al RMS ($B_{rms}=B_{45\%}$) se supondrá que no depende de cambios en la selectividad dada su poca influencia que tendría en la estimación del reclutamiento virginal (R_0) ($B_{rms}=0.45*R_0*BPR_0$).

El valor estimado es $u_{45\%}=0.173$ (IFOP, 2014) y proviene de un análisis por recluta, el cual consiste en estimar el nivel de explotación de referencia (tasa de explotación) que genera en el largo plazo un determinado escape de biomasa por recluta (BPR). En el caso del modelo de merluza de cola, el modelo de dinámica es en estados discretos (Payá, 2015) y la explotación actual sucede secuencialmente en dos momentos del año: la primera por la flota arrastrera en la zona centro-sur (CS) concentrada en torno al mes de abril (t_1), y la segunda por la flota arrastrera sur austral (SA) concentrada en torno a Septiembre (t_2). Si se considera que la base por recluta se define como $N_{a=1,t_0}=1$, la dinámica por recluta en base al modelo de Payá (2015) es la siguiente:

$$N_{a,t_1} = N_{a,t_0} e^{-\frac{3}{12}M} \quad (4)$$

$$N_{a,t_2} = N_{a,t_1} (1 - \mu_a^{CS}) e^{-\frac{5}{12}M} \quad (5)$$

$$N_{a,t_3} = N_{a,t_2} (1 - \mu_a^{SA}) e^{-\frac{3}{12}M} \quad (6)$$

$$N_{a,t_4} = N_{a,t_3} e^{-\frac{1}{12}M} \quad (7)$$

De manera que los sobrevivientes a la edad siguiente será:

$$N_{a+1,t_0} = N_{a,t_4} \quad (8)$$

en tanto la tasa de explotación a la edad por flota depende de la selectividad “corregida” (S) por flota y la tasa de explotación global a evaluar (μ)

$$\mu_a^{CS} = \mu^{CS} S_{a,CS} \quad (9)$$

$$\mu_a^{SA} = \mu^{SA} S_{a,SA} \quad (10)$$

No obstante en términos explícitos existen patrones de explotación por zona/flota, la proporción de capturas de los años más recientes entre ambas permite la configuración de un único patrón de explotación conjunto, el que más tarde es empleado para el análisis por recluta y la estimación del criterio de referencia u_{45%}. Siguiendo este mismo proceso y a partir de las nuevas selectividades empíricas y de las selectividades “verdaderas”, se genera el patrón de explotación resultante a emplear.

La biomasa desovante por recluta se estima como:

$$SB_{\mu} = \sum_a N_{a,t_2} \Omega_a \bar{w}_a \quad (11)$$

donde Ω y w es la proporción de maduros y peso a la edad, respectivamente. La selectividad está implícita en los sobrevivientes que llegan a t_2 . De esta forma, el ejercicio consiste en identificar la tasa de explotación μ que satisface la condición:

$$\%BDPR = \frac{SB_{\mu=45\%}}{SB_{\mu=0}} = 0.45 \quad (12)$$

4.3.3. Significancia del efecto selectivo

Con el objeto de evaluar la significancia estadística de cambios en el valor del punto biológico de referencia respecto de variaciones en el efecto selectivo de las redes, se generan $N=1000$ muestras aleatorias de θ_a conforme el supuesto de distribución dado antes (Ec. 2) y dado el nuevo patrón de selectividad generado, se estimará el valor de $u_{45\%}$. Se generaron en consecuencia 1000 valores de este parámetro y cuya distribución empírica permite establecer si al 95% de confianza, el valor conocido $u^*_{45\%}$ está contenido en el intervalo del nuevo valor de referencia definido por los cuantiles (q) del 5% y 95%: $q_{5\%} \leq u_{45\%} \leq q_{95\%}$.

4.3.4. Simulación del efecto de la combinación esfuerzo de pesca vs tamaño de malla

De igual manera y a fin de sensibilizar los impactos de largo plazo que tendría la nueva o actual esquema de selectividad en el escape de la biomasa, se proyecta la población desovante en el largo plazo bajo condiciones de equilibrio (i.e., reclutamiento y mortalidad por pesca constante) considerando diferentes valores de tallas de primera captura en respuesta a variaciones del tamaño de malla, incluyendo las medidas vigentes, y diferentes niveles de esfuerzo de pesca reflejadas proporcionalmente en la mortalidad por pesca. Se generan curvas de nivel de la respuesta esperada de la biomasa relativa a la biomasa virginal y las capturas relativas a la captura máxima, con lo cual se podrá identificar un cuadro de combinaciones posibles de esfuerzo y talla mínima que generen la recuperación de la biomasa por recluta al nivel objetivo deseado (%BDPR=45%). Este análisis permite igualmente evaluar el costo (en unidades de esfuerzo relativo) que tiene cada posible acción de manejo en la variación de las futuras capturas.

Objetivo específico 4. Evaluar experimentalmente el desempeño de las redes de arrastre con las mejoras introducidas de acuerdo a los resultados obtenidos en el objetivo 3 y elaborar las recomendaciones sobre la base de lo anterior.

De manera previa al avance en el objetivo 4.3, se identificó la posibilidad de evaluar el efecto de un cambio en la configuración de los copos usados por parte de la flota industrial que opera en la zona sur-austral. En particular, un armador indicó que a partir de octubre del año 2014 implementaron un cambio en la configuración de las mallas del copo en sus redes de arrastre para merluza de cola, específicamente pasaron de usar mallas romboidales tradicionales a mallas rotadas, también llamadas T90. Dicho cambio significó, conforme a lo indicado por representantes de la empresa, una reducción significativa de captura de peces de menor tamaño, lo cual se expresa como la proporción de ejemplares bajo 55 cm LT.

Para probar esto, se utilizaron datos de aquella embarcación que se dispone de mayor cantidad de lances y muestreos de tamaños por parte de observadores científicos del IFOP. En total se consideraron 625 lances realizados entre los años 2013 y 2016. Al interior de cada año los datos fueron agrupados por trimestre para mantener el balance del análisis. La proporción de ejemplares bajo los 55 cm (PB55) por cada lance fue ponderada a la captura del lance.

El objetivo de este análisis consistió en determinar la existencia de cambios interanuales significativos en la PB55 capturados debido a las modificaciones de la red de arrastre, sin embargo, a partir de la base de datos históricos no se tiene información de las características específicas del diseño de la red utilizada en cada operaciones que permitiera considerarlo como una variable dentro de la modelación. Por este motivo, el año se usó como una medida indirecta del tipo de arte de pesca para medir la variabilidad de la PB55 en la modelación, asumiendo que la embarcación uso la red tradicional entre los años 2013 y 2014, y que los cambios debido a una red modificada se reflejan en los resultados de los años 2015 y 2016.

Para modelar la PB55 de merluza de cola se usó un modelo lineal generalizado (MLG). Aquellos ejemplares que midieron por sobre y debajo los 55 cm de LT fueron considerados como 0 y 1, respectivamente. Una familia binomial con una función de enlace logit se usó debido la naturaleza binaria de PB55. La latitud (LAT) y longitud (LON) fueron consideradas como predictores, mientras que el año, trimestre (TRIM) y sexo como variables categóricas. El modelo completo aplicado fue:

$$PB55 \sim \alpha + AÑO + TRIM + SEXO + LAT * LON + \varepsilon$$

donde α es la media global (o intercepto) y ε es un error asumido con una distribución normal.

Una serie de modelaciones se construyeron considerando todas las posibles combinaciones entre los predictores y variables categóricas. La selección del modelo se realizó por un procedimiento automatizado “Stepwise Forward” basado en el valor de criterio de información de *Akaike* (AIC) según Burnham & Anderson (2002). Este procedimiento consistió en añadir una variable y eliminar aquella que no resultó significativa a la vez hasta la obtención del modelo con un valor de AIC mínimo. La significancia de los coeficientes fue evaluada con el análisis de varianza tipo II. En el diagnóstico del modelo se revisó el supuesto de normalidad y homocedasticidad de los residuos. Para examinar la posible multicolinealidad entre las variables predictoras, aplicamos la correlación de Pearson y factor de inflación de la varianza generalizado (GVIF) debido que existe variables continuas y categóricas dentro del modelo ajustado. Un valor GVIF próximo a 1 indicaría ausencia de colinealidad. Todos los análisis estadísticos de esta sección fueron llevados a cabo con el programa de acceso abierto R-project (www.rproject.org).

5. RESULTADOS

Objetivo específico 1. Caracterizar los artes de arrastre en uso en la flota que opera sobre la pesquería de merluza de cola en toda el área de distribución

5.1.1 Revisión bibliográfica

a) Resultados de selectividad en *M. magellanicus*

Los únicos trabajos disponibles sobre esta especie fueron realizados por el Instituto de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP) de Argentina, a fines de la década de 1990. Estos trabajos consisten en una experiencia práctica documentada por Ercoli et al. (1998) y una teórica basada en la modelación de la relación entre perímetro opercular y el perímetro de la malla (Mituhasi et al., 2000).

Respecto a la experiencia práctica, los lances se realizaron usando una red de arrastre de fondo del tipo Engel de dos paneles. El copo de la red estuvo construido con hilo doble de polietileno (PE) de 5 mm de diámetro y una luz de malla de 120 mm. Por su parte, el cubrecopo para recolectar los peces que escapan era de 60 mm de luz de malla. En el copo se utilizaron cinturones ubicados cada 1,8 m de separación. A partir de 18 lances con captura, se estimó que el valor de L50 equivale a 60,74 cm LT, por lo cual el factor de selectividad ($FS=L50/luz\ de\ malla$) es de 5,06 (ver Ercoli et al., 1998).

En cuanto a la modelación de la relación entre perímetro opercular y el perímetro de la malla, Mituhasi et al. (2000) consideraron dos tamaños de luz de malla, como son 103 y 120 mm. La modelación además consideró la posibilidad de encuentro entre el pez y la malla que constituye el copo, siendo $p=1$ (100% de encuentro) o bien ajustada dentro de la modelación de la selectividad. De este modo, se obtuvieron factores de selectividad entre 4,77 y 5,42 (Tabla 3).

Tabla 3. Resumen de estimados de selectividad de mallas obtenidas por Mituhasi et al. (2000) para *M. magellanicus*.

	Luz de malla de 103 mm		Luz de malla de 120 mm	
Probabilidad de encuentro (p)	1,0	0,848	1,0	0,8523
L50 (cm)	50,46	52,25	65,25	68,41
RS (cm)	10,84	10,00	19,49	16,62
FS	4,77	4,94	5,17	5,42

b) Resultados de selectividad en especies de las familias Merlucciidae y Gadidae

Se dispone de gran cantidad de trabajos de selectividad de tallas para especies afines a merluza de cola a nivel mundial, especialmente de las familias Merlucciidae y Gadidae. Al respecto, en el caso del bacalao del Atlántico se han probado copos de distintos materiales (poliamida PA, y polietileno PE), así como tipos (simple y doble) y diámetros de hilos (3 a 8 mm). También se han usado diferentes métodos de estimación de la selectividad de tallas. En cualquier caso, los resultados muestran que el factor de selectividad fluctúa entre 2,4 y 3,42 (Tabla 4), siendo en general mayor para hilos de diámetro menor. Ahora bien, para un mismo diámetro de hilo, por ejemplo 4 mm, se han obtenido valores del FS entre 2,96 y 3,32, obteniéndose el valor más bajo al usar hilo doble (Tabla 4). De este modo, es posible inferir en primera instancia que hilos dobles y de mayor diámetro reducen el valor de L50.

Tabla 4. Resumen de experiencias de selectividad en Atlantic cod (*Gadus morhua*) y factores de selectividad estimados a partir de los trabajos realizados por: Bagge (1978); Bohl & Valencia (1976); Bohl (1980, 1981); Lowry et al. (1995); Netzel & Zaucha (1989); Olofsson & Otterlind (1978); Shevtsov (1981); Strzyzewski et al. (1973); Tschernij et al. (1996); Wienbeck & Dahm (2000). PA: poliamida; PE: polietileno.

Método	Tipo de hilo	Material	Diámetro del hilo	Factor de selectividad			n
				Promedio	Mínimo	Máximo	
Copo cubierto	Simple	PA	3	3,42	2,89	3,82	16
sin soporte	Simple	PA	4	3,24	2,81	3,92	7
Copo cubierto	Doble	PE	4	2,96	2,48	3,44	19
con soporte	Simple	PE	4	3,32	3,31	3,32	2
	Simple	PA	3	2,92	2,8	3,12	10
Sobrecopo	Simple	PA	4	3,14	3,09	3,18	2
sin soporte	Simple	PA	5	2,75	2,69	2,85	4
	Simple	PE	8	2,40	2,31	2,53	3

En la misma especie (bacalao del Atlántico) se han probado copos de distintos tipos los cuales han sido resumidos por Madsen (2007). Entre los copos más estudiados se encuentran aquellos estándar de hilo simple de PA (485 lances) y los de hilo doble de PE de 4 mm de diámetro (247 lances) (Fig. 4), siendo mejor el desempeño de los copos de PA en mallas menores a 120 mm, mientras que para mallas de mayor tamaño (>130 mm) resulta mejor el uso de copos de PE (Tabla 5). En general, el FS fluctúa entre 0,301 y 0,401 (Tabla 4) lo que corresponde a valores de L50 de 33,1 y 44,1 cm LT, respectivamente al emplear 110 mm de luz de malla. Los valores más altos de FS han sido reportados en copo con mallas modificadas (rotada, rectangular y cuadrada) o bien con ventanas de escape sin nudo del tipo BACOMA (Tabla 6; Fig. 4).

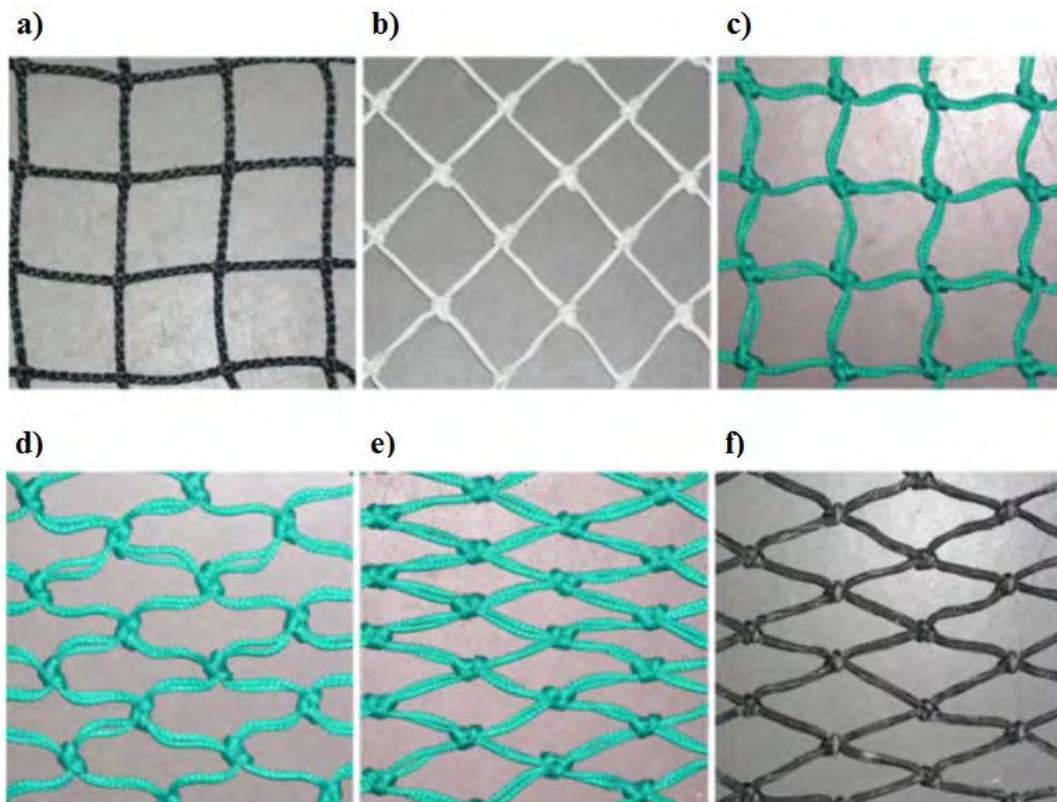


Figura 4. Algunos tipos de materiales empleados en la construcción de copos. a) paño de PE sin nudo usado para ventanas de escape del tipo BACOMA, b) paño de PA con nudo usado para ventana de escape tipo sueca, c) paño de PE doble con nudo usado para ventana de escape tipo danesa, d) paño de PE doble con nudo para copos de malla rotada (T90), e) paño para copo estándar de PE doble con nudo y f) paño para copo estándar de PA con nudo.

Tabla 5. Resumen de modelos de regresión lineal para estimación de L50 en bacalao del Atlántico según diferentes configuraciones de copos. Barcos entre 290 y 1250 HP. Modificado de Madsen (2007). ms: luz de malla.

Tipo de copo	Lances	Modelos
Estándar hilo doble de PE de 4 mm	247	$L50 = ms * 0,465 - 20,2$
Estándar hilo simple de PA	485	$L50 = ms * 0,328$
Copos antiguos	24	$L50 = ms * 0,319$
Malla rotada (T90 de PE hilo doble con nudo)	21	$L50 = ms * 0,362$
Rectangular	31	$L50 = ms * 0,401$
Malla cuadrada	9	$L50 = ms * 0,368$
Ventana sueca (PA hilo simple con nudo)	67	$L50 = ms * 0,355$
Ventana danesa (PE hilo doble con nudo)	32	$L50 = ms * 0,301$
Nueva ventana danesa (PE hilo doble con nudo)	14	$L50 = ms * 0,315$
Ventana BACOMA (PE hilo simple sin nudo)	47	$L50 = ms * 0,379$
Multipanel	-	$L50 = ms * 0,372$

Tabla 6. Resumen de modelos de regresión lineal para estimación de L50 en bacalao del Atlántico (*Gadus morhua*), eglefino (*Melanogrammus aeglefinus*) y polaca (*Pollachius virens*) según diferentes configuraciones tamaños de luz de malla empleados. Modificado de Halliday et al. (1999). ms: luz de malla (entre 130 y 155 mm).

Especie objetivo	Malla	Lances	Modelos	Origen de los datos
Bacalao del Atlántico	Diamante	8	$L50 = ms * 0,483 - 13,67$	Halliday et al. (1999)
	Cuadrada	6	$L50 = ms * 0,424 + 0,8$	
Haddock	Diamante	7	$L50 = ms * 0,390 - 6,66$	
	Cuadrada	7	$L50 = ms * 0,376 - 0,13$	
Bacalao del Atlántico	Diamante	66	$L50 = ms * 0,499 - 16,105$	Varios autores
	Cuadrada	8	$L50 = ms * 0,444 - 1,946$	
Haddock	Diamante	56	$L50 = ms * 0,461 - 15,051$	
	Cuadrada	13	$L50 = ms * 0,416 - 5,902$	
Pollock	Diamante	10	$L50 = ms * 0,256 + 15,036$	
	Cuadrada	5	$L50 = ms * 0,529 - 12,243$	

c) Daños y sobrevivencia

Los trabajos acerca de sobrevivencia post-escape son escasos debido a la alta complejidad para su ejecución ya que requiere contener a los peces escapados en una jaula para monitorear su evolución. En general, los resultados experimentales indican que la mortalidad es igual o inferior al 15% de los peces que escapan a través de las mallas del copo, variable según las propiedades de los sistemas de escape que dispongan las redes. En el caso del bacalao del Atlántico, la mortalidad más alta corresponde al uso de un copo estándar de luz de malla 120 mm, sin ventana de escape (Suuronen et al., 2005). El uso de ventanas de escape aparentemente se podría vincular con menores mortalidades post-escape, siendo incluso nula en algunas experiencias usando copos con tres ventanas de escape (Suuronen et al., 1996). En el caso del carbonero (*Pollachius virens*), el único registro reportó mortalidades menores del 2% luego de los 7 días posteriores al escape a través de las mallas de un copo de 135 mm de luz de malla (Ingolfsson et al., 2002).

Tabla 7. Mortalidad después del escape bajo condiciones experimentales, según especie. GM: *Gadus morhua*. PV: *Pollachius virens*.

Condiciones experimentales	Especie	Mortalidad	Referencia
Copo con ventana de escape de 95 mm (13 días de observación)	GM	2,5%	Suuronen et al. (1996)
Copo con tres ventanas de escape de 95 mm (12-14 días de observación)	GM	0%	Suuronen et al. (1996)
Copo con ventana de escape de 105 mm (5-14 días de observación)	GM	13%	Suuronen et al. (2005)
Copo estándar de 120 mm sin ventana de escape (5-12 días de observación)	GM	15%	Suuronen et al. (2005)
Copo tipo BACOMA de 105 mm (13-14 días de observación)	GM	2%	Suuronen et al. (2005)
Copo de 135 mm con hilo PE doble de 5 mm (7 días de observación)	GM	0,3%	Ingolfsson et al. (2002)
Copo de 135 mm con hilo PE doble de 5 mm (7 días de observación)	PV	0,3% - 1,6%	Ingolfsson et al. (2002)

5.1.2 Información de los artes de pesca

Se procesaron los datos registrados por lo observadores científicos del IFOP a bordo de las naves arrastreras que operan sobre merluza de cola. De acuerdo a los registros, son 15 modelos distintos de redes que han sido usadas en la pesquería entre los años 2005 y 2016. Ahora bien, estos 15 modelos provienen de 2 grandes grupos de redes, como son: arrastre de fondo y arrastre de mediagua. Las redes Engel, Carmen, Nova, Casanova, C175, FT2044, FT2644 y 50 K-3 corresponden a redes de arrastre de fondo. Por su parte, las redes Atlántica, Motueka y Gloria son redes de arrastre de mediagua. La tabla 8 muestra las redes que han sido vinculadas a cada barco (código IFOP).

Tabla 8. Modelo y especificaciones de redes registradas por observadores a bordo del IFOP.

Barco	Modelo de red	
300659	Ártica	III
	Atlántica	3
	Engel	
	Motueka	230
301017	Atlántica	3
	Motueka	230
301020	Atlántica	3
	Motueka	230
301021	Motueka	230
301215	Ártica	III
	Atlántica	3
400042	Carmen	166
	Gloria	704; 1408
	Nova	118
400043	Carmen	166
	Gloria	1152; 1408
	Nova	118
400180	Gloria	1408
940265	Casanova	Chica; Grande
	Gloria	1152; 1408
940392	Casanova	Grande
	Gloria	1408
940857	Casanova	
	Gloria	1152; 1408
940034	50 K-3	
	C175	
	FT 2644	
400017	26 A-1	
	Casanova	
	FT 2044 FT 2644	

Se indican también algunas especificaciones de los modelos, como son “III” en el caso de la red Ártica, “3” en el caso de la red Atlántica, o bien “chica” y “grande” en el caso de la red Casanova, lo que ciertamente resulta complejo poder asociar a alguna propiedad específica de la red. En el caso de las redes Carmen, Gloria, Nova y Motueka, el número que precede su nombre corresponde al perímetro de tela estirada medido en la boca de la red, siendo una unidad estándar que permite comparación directa.

Ahora bien, en los últimos años (2014-2016), la mayor cantidad de lances se han llevado a cabo con las redes de modelos Atlántica, Gloria, Casanova, C175, FT2644 y FT2044 (Tabla 9), respondiendo a los objetivos de producción y permisos disponibles para cada armador. Algunos barcos presentan objetivo de captura específico sobre merluza de cola y suelen emplear redes de arrastre de mediagua, a diferencia de los barcos que capturan otras especies demersales, para lo cual utilizan redes de arrastre de fondo.

Tabla 9. Cantidad de lances en los cuales ha sido registrado el uso de cada modelo de red de arrastre en la pesquería de merluza de cola entre 2010 y 2016.

Código de barco / Modelo de red	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
300659 Ártica III	6		4	35			
Atlántica 3	156	183	169	112			
Engel	6		8	18			
301017 Atlántica 3		94	117	77	81	236	75
Motueka 230	126	31					
301020 Atlántica 3		35	108	157		41	9
Motueka 230		114	5				
301021 Motueka 230	13						
301215 Ártica III			10	70			
Atlántica 3		75	105	57	109	104	39
400042 Gloria 704; 1408	15	342	137		273	198	38
Nova 118		45			44		
400043 Carmen 166	33	11	26	15	1		
Gloria 1152; 1408	829	599	763	832	435	368	686
Nova 118	11	9		5		46	3
400180 Gloria 1408							476
940265 Casanova Chica; Grande		82	127	66	16	108	87
Gloria 1152; 1408		68	46			195	95
940392 Casanova Grande	35						
Gloria 1408	62						
940857 Casanova						160	81
Gloria 1152; 1408				74	7	155	44
940034 50 K-3	156	193					
C175			217	291	183	274	384
FT 2644	305	269	257	235	356	262	254
400017 26 A-1		186	1				
Casanova	472	281	409	303	301	421	517
FT 2044	488	423	173	322	78	310	248
FT 2644					177		72

5.1.3 Índices y relaciones para caracterización de redes

Se solicitó información a los armadores que participan en la pesquería de merluza de cola, y se realizaron visitas y entrevistas para conocer información tanto de los planos de las redes como de la operación de las mismas. Los planos disponibles correspondieron a las redes Gloria (1408 y 704), Casanova, Atlántica, Halcones, FT-2044, Tornado y Engel. Las redes Halcones y Tornado no aparecen dentro de los registros de los observadores científicos ya que al parecer han sido incorporadas recientemente en la pesquería. Los planos de las redes y los respectivos copos se presentan en los Anexos I y II.

Las redes de arrastre de fondo modelos Casanova, Tornado y Engel despliegan una altura entre 7,8 y 14,3 m, mientras que su abertura fluctúa entre 24,6 y 51,9 m, lo que determina una relación de aspecto de la boca de la red (Abertura/Altura) entre 3,2 y 3,6:1 (Tabla 10). En particular, las redes Tornado y Engel son preferentemente usadas para la captura de merluza común, no obstante en ocasiones se utilizan para merluza de cola. Respecto a las redes de arrastre de mediagua, los modelos Gloria, FT-2044, Atlántica y Halcones despliegan una altura significativamente mayor, fluctuando entre 29,8 y 50,0 m, mientras que su abertura fluctúa entre 60 y 120 m. Esto determina que su relación de aspecto varíe entre 1,3 y 3,0:1 (Tabla 10).

Tabla 10. Altura, abertura y relación de aspecto de la boca de las redes que han sido caracterizadas a la fecha en la pesquería de merluza de cola.

Red	Altura (m)	Abertura (m)	Relación Abertura/Altura	Origen del dato
Gloria 704	35,0	45,0	1,3	Catálogo
Gloria 1408	45,0	90,0	2,0	Entrevista
Gloria 1408	40,0	120,0	3,0	Catálogo
FT-2044	40,0	60,0	1,5	Entrevista
Casanova	7,8	24,6	3,2	Entrevista
Atlántica	50,0	70,0	1,4	Sensores
Tornado	14,3	51,9	3,6	Sensores
Halcones	29,8	62,6	2,1	Sensores
Engel	9,1	29,7	3,3	Sensores

Otra característica destacada de las redes de mediagua es la gran dimensión tanto del perímetro de la boca (longitud de tela estirada en el perímetro de la red) como del tamaño de malla empleado en los cuerpos de la boca. Las redes analizadas poseen un perímetro de boca entre 704 y 1408 m, mientras que las mallas de la sección frontal fluctúan entre 16 y 64 m (Tabla 10). La red de mayor tamaño es la Gloria 1408 que posee 1408 m de perímetro en la boca y mallas de 64 m. Las redes de arrastre de fondo poseen dimensiones más pequeñas, con perímetro de boca entre 108 y

492 m, y mallas en la sección frontal entre 0,25 y 6 m (Tabla 11). En este grupo de redes, el modelo Tornado se percibe como un híbrido entre arrastre de fondo y mediagua, ya que su perímetro es bastante superior a las redes Casanova y Engel, y las mallas de la sección frontal son de gran tamaño (6 m) similar a las usadas en redes de mediagua. Con todo, este grupo de redes presentan una relación Abertura/LRS que fluctúa entre 0,413 y 0,473 (Tabla 11), lo que se interpreta que la Abertura desplegada en operación representa entre el 41,3 y 47,3% de la longitud de relinga superior.

Tabla 11. Longitud de relinga superior (LRS), relación Abertura/LRS y dimensiones de las mallas en las alas y copo de las redes que han sido caracterizadas a la fecha en la pesquería de merluza de cola. *valores nominales informados (no medidos). Entre paréntesis la desviación estándar de la luz de malla en la muestra. + redes de arrastre de mediagua. ++ redes de arrastre de fondo.

Red	Perímetro en la boca (m)	LRS (m)	Abertura/LRS	Tamaño malla en alas (mm)	Luz de malla en copo (mm)
Gloria 704 +	704	108,0	0,429	16.000	130*
Gloria 1408 +	1408	208,0	0,433	64.000	130*
FT 2044	880	132,1	0,454	20.000	130*
Casanova ++	108	55,8	0,441	250	130*
Atlántica +	884	148,1	0,473	26.000	120*
Halcones +	952	138,2	0,453	16.000	120 (3,1)
Tornado ++	492	125,5	0,413	6.000	101 (1,9)
Engel ++	160	71,4	0,414	300	101 (1,6)

Ahora bien, en cuanto a las características de las redes que a la fecha han sido empleadas en el presente estudio para la captura de merluza de cola, las redes de arrastre de fondo modelos Tornado y Engel cuentan con paneles de escape de malla cuadrada así como rejilla de selección para la exclusión de jibia. Ambos modelos usan paños de PE con nudo de 101 mm de luz de malla en el copo, ya sea hilo simple de 8,5 mm o doble de 4 mm de diámetro (Tabla 12). El uso de dicha luz de malla y de panel de escape de malla cuadrada responde a que el objetivo principal del lance fue merluza común y, por lo tanto, el arte utilizado busca cumplir con lo establecido en la R.Ex. N° 2808 de 2005 que rige entre el límite norte de la República y el paralelo 43°S. Ahora bien, para especies distintas de merluza común, dicha resolución indica que las redes deben tener un tamaño mínimo de luz de malla de 100 mm y usar panel de escape de malla cuadrada, o bien, tener un tamaño mínimo de luz de malla de 120 mm, prohibiéndose en ambos casos el uso de cubrecopos. Por este motivo, las redes Atlántica y Halcones utilizadas en la zona centro-sur para la captura de merluza de cola poseen copos contruidos con paños de red de 120 mm de luz de malla (PE hilo doble de 4 mm de diámetro), y no utilizan panel de escape de malla cuadrada (Tabla 12). En la zona sur-austral en tanto, la red Gloria 1408 cumple con la normativa D.Ex. N° 144 de 1980 que establece que al sur del paralelo 43°S,

las redes de arrastre deben tener un tamaño mínimo de luz de malla de 130 mm y no deben utilizar cubrecopo (Tabla 12).

Tabla 12. Características de los sistemas de selección dispuestos en las redes de arrastre, de las mallas del copo y antecopo, y de los cinturones dispuestos en el copo. * Redes de arrastre de fondo, usadas en menor frecuencia para merluza de cola.

Red	Panel de escape	Rejilla de selección	Mallas del copo	Mallas del antecopo	Separación entre cinturones
Gloria 1408	No	No	Hilo simple de PE sin nudo (Ultracross) Luz de malla: 130 mm φhilo: 8 mm	Hilo simple de PE con nudo Luz de malla: 130 mm φhilo: 6 mm	0,8 – 1 m (7 a 8 m de largo)
Atlántica	No	No	Hilo doble de PE c/nudo Luz de malla: 120 mm φhilo: 4 mm	Hilo doble de PE c/nudo Luz de malla: 117 mm φhilo: 4,3 mm	0,8 – 1 m
Halcones	No	No	Hilo doble de PE c/nudo Luz de malla: 120 mm φhilo: 4 mm	Hilo doble de PE c/nudo Luz de malla: 117 mm φhilo: 4,3 mm	0,8 – 1 m (7,5 m de largo)
FT-2044	No	No	Hilo doble de PE c/nudo Luz de malla: 132 mm φhilo: 4 mm	Hilo doble de PE c/nudo Luz de malla: 117 mm φhilo: 4,3 mm	1,2 m (7,2 m de largo)
Engel*	Si	Si	Hilo doble de PE c/nudo Luz de malla: 101 mm φhilo: 4 mm	Hilo simple de PE c/nudo Luz de malla: 98 mm φhilo: 7 mm	0,6 – 0,7 m (7 m de largo)
Tornado*	Si	Si	Hilo simple de PE c/nudo Luz de malla: 101 mm φhilo: 8,5 mm	Hilo doble de PE c/nudo Luz de malla: 86 mm φhilo: 6 mm	0,6 – 0,8 m (7,5 m de largo)

5.1.4 Simulación dinámica

Se realizaron simulaciones dinámicas para el diseño de copo experimental para evaluar selectividad (arrastre pantalón; Anexo III) y simulaciones para estudiar el desempeño de cuatro modelos de redes de arrastre, correspondiente a Gloria 1408, Halcones, FT-2044 y Tornado. Dichas simulaciones corresponden específicamente al desempeño de cada red actualmente usada en la pesquería bajo diferentes velocidades de arrastre. A medida que la velocidad de arrastre aumenta, también aumenta la tensión total y la abertura de la boca de la red, esto último debido al aumento de la fuerza de abertura de los portalones (Tabla 13). Por el contrario, la altura de la boca de la red se reduce con el aumento de la velocidad de arrastre.

Las simulaciones fueron realizadas usando el software DynamiT (Ifremer), usando como rango de profundidad de arrastre entre 250 y 350 m, a velocidades de arrastre entre 3,0 y 4,3 nudos. Las tensiones totales de arrastre se encuentran dentro de rangos similares entre redes, fluctuando entre 12,2 y 14,1 ton a una velocidad de 3 nudos hasta un rango entre 20 y 25,9 ton a 4 nudos de velocidad. Las redes de mayor envergadura vertical y horizontal corresponden a las redes Gloria 1408 y Halcones, con 87 y 88 m de abertura de boca a 3,5 nudos de velocidad, respectivamente. A 4 nudos de velocidad, la red Gloria 1408 despliega 94 m de abertura y 50 m de altura, mientras que la red Halcones alcanzaría una abertura similar (98 m) pero una altura bastante menor (18 m) (Tabla 13).

Tabla 13. Variables de salida de las simulaciones dinámicas realizadas en redes de arrastre usadas para la captura de merluza de cola, para velocidades de arrastre entre 3,0 y 4,3 nudos.

Red	Variable	Velocidad de arrastre (nudos)			
		3,0	3,5	4,0	4,3
Gloria 1408	Tensión total (Kgf)	14.164	19.776	25.889	30.736
	Altura de la boca (m)	55	53	50	42
	Abertura de la boca (m)	61	87	94	103
	Relación Abertura/Altura	1,1	1,6	1,9	2,5
Halcones	Tensión total (Kgf)	12.346	17.941	23.884	-
	Altura de la boca (m)	56	35	18	-
	Abertura de la boca (m)	66	88	98	-
	Relación Abertura/Altura	1,2	2,5	5,3	-
FT-2044	Tensión total (Kgf)	12.505	16.009	19.876	-
	Altura de la boca (m)	24,6	16,8	11,2	-
	Abertura de la boca (m)	40,6	41,8	41,7	-
	Relación Abertura/Altura	1,7	2,5	3,7	-
Tornado	Tensión total (Kgf)	12.581	16.156	20.105	-
	Altura de la boca (m)	24,1	17,5	14,8	-
	Abertura de la boca (m)	52,0	54,2	56,3	-
	Relación Abertura/Altura	2,2	3,1	3,8	-

5.1.5 Relación entre tamaños de captura y modelos de redes de arrastre

En término general, el tamaño promedio de los ejemplares reportado por las naves seleccionadas por este estudio fue de 60,4 cm LT entre 2014 y 2016, siendo el año 2016 que registró los ejemplares más pequeños entre la zona centro-sur y sur-austral (Tabla 14). El tamaño promedio no mostró un patrón temporal entre 2014 y 2016. El coeficiente de variación abarcó entre un 17% de 2014 hasta un 20% en 2016, lo que indica una medida de dispersión moderada en torno a la media, dada la naturaleza de la distribución de las tallas, es decir, grado de asimetría y compuesta por más de una moda.

La estructura de tallas del recurso capturada con la red Atlántica 3 mostró ser bimodal para ambos sexos en los tres periodos, mientras que los restantes tipos de red, se caracterizó por ser principalmente unimodal con diferente grado de asimetría (Fig. 5). Durante el periodo de estudio, la mayor proporción de ejemplares capturados bajo los 55 cm LT (PB55) fue reportada por una nave arrastrera fábrica, única que operó con dos tipos de red (ver Anexo IV), la C175 que reportó PB55 entre los 44% en 2016 y 71% en 2015, mientras que la red FT 2044 abarcó entre los 24% en 2014 hasta 54% en 2015 (Fig. 5).

Para las naves hieleras arrastreras, el poder explicativo del modelo seleccionado fue bajo, solo explicó el 12% de la devianza de la talla, la cual todos los coeficientes fueron significantes ($P < 0,05$). Los valores GVIF fueron inferiores a 1.6, indicando ausencia de colinealidad. El factor AÑO fue la variable principal, explicando el 8% de la devianza, seguido el factor RED que explicó el 3% de la de la talla (Tabla 15).

Tabla 14. Resumen estadístico de los tamaños de ejemplares de merluza de cola capturado por las naves seleccionadas. n: número de ejemplares.

Año	n	Longitud total (cm)			
		Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. estándar
2014	26.593	31	109	60,1	10,52
2015	13.938	26	106	63,2	11,82
2016	20.446	23	110	58,9	12,05
Global	60.977	23	110	60,4	11,47

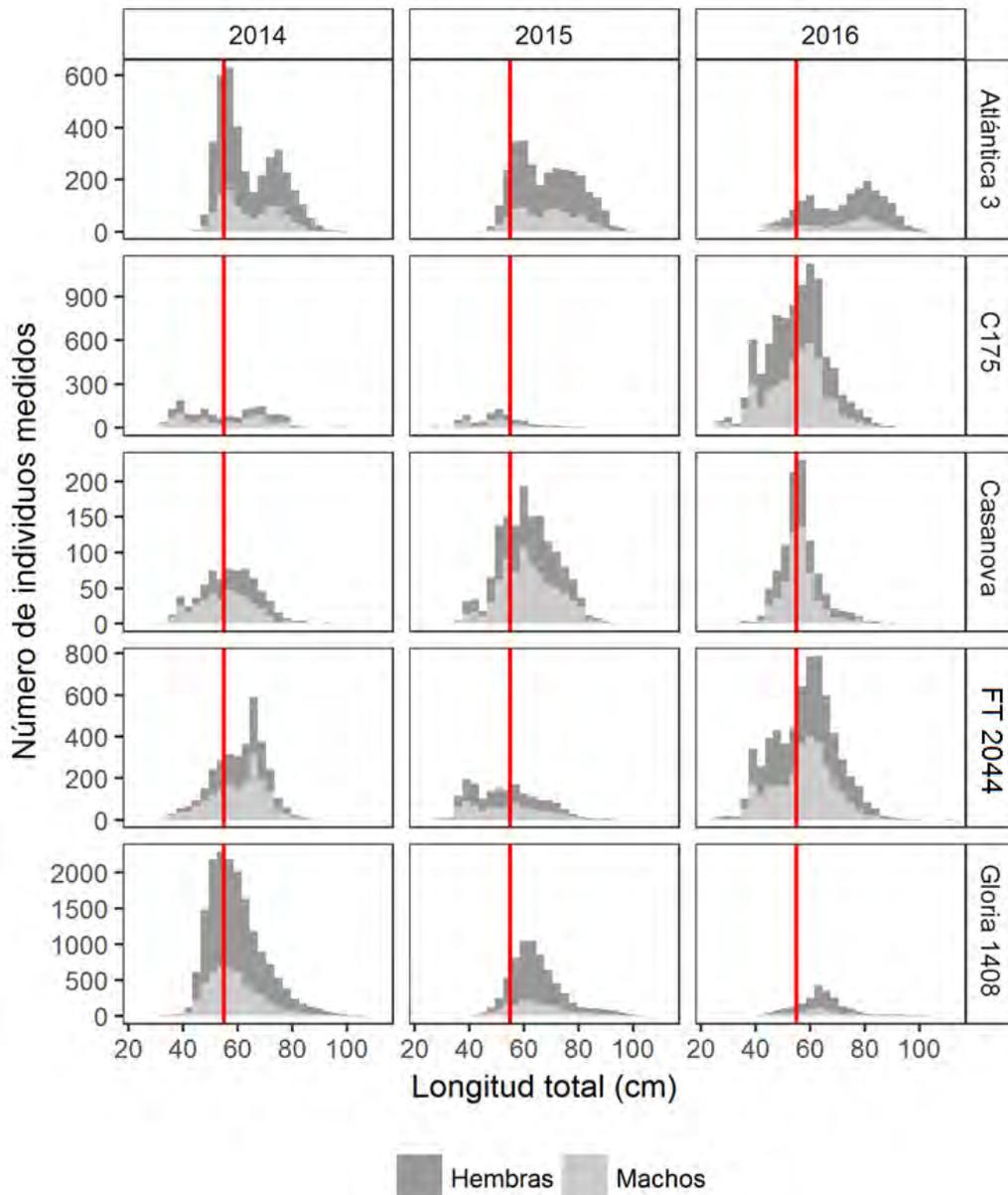


Figura 5. Composición de tallas por sexo de merluza de cola capturada por tipo de red, periodo 2014-2016. Línea roja corresponde la talla media de madurez sexual de 55 cm LT estimada para las hembras (Young et al., 1998).

El modelo de GLM señaló que las naves hieleras seleccionadas reportaron capturas de ejemplares mayores a los 60 cm LT. La talla modelada mostró una tendencia creciente entre 2014 y 2016, con una talla estimada entre los 61 y 67 cm LT, respectivamente. La red Atlántica 3 fue el arte de pesca que reportó capturas con ejemplares de mayor tamaño, siendo LT de las hembras levemente más grande que los machos (Fig. 6). En términos espacial, las tallas estimadas mostraron un leve

gradiente latitudinal, con ejemplares pequeños (~60 cm LT) capturados al sur de los 43°S, siendo esto más evidente para los años 2014 y 2015 (Fig. 7).

Tabla 15. Resumen estadístico de la modelación de la talla de merluza de cola por el modelo lineal generalizado para las naves arrastrera hielera. GVIF: factor de inflación de la varianza generalizada; DF: grado de libertad; AIC: criterio de información de Akaike.

Modelo: $LT \sim AÑO + RED + SEXO + LAT*LONG$				
Variables	GVIF	Df	Devianza explicada (%)	valor P
AÑO	1,01	2	8,2	<2.2e-16
RED	1,53	1	3,4	<2.2e-16
SEXO	1,00	1	0,1	<2.2e-16
LAT*LONG	1,52	1	0,1	<2.2e-16

Devianza nula	Devianza residual	Df residual	AIC	Devianza total explicada (%)
4217345	3721342	34820	261535	11,8

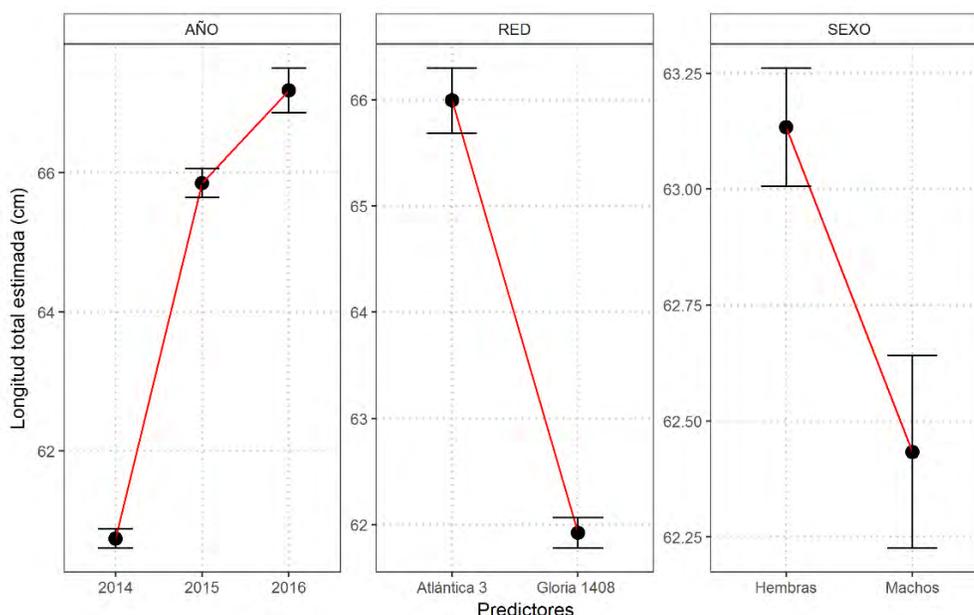


Figura 6. La talla de merluza de cola modelada por el GLM para las naves arrastreras hieleras. Línea vertical corresponde el intervalo de confianza del 95%.

Para las naves arrastreras fábricas, el poder explicativo del modelo seleccionado fue un 4% de la devianza de la talla, la cual todos los coeficientes fueron significantes ($P < 0,05$). Los valores GVIF

fueron inferiores a 1,2, indicando ausencia de colinealidad. El factor RED fue la variable principal, explicando el 2% de la devianza (Tabla 16).

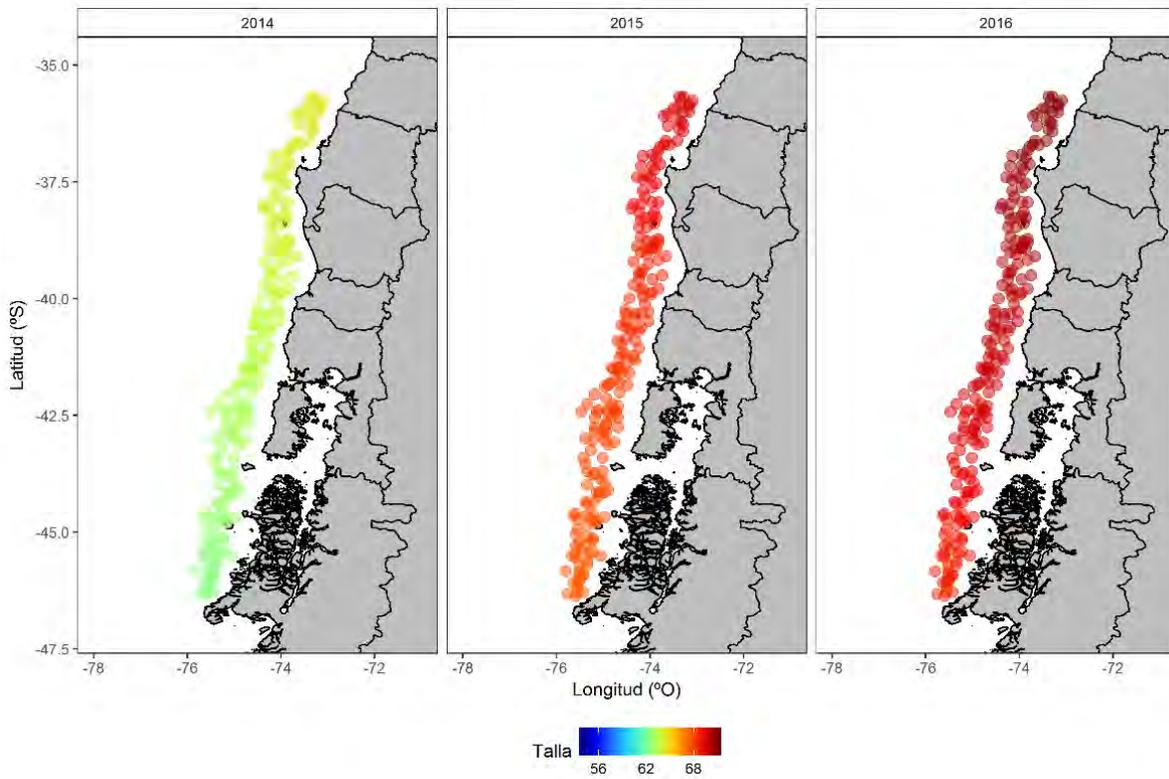


Figura 7. Distribución espacial de la talla de merluza de cola modelada por el GLM para las naves arrastreras hieleras. Línea vertical corresponde el intervalo de confianza del 95%.

Tabla 16. Resumen estadístico de la modelación de la talla de merluza de cola por el modelo lineal generalizado para las naves arrastreras fábricas. GVIF: factor de inflación de la varianza generalizada; DF: grado de libertad; AIC: criterio de información de Akaike.

Modelo: $LT \sim AÑO + RED + SEXO + LAT*LONG$				
Variables	GVIF	Df	Devianza explicada (%)	valor P
RED	1,12	2	2,2	<2.2e-16
AÑO	1,07	2	0,9	<2.2e-16
SEXO	1,00	1	0,2	<2.2e-16
LAT*LONG	1,16	1	0,2	<2.2e-16
Devianza nula	Devianza residual	Df residual	AIC	Devianza total explicada (%)
3280742	3164256	26144	199644	3,6

El modelo de GLM señaló que las naves fábricas seleccionadas reportaron capturas de ejemplares inferiores a los 60 cm LT. La red Casanova fue el arte de pesca que se estimó capturas de ejemplares de mayor tamaño (59,6 cm LT), mientras que los más pequeños fueron estimados con la red C175 (Fig. 8). La talla modelada no mostró un patrón temporal claro entre 2014 y 2016, aunque aquellas capturadas durante 2015 fueron inferiores a los 55 cm LT. Los tamaños de las hembras estimados fueron levemente mayores que los machos (Fig. 8). En términos espacial, las tallas estimadas también mostraron un leve gradiente latitudinal, con ejemplares pequeños (<58 cm LT) capturados al norte de los 47°S (Fig. 9).

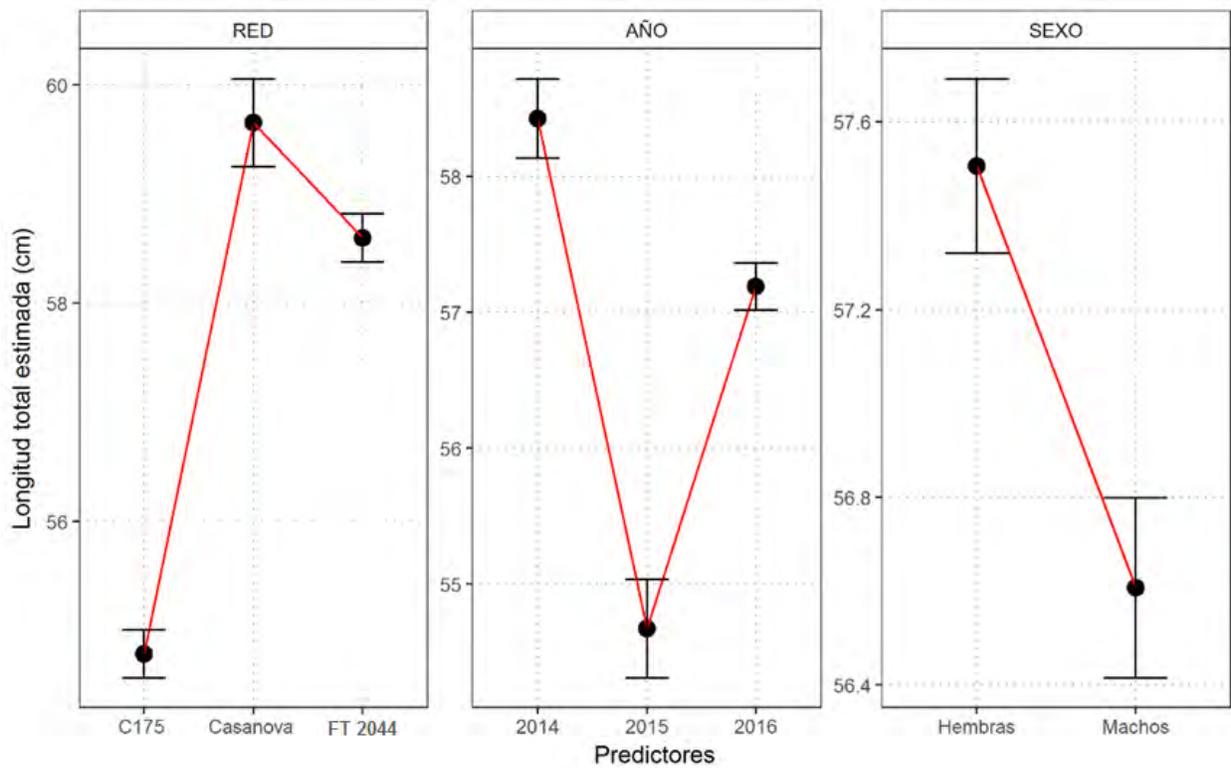


Figura 8. La talla de merluza de cola modelada por el GLM para las naves arrastreras fábricas. Línea vertical corresponde el intervalo de confianza del 95%.

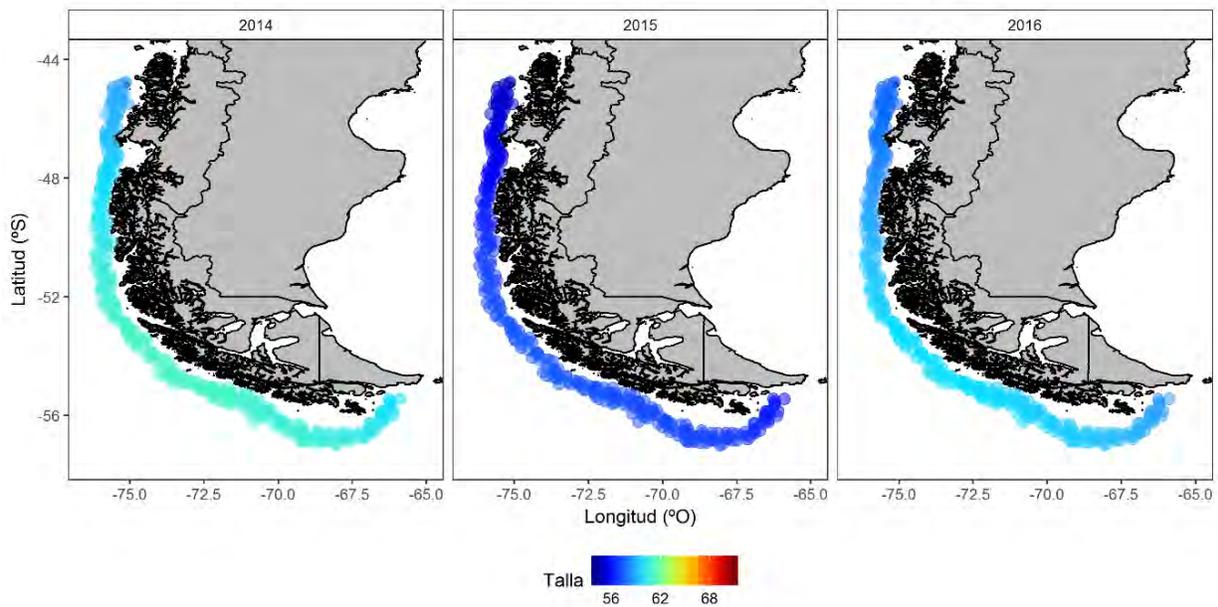


Figura 9. Distribución espacial de la talla de merluza de cola modelada por el GLM para las naves arrastreras fábricas. Línea vertical corresponde el intervalo de confianza del 95%.

Objetivo específico 2. Evaluar la selectividad de las redes actualmente utilizadas en la pesquería del recurso, en términos de las tallas de los ejemplares retenidos

5.2.1 Selectividad teórica

Durante la experiencia de selectividad teórica, los porcentajes de fracaso de los ejemplares en atravesar la configuración (asimilable a la “retención” de un ejemplar en la red), variaron entre 35% y 75%, para tamaños de malla de 140 mm y 110 mm, respectivamente. Con aberturas de malla correspondientes a $u=0,2$, el 100% de los ejemplares fue retenido, independientemente del tamaño de malla utilizado. El menor porcentaje de retención se obtuvo con una malla teórica de 140 mm y una abertura $u=0,6$. En cada tamaño de malla, se observa que los porcentajes de retención son no lineales respecto de la abertura de malla, disminuyendo a tasas decrecientes e incrementándose al pasar de aberturas de 0,6 a 0,5 (Tabla 17).

Globalmente, a partir de los ajustes logísticos, las tallas de primera captura (L50) variaron entre 46,1 mm y 81,4 mm de longitud total. En cada tamaño de malla, las tallas de primera captura aparecen bien diferenciadas entre aberturas de malla de 0,3 y 0,4, en tanto las estimaciones de L50 para aberturas entre 0,5 y 0,7 son muy similares entre sí. En general, todos los rangos de talla estuvieron bien representados en las fracciones retenidas, siendo la combinación tamaño de malla: 110 mm-abertura de malla: 0,3 la que presentó menor número de observaciones en tallas menores a 45 mm.

En el caso de la malla de 110 mm, las estimaciones de tallas de primera captura variaron entre 46,1 y 60,4 mm, observándose prácticamente el solapamiento total entre las estimaciones de L50 para aberturas entre 0,5 y 0,7 en el rango 60,0-60,4 mm. En el caso de mallas de 120 mm, las estimaciones variaron entre 49,5 y 68,3 mm, con estimaciones idénticas para aberturas de 0,6 y 0,7 de 68,3 y 68 mm de longitud total. Respecto de la malla de 130 mm, las estimaciones variaron entre 55,3 mm y 75 mm de longitud total, registrándose la mayor estimación de L50 con una abertura de 0,6. Finalmente, con una malla de 140 mm, las estimaciones de L50 variaron entre 59,7 y 81,4 mm de longitud total (Tablas 18 a 21; Fig. 10).

Las estimaciones de L50 para las distintas combinaciones entre tamaños de malla y aberturas fueron representadas mediante un gráfico de nivel utilizando la librería plotly (R) (Fig. 11). En ésta se aprecia que para un mismo tamaño de malla, es posible ajustar la talla de primera captura variando las aberturas entre 0,3 y 0,5, aproximadamente, en tanto para aberturas mayores, el efecto en L50 es

marginal. Igualmente, para una abertura constante menor a 0,4, se aprecian cambios más lentos de L50 ante incrementos de tamaños de malla. Así, en el rango 110-140 mm de tamaños de malla, para una abertura de 0,35 por ejemplo, las tallas de primera captura varían entre 50 y 66 cm, en tanto que para una abertura de 0,50, las tallas de primera de captura varían entre 60 y 78 cm.

Tabla 17. Número de retenciones (Nº retención), porcentaje de retención por tamaño de malla (TM, en mm) y abertura de la malla (AB) en la experiencia de selectividad teórica.

TM	AB	Nº retención	%_retención
110	0,2	404	100
110	0,3	390	97
110	0,4	300	74
110	0,5	241	60
110	0,6	235	58
110	0,7	239	59
Total 110		1.809	75
120	0,2	404	100
120	0,3	361	89
120	0,4	223	55
120	0,5	151	37
120	0,6	139	34
120	0,7	143	35
Total 120		1.421	59
130	0,2	404	100
130	0,3	297	74
130	0,4	149	37
130	0,5	86	21
130	0,6	69	17
130	0,7	83	21
Total 130		1.088	45
140	0,2	404	100
140	0,3	246	61
140	0,4	83	21
140	0,5	42	10
140	0,6	34	8
140	0,7	43	11
Total 140		852	35

Tabla 18. Parámetros de ajuste del modelo electivo logístico (a, b), tallas de primera captura (L50), rango selectivo (RS), errores estándar asociados (EE), criterio de Akaike (AIC) y devianza del modelo (MDEV), para una luz de malla (TM) de 110 mm y distintas aberturas (AB).

AB	TM	a	b	EE a	EE b	L50	RS	EE L50	EE RS	AIC	MDEV
0,3	110	-44,06	0,96	12,08	0,25	46,1	2,3	0,61	0,61	53,74	0,15
0,4	110	-33,67	0,61	4,34	0,08	55,1	3,6	0,37	0,46	114,86	9,42
0,5	110	-28,23	0,47	3,12	0,05	60,0	4,7	0,42	0,51	168,55	26,83
0,6	110	-24,46	0,40	2,58	0,04	60,4	5,4	0,45	0,57	193,49	21,11
0,7	110	-26,80	0,45	2,91	0,05	60,2	4,9	0,43	0,53	183,01	22,23

Tabla 19. Parámetros de ajuste del modelo electivo logístico (a, b), tallas de primera captura (L50), rango selectivo (RS), errores estándar asociados (EE), criterio de Akaike (AIC) y devianza del modelo (MDEV), para una luz de malla (TM) de 120 mm y distintas aberturas (AB).

AB	TM	a	b	EE a	EE b	L50	RS	EE L50	EE RS	AIC	MDEV
0,3	120	-23,47	0,47	3,90	0,08	49,5	4,6	0,53	0,75	128,26	18,31
0,4	120	-25,49	0,41	2,72	0,04	61,5	5,3	0,44	0,56	193,14	27,16
0,5	120	-27,79	0,41	3,18	0,05	67,3	5,3	0,45	0,61	193,65	24,51
0,6	120	-27,89	0,41	3,29	0,05	68,3	5,4	0,46	0,64	191,73	18,24
0,7	120	-25,65	0,38	2,95	0,04	68,0	5,8	0,48	0,67	206,35	24,83

Tabla 20. Parámetros de ajuste del modelo electivo logístico (a, b), tallas de primera captura (L50), rango selectivo (RS), errores estándar asociados (EE), criterio de Akaike (AIC) y devianza del modelo (MDEV), para una luz de malla (TM) de 130 mm y distintas aberturas (AB).

AB	TM	a	b	EE a	EE b	L50	RS	EE L50	EE RS	AIC	MDEV
0,3	130	-32,02	0,58	4,02	0,07	55,3	3,8	0,38	0,48	137,86	15,14
0,4	130	-28,18	0,42	3,25	0,05	67,4	5,3	0,45	0,61	191,39	34,95
0,5	130	-29,98	0,41	4,53	0,06	73,1	5,4	0,62	0,83	151,49	12,49
0,6	130	-33,26	0,44	5,90	0,08	75,0	5,0	0,75	0,91	121,04	12,25
0,7	130	-31,63	0,43	4,92	0,07	73,4	5,1	0,61	0,81	142,47	15,18

Tabla 21. Parámetros de ajuste del modelo electivo logístico (a, b), tallas de primera captura (L50), rango selectivo (RS), errores estándar asociados (EE), criterio de Akaike (AIC) y devianza del modelo (MDEV), para una luz de malla (TM) de 140 mm y distintas aberturas (AB).

AB	TM	a	b	EE a	EE b	L50	RS	EE L50	EE RS	AIC	MDEV
0,3	140	-33,35	0,56	3,94	0,07	59,7	3,9	0,39	0,46	145,75	12,57
0,4	140	-33,33	0,45	5,22	0,07	73,3	4,8	0,58	0,78	136,24	8,34
0,5	140	-32,40	0,41	9,76	0,13	79,4	5,4	2,06	1,74	84,48	7,63
0,6	140	-29,74	0,37	10,83	0,15	81,4	6,0	3,36	2,41	74,92	5,92
0,7	140	-32,59	0,41	9,48	0,13	79,2	5,3	1,92	1,66	88,52	8,60

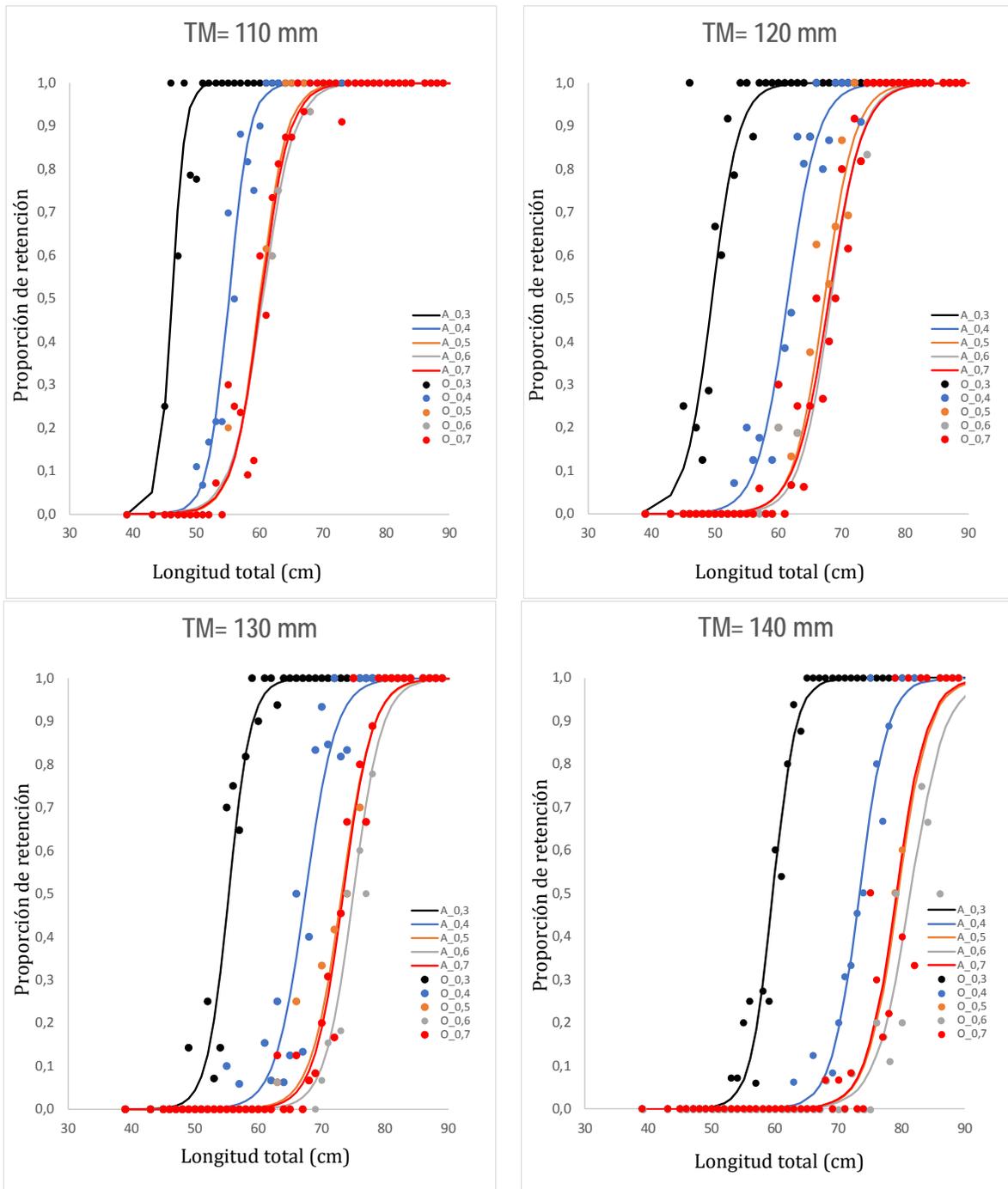


Figura 10. Proporción retenida y curvas de selectividad en experiencias de selectividad teórica por tamaño de luz de malla (110-140 mm) y abertura de malla (u), por rango de talla (longitud total, en cm). A: ajustes. O: proporción observada.

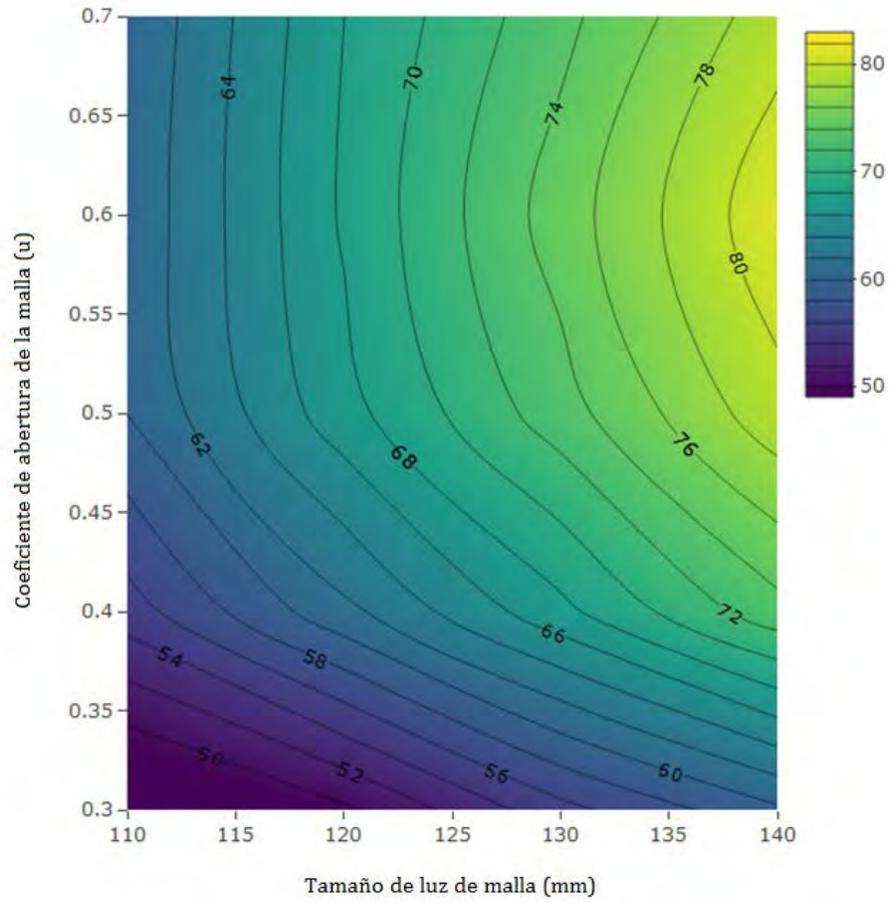


Figura 11. Estimaciones de tallas de primera captura (L50) según tamaño de luz de malla (mm) y coeficientes de abertura de las mallas (u).

5.2.2 Experiencias de selectividad

5.2.2.1 PAM Bonn

A bordo del PAM Bonn se realizaron 13 lances totales para evaluar la selectividad de las red de arrastre de mediagua Halcones, de los cuales en 3 lances se constató rotura del cubrecopo por lo cual no fueron considerados para los análisis respectivos (Fig. 12). Así, se utilizaron 10 lances con cubrecopo para el análisis de selectividad. El copo está constituido por paños de red con malla romboidal de hilo doble de 5,7 mm de diámetro, 154 mm de tamaño de malla y 120,3 mm de luz de malla.



Figura 12. Fotografía de cubierta durante un lance usando el método de copo cubierto para la estimación de selectividad a bordo del PAM Bonn.

En los lances considerados para el análisis, la captura del copo fluctuó entre 912 y 11.526 kg, con una talla promedio retenida que fluctuó entre 55,0 y 72,7 cm LT (Tabla 22). Por su parte, en el cubrecopo la retención fluctuó entre 253 y 7.480 kg, con una talla promedio retenida entre 48,2 y 63,9 cm LT (Tabla 22). Se determinó que el escape fluctuó entre 9,1 y 45,2% de la captura total, el cual estuvo compuesto principalmente por los ejemplares de menor tamaño. En ambos casos (copo y cubrecopo) se aprecia en la composición de tamaños una distribución bimodal, donde en el cubrecopo tiene mayor aporte la retención de peces entre 40 y 55 cm LT respecto del copo, lo que se asocia al proceso de escape (Fig. 13). A medida que el tamaño de los peces aumenta, la proporción relativa de

escape se reduce, demostrando que el proceso de escape ocurre en un amplio rango de tamaños (Fig. 13).

Ahora bien, a partir de la submuestra de tamaños de cada origen (copo y cubrecopo), y se ajustaron los parámetros a y b de la ojiva de selectividad por lance. Incorporando las proporciones de captura en el copo y cubrecopo, se corrigió el parámetro a (a^*), lo que determinó ojivas de selectividad corregidas, a partir de lo cual se estimaron tallas de primera captura que fluctúan entre 45,6 y 68,8 cm LT (Tabla 23; Fig. 14). Los parámetros generales estimados mediante el método de Fryer (1991) correspondieron a $a^*=-9,849$ y $b= 0,189$, siendo el valor de $L50=52,1$ cm LT, con un rango de selección $RS=11,63$ cm LT. El factor de selectividad (FS) que se obtiene luego del ajuste varió entre 0,38 y 0,57, con un valor general estimado de 0,43 (Tabla 23).

Tabla 22. Captura, talla promedio y proporción de muestreo en el copo y cubrecopo en los lances para la estimación de selectividad a bordo del PAM Bonn.

Lance	Captura (kg)		% de escape	Talla promedio (cm)		Tamaño muestra		Proporción de muestreo		
	Copo	Cubrecopo		Copo	Cubrecopo	Copo	Cubrecopo	Copo $p1$	Cubrecopo $p2$	$q=p1/p2$
1	912	253	21,7	55,1	49,6	195	198	0,008	0,022	0,36
2	1.250	596	32,3	60,5	54,3	193	199	0,007	0,012	0,62
3	958	360	27,3	56,4	48,2	191	171	0,008	0,013	0,63
4	6.800	1.575	18,8	63,8	56,4	209	223	0,002	0,006	0,30
5	11.526	4.012	25,8	63,6	56,4	226	284	0,001	0,003	0,38
6	3.332	476	12,5	66,2	60,7	206	202	0,004	0,021	0,18
7	3.668	365	9,1	61,8	55,7	215	217	0,003	0,023	0,13
8	9.828	1.136	10,4	55,0	48,6	224	241	0,001	0,006	0,15
9	9.520	1.020	9,7	67,4	59,6	205	255	0,001	0,012	0,12
10	9.078	7.480	45,2	72,7	63,9	149	228	0,001	0,002	0,76

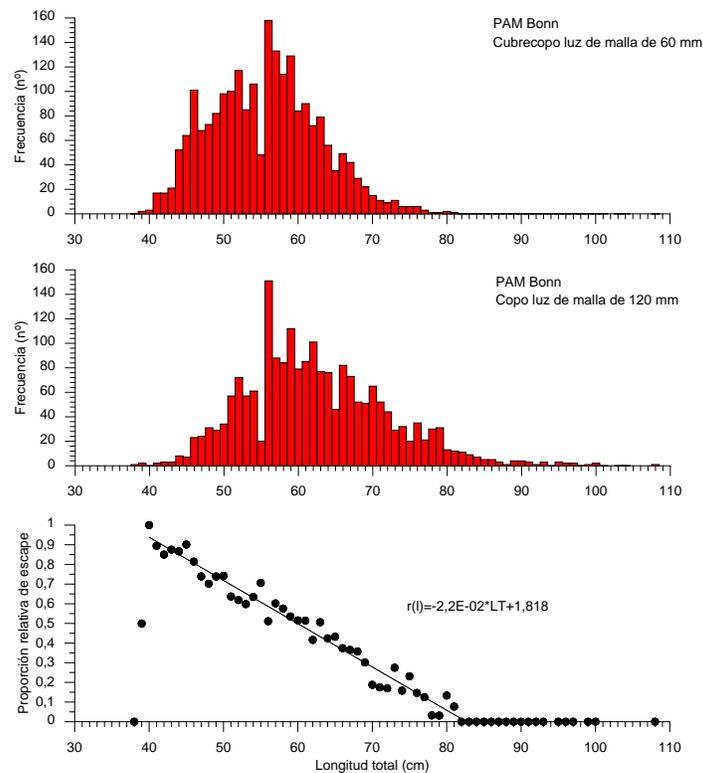


Figura 13. Estructura de tamaños de los peces retenidos en lances con cubrecopo a bordo del PAM Bonn. Arriba, retención en el cubrecopo de 60 mm de luz de malla. Al centro, en el copo de 120 mm de luz de malla. Abajo, proporción relativa de peces en cubrecopo respecto al total de peces retenidos en ambos copos.

Tabla 23. Selectividad de tallas de red Halcones de 120,3 mm de luz de malla. Parámetros a^* y b estimados de la curva logística, L50, rango de selección (RS) y factor de selección (FS) calculados a partir de los parámetros. EE: error estándar.

Lance	a^*	EE a^*	b	EE b	L50	RS	FS
1	-8,55	1,22	0,18	1,8E-02	47,5	12,21	0,39
2	-12,27	1,53	0,22	2,1E-02	55,8	9,99	0,46
3	-8,38	1,16	0,18	2,0E-02	46,6	12,21	0,39
4	-7,06	1,07	0,14	1,4E-02	50,4	15,69	0,42
5	-6,37	0,87	0,12	1,1E-02	53,1	18,31	0,44
6	-7,17	1,23	0,14	1,3E-02	51,2	15,69	0,43
7	-10,78	1,42	0,21	1,8E-02	51,3	10,46	0,43
8	-12,78	1,42	0,28	2,1E-02	45,6	7,85	0,38
9	-13,46	1,50	0,24	2,1E-02	56,1	9,16	0,47
10	-12,39	1,43	0,18	1,7E-02	68,8	12,21	0,57
General	-9,849		0,189		52,1	11,63	0,43

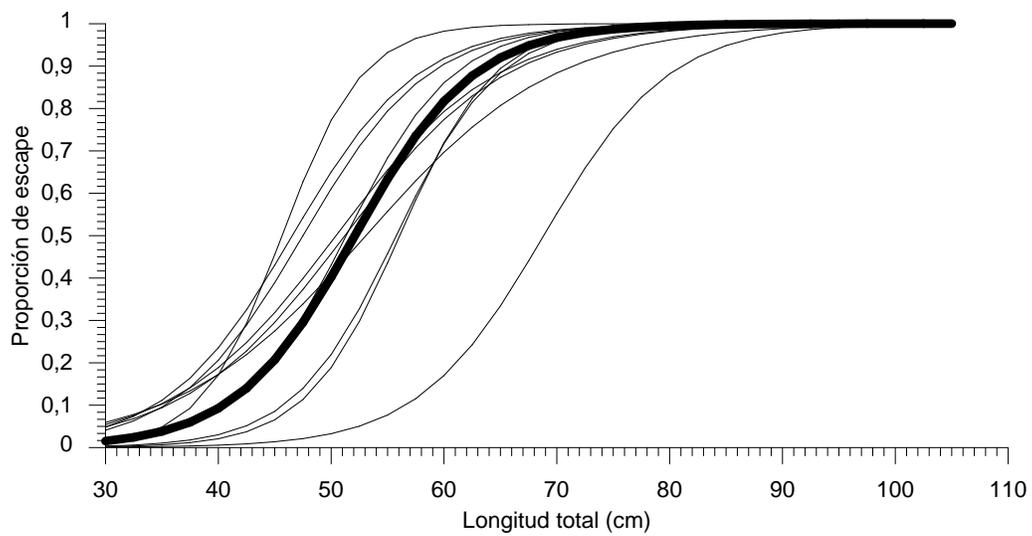


Figura 14. Curvas de selectividad ajustadas en lances con cubrecopo realizados a bordo del PAM Bonn. La curva con línea gruesa representa la curva media estimada según método de Fryer.

5.2.2.2 PAM Friosur X

A bordo del PAM Friosur X se realizaron 7 lances totales para evaluar la selectividad de las red de arrastre de mediagua Gloria 1408 usando el método de arrastre pantalón o *trouser trawl* (Fig. 15). Todos los lances realizados fueron utilizados en el análisis de selectividad. La sección de copo experimental está constituido a su vez por dos copos o piernas de distintas características; a babor se utilizó la configuración tradicionalmente usada que corresponde a paño de red trenzado sin nudo de 130 mm de luz de malla, mientras que el copo de estribor correspondió a un paño trenzado sin nudo de 100 mm de luz de malla.

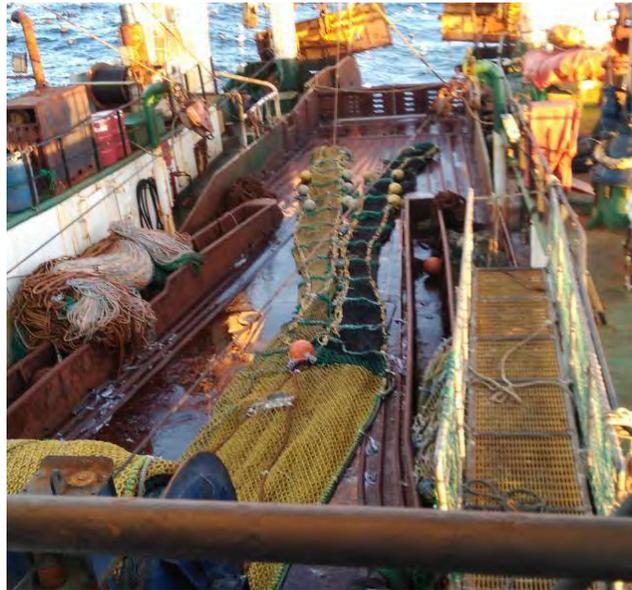


Figura 15. Copo experimental del tipo pantalón construido con una pierna de 100 mm de luz de malla (derecha) y 130 mm de luz de malla (izquierda).

En los lances considerados para el análisis, la captura del copo tradicional de 130 mm fluctuó entre 150 y 3.500 kg, con una talla promedio retenida que fluctuó entre 46,9 y 84,5 cm LT (Tabla 24). Por su parte, en el copo de 100 mm la retención fluctuó entre 60 y 2.700 kg, con una talla promedio retenida entre 47,0 y 84,8 cm LT (Tabla 24). En ambos copos se observó un amplio rango de tamaños (30 a 110 cm LT) y una distribución multimodal (Fig. 16). En el copo de 100 mm se registró mayor aporte relativo de peces entre 30 y ~57 cm LT respecto del copo de 130 mm, lo que se asocia al proceso de escape (Fig. 16). A medida que el tamaño de los peces aumenta, la proporción relativa de escape se reduce, demostrando que el proceso de escape es mayor en el copo de 130 mm hasta un tamaño de 60 cm LT. Para peces mayores a 60 cm LT, no se aprecia una diferencia en la proporción de retención a la talla, siendo evidencia de la disminución de la selectividad en ejemplares de mayor tamaño (Fig. 16).

Ahora bien, a partir de la submuestra de tamaños de cada copo, se ajustaron los parámetros a y b de la ojiva de selectividad por lance. Incorporando las proporciones de muestreo correspondientes, se corrigió el parámetro a (a^*), lo que determinó ojivas de selectividad corregidas, a partir de lo cual se estimaron tallas de primera captura que fluctuaron entre 44,0 y 64,3 cm LT (Tabla 25; Fig. 17). Los parámetros generales estimados mediante el método de Fryer (1991) correspondieron a $a^*=-13,584$ y $b= 0,272$, siendo el valor de $L50=49,96$ cm LT, con un rango de selección $RS=8,08$ cm LT. El factor de selectividad (FS) que se obtiene luego del ajuste varió entre 0,34 y 0,49, con un valor general estimado de 0,38 (Tabla 25).

Mediante filmaciones submarinas se observó que el comportamiento del copo construido para evaluar la selectividad presentó problemas de funcionamiento que llevan a considerar los resultados obtenidos de manera cautelosa. Eso se refleja en inconsistencias en algunos lances respecto a la captura retenida en cada pierna del copo pantalón. Además, durante los lances de evaluación hubo diferencias considerables en la composición de los peces vulnerados, con talla promedio que fluctuaron entre 47 y 85 cm LT, lo que sin duda dificulta la capacidad de ajuste tanto en tallas mayores y menores, respectivamente. En base a lo anterior, se consideró que el uso de los resultados de la selectividad teórica puede explicar en mejor medida la selectividad de las redes usadas en la pesquería demersal-austral.

Tabla 24. Captura, talla promedio y proporción de muestreo en ambas piernas del copo experimental usado para la estimación de selectividad a bordo del PAM Friosur X.

Lance	Captura (kg)		Talla promedio (cm)		Tamaño muestra (n°)		Proporción de muestreo		
	Copo 100 mm	Copo 130 mm	Copo 100 mm	Copo 130 mm	Copo 100 mm	Copo 130 mm	Copo 100 $p1$	Copo 130 $p2$	$q=p1/p2$
1	800	850	84,5	81,6	298	349	0,040	0,041	0,99
2	650	120	80,8	84,8	237	58	0,037	0,056	0,67
3	180	60	60,5	64,5	167	118	0,045	0,112	0,40
4	210	120	57,8	66,0	319	124	0,065	0,062	1,04
5	3.500	410	46,9	47,0	410	152	0,003	0,015	0,19
6	150	90	60,9	59,2	311	155	0,102	0,078	1,30
7	3.000	2.700	66,9	68,0	471	428	0,010	0,010	0,95

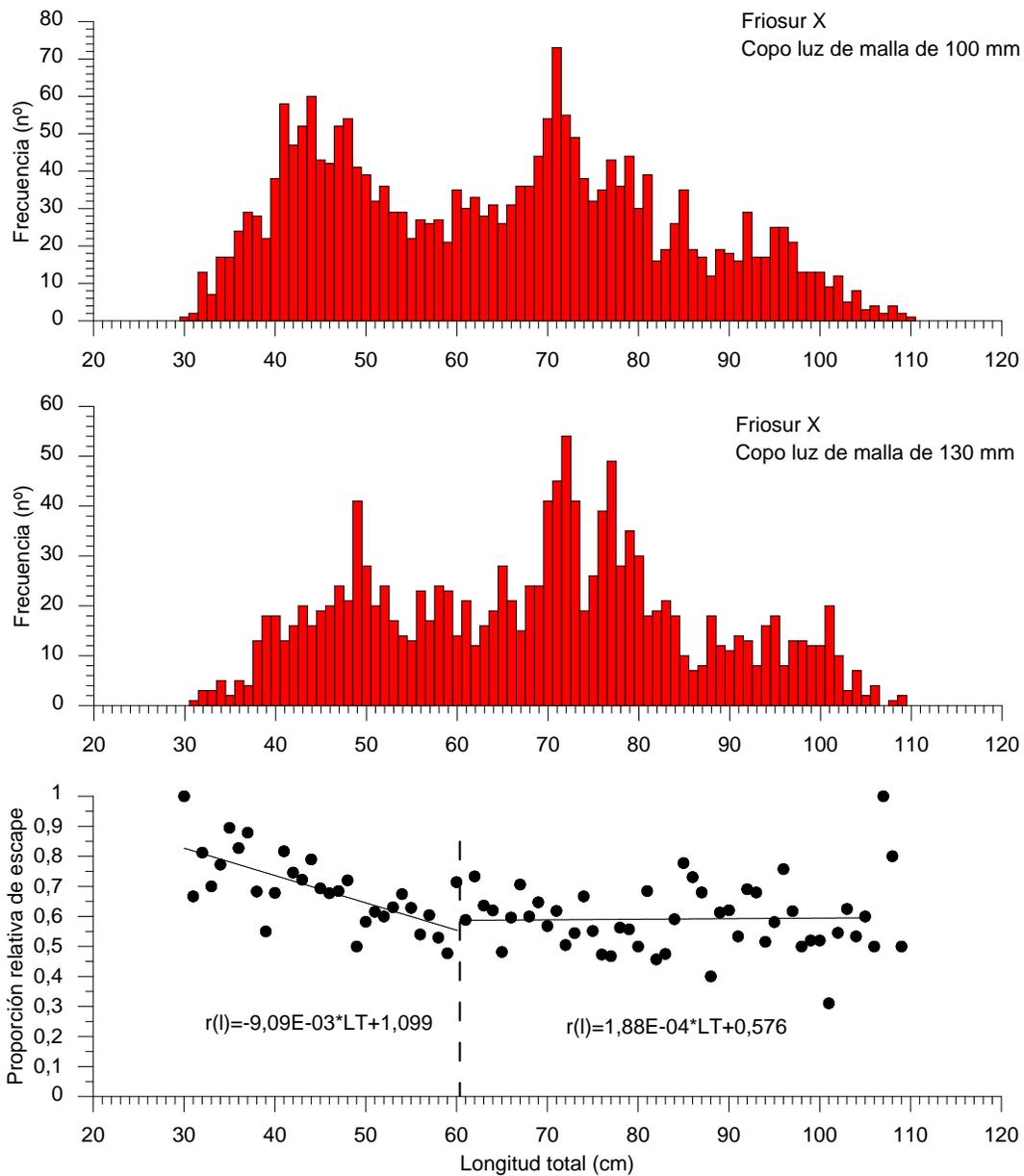


Figura 16. Estructura de tamaños de los peces retenidos en ambas piernas del copo experimental usado a bordo del PAM Friosur X. Arriba, retención en el copo de 100 mm de luz de malla. Al centro, en el copo de 130 mm de luz de malla. Abajo, proporción relativa de peces en copo de 100 mm respecto al total de peces retenidos en ambos copos.

Tabla 25. Selectividad de tallas de red Gloria 1408 de 130 mm de luz de malla. Parámetros a^* y b estimados de la curva logística, L50, rango de selección (RS) y factor de selección (FS) calculados a partir de los parámetros. EE: error estándar.

Lance	a^*	EE a^*	b	EE b	L50	RS	FS
1	-14,69	0,31	0,25	3,6E-03	58,0	8,68	0,45
2	-14,93	0,51	0,23	5,8E-03	64,3	9,46	0,49
3	-11,08	0,39	0,25	5,6E-03	44,5	8,83	0,34
4	-11,17	0,43	0,19	5,7E-03	59,7	11,75	0,46
5	-11,33	0,47	0,26	8,9E-03	44,0	8,52	0,34
6	-10,33	0,28	0,22	4,3E-03	47,0	10,01	0,36
7	-14,95	0,22	0,30	3,2E-03	49,8	7,32	0,38
General	-13,584		0,272		49,96	8,08	0,38
Teórica	-29,998		0,522		57,45	4,21	0,44

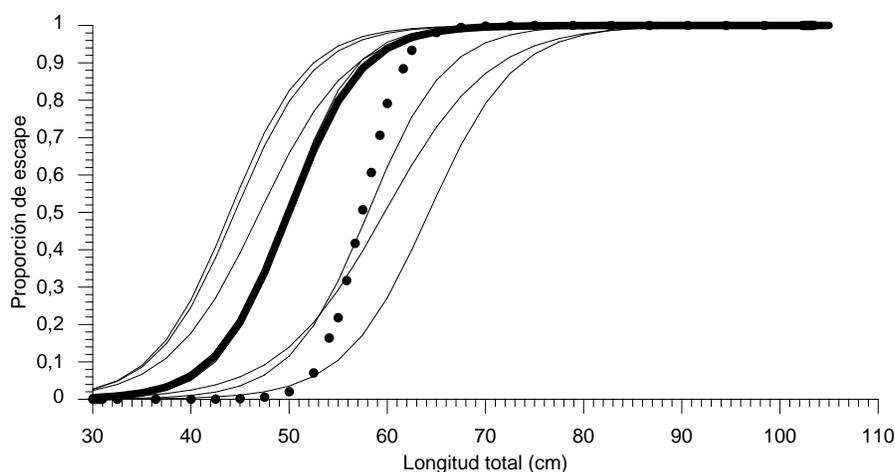


Figura 17. Curvas de selectividad ajustadas en lances con cubrecopo realizados a bordo del PAM Friosur X. La curva con línea gruesa representa la curva media estimada según método de Fryer. La línea segmentada corresponde a la selectividad teórica que posteriormente fue usada en los análisis del objetivo 3.

5.2.3 Proporciones de retención respecto a tallas de referencia

Se identificaron tres tallas de referencia contra las cuales es posible contrastar las estructuras de tamaños de merluza de cola retenidas en los lances de pesca. Estas tallas de referencia corresponden a:

- Tallas de referencia de tipo productivo, que varían según la empresa. Se identificaron dos tamaños objetivo, una directamente en talla que corresponde a 50 cm LT) y otra en peso que corresponde a 500 gramos (equivalente aproximadamente a 55 cm LT).
- Tallas de referencia biológica, asociada a la talla media de primera madurez sexual, correspondería a 54 cm LT.
- Talla de referencia de la estructura demográfica, la cual se relaciona en este caso con la participación relativa de ejemplares de tamaño mayor a 75 cm y que también se reconocen como megadesovantes.

Con fines prácticos, los resultados se expresan en relación a la proporción de ejemplares bajo las tallas de referencia 50, 54 y 75 cm LT. En este caso el valor de referencia de 55 cm LT no se analizó por su proximidad al valor de referencia de madurez de 54 cm LT.

En la zona centro-sur, las redes Halcones (en nave Bonn) y Atlántica (en naves Bonn y Polaris II) emplearon luz de malla de 120 mm en el copo, con las cuales obtuvieron tallas promedio de captura de merluza de cola por lance entre 48,2 y 76,9 cm LT en el caso de la primera, y entre 53,6 y 66,2 cm LT para la segunda, con un valor promedio global de 63,6 y 58,1 cm LT, respectivamente (Tabla 26). La proporción de ejemplares bajo 50 cm LT fue del 8,9% (0 – 61,6%) para la red Halcones, misma proporción que lo determinado para la red Atlántica ($X=8,9\%$; rango entre 0,5 y 23,7%). Respecto a la talla de referencia de 54 cm LT, el 17,6% (0 – 88,4%) de los ejemplares capturados por la red Halcones estuvo bajo esta longitud, mientras que para la red Atlántica correspondió al 27,8% (2,4 – 51,2%). Por último, en cuanto a la talla de referencia de 75 cm LT, ambas redes capturaron altas proporciones de ejemplares bajo esta longitud, correspondiendo al 84,3 y 96,4% (93,6% en PAM Bonn y 99,2% en PAM Polaris II), respectivamente (Tabla 26; Fig. 18).

En la zona sur-austral, las redes Gloria 1408 usadas por las naves Friosur VIII y Friosur X, obtuvieron peces con talla media de captura por lance entre 56,3 y 80,2 cm LT, mientras que la red FT 2044 tuvo una talla media entre 39,1 y 76,0 cm LT (Tabla 26; Fig. 18). En cuanto a la proporción bajo talla de referencia de 50 cm, para el caso de redes Gloria 1408 esta proporción fluctuó entre 0 y 45,1% con un valor medio de 18,3% para la nave Friosur VIII y 7,5% para la nave Friosur X. Para la red FT 2044 de la nave Unzen, el valor medio fue de 53,8% de los peces retenidos bajo 50 cm LT

(Tabla 26; Fig. 18). Respecto a la talla de referencia de 54 cm LT, el 22,6% (2,8 – 52,7%) de los ejemplares capturados por la red Gloria 1408 estuvo bajo esta longitud, mientras que para la red FT 2044 correspondió al 67,7% (9,2 – 100%). Por último, en cuanto a la talla de referencia de 75 cm LT, la red Gloria 1408 capturó en promedio 68,2% de ejemplares bajo dicha talla (variable entre 34,7-95,5%), mientras que con la red FT 2044 el promedio fue de 92,6% (variable entre 42,8 y 100% (Tabla 26; Fig. 18).

En cuanto a los resultados obtenidos, estos deben ser considerados con precaución respecto a su contexto, ya que por ejemplo los registros en la nave Unzen corresponden en su gran mayoría a lances dirigidos a merluza del sur y cojinoba, siendo merluza de cola fauna acompañante y no especie principal. También se reconoce un efecto estacional sobre la composición de tamaños, ya que lances realizados en la zona sur-austral en los meses próximos al período reproductivo tienen asociado un tamaño de merluza de cola bastante mayor, como fue el caso de la nave Friosur X. Por lo tanto, más que un efecto de la red en sí misma, se reconoce que el período dentro del año juega un rol relevante sobre la composición de tamaños en las capturas.

Tabla 26. Longitud promedio de merluza de cola y proporciones bajo tallas de referencia (50, 54 y 75 cm LT) por zona, nave y red. Entre paréntesis se presenta la desviación estándar.

Zona/Nave	Red	Lances (n)	Muestra (n)	Talla media (cm LT)	Porcentaje (%) bajo tallas de referencia		
					50 cm LT	54 cm LT	75 cm LT
Zona centro-sur							
Bonn	Halcones	25	4.563	63,58	8,9 (14,8)	17,6 (22,0)	84,3 (17,0)
Bonn	Atlántica	3	646	61,04	4,9 (7,7)	16,5 (20,9)	93,6 (9,6)
Polaris II	Atlántica	3	573	55,11	12,9 (10,2)	39,1 (11,5)	99,2 (0,9)
Zona sur-austral							
Friosur VIII	Gloria	10	2.110	60,68	18,3 (12,2)	32,7 (14,0)	85,1 (8,7)
Friosur X	Gloria	8	2.340	75,08	7,5 (2,9)	9,9 (3,4)	47,2 (9,8)
Unzen	FT-2044	41	8.071	51,23	53,8 (30,6)	67,7 (26,3)	92,6 (13,0)

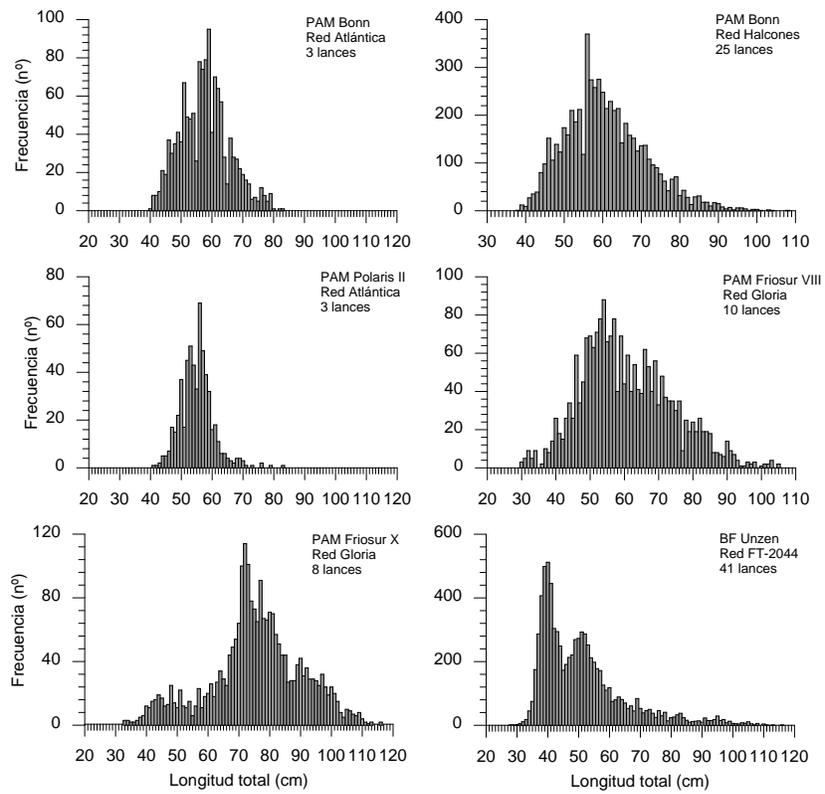


Figura 18. Distribución de frecuencia de tamaños de merluza de cola obtenidos por nave y red durante lances de pesca comercial registrados durante el estudio.

5.2.4 Comportamiento de merluza de cola

Para estudiar el comportamiento de merluza de cola al interior de las redes de arrastre usadas en la pesquería, se llevaron a cabo filmaciones submarinas a bordo de las naves Friosur VIII, Polaris II, Bonn, Unzen y Friosur X. El detalle del material registrado a la fecha se resume en la Tabla 27. Por armador, el avance es el siguiente:

a) Friosur: se realizaron filmaciones submarinas a bordo del PAM Friosur VIII en noviembre de 2017 y a bordo del PAM Friosur X en septiembre de 2018, ambos usando redes Gloria 1408. En el primer caso, se obtuvieron registros útiles en 6 lances que totalizaron 76 minutos de grabación. La cámara de filmación fue ubicada en 3 secciones distintas, correspondientes al copo, antecopo y pre-antecopo (Fig. 13). En el caso de la nave Friosur X, las filmaciones fueron realizadas para observar el desempeño del copo experimental construido para evaluar la selectividad de tamaños (Fig. 14), registrándose 65 minutos de grabación en 6 lances de pesca.

b) PacificBlu: se realizaron filmaciones submarinas a bordo del PAM Polaris II (red Tornado) en diciembre de 2017 y en el PAM Bonn (red Halcones) en marzo de 2018. Se dispone de filmaciones válidas con fines de análisis, ya sea en el antecopo y copo. En total se dispone de 58 minutos de filmaciones. En las figuras 15 y 16 se presentan algunas imágenes obtenidas durante las grabaciones en cada lance, en las naves Polaris II y Bonn, respectivamente.

c) Emdepes: se realizaron filmaciones submarinas a bordo del BF Unzen (red FT-2044) entre marzo y mayo de 2018. En total, se dispone de aproximadamente 600 minutos de grabación provenientes de 16 lances de pesca (Figura 17).

Tabla 27. Resumen de filmaciones submarinas disponibles a la fecha para analizar comportamiento de merluza de cola al interior de redes de arrastre.

Embarcación	Fecha	Lance(s)	Especies identificadas	Posición	Duración (minutos)
Friosur VIII	22.11.2017 al 27.11.2017	6	Merluza de cola, reineta, congrio dorado, merluza de cola, merluza austral, calamar	Copo, antecopo y pre-antecopo	76
Friosur X	05.09.2018 al 30.09.2018	6	Merluza de cola, merluza austral, congrio dorado, cojinoba	Copo experimental	65
Polaris II	08.12.2017	5	Merluza de cola, lobo, jibia, medusa	Antecopo	5
Bonn	03.03.2018 al 12.03.2018	3	Merluza de cola, reineta, merluza común, jibia, lobo, merluza austral	Copo y antecopo	54
Unzen	27.03.2018 al 07.05.2018	16	Merluza de cola, cojinoba, reineta, calamar, merluza austral, jibia, congrio dorado	Copo y antecopo	600

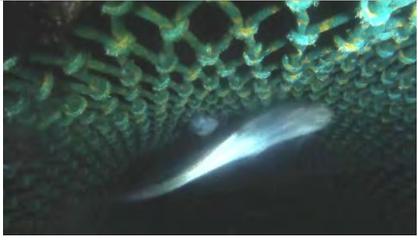
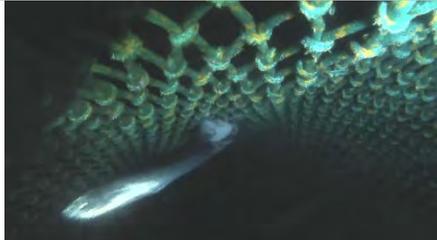
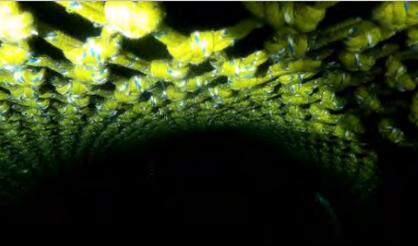
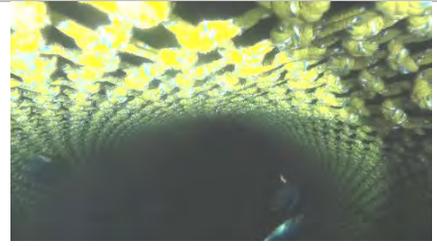
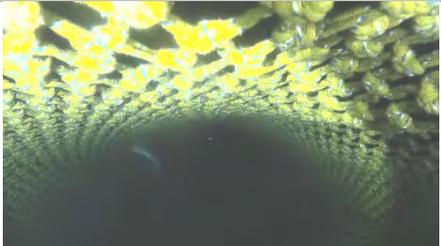
Nave	Lance	Imagen 1	Imagen 2	Imagen 3
Friosur VIII	11			
Friosur VIII	18			
Friosur VIII	25			

Figura 13. Fotogramas con presencia de merluza de cola obtenidos en filmaciones submarinas realizadas en los lances 11, 18 y 25 a bordo de la nave Friosur VIII.

Nave	Lance	Imagen 1	Imagen 2	Imagen 3
Friosur X	1			
Friosur X	2			
Friosur X	6			

Figura 14. Fotogramas con presencia de merluza de cola obtenidos en filmaciones submarinas realizadas en los lances 1, 2 y 6 a bordo de la nave Friosur X.

Nave	Lance	Imagen 1	Imagen 2	Imagen 3
Polaris II	5			

Figura 15. Fotogramas con presencia de merluza de cola obtenidos en una filmación submarina realizada en el lance 5 a bordo de la nave Polaris II.

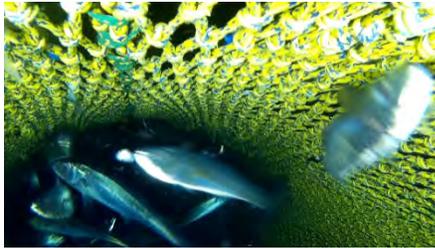
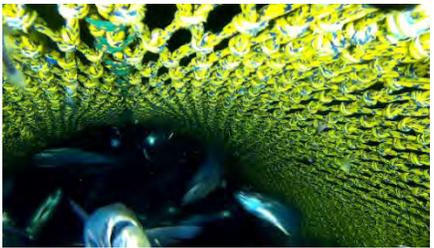
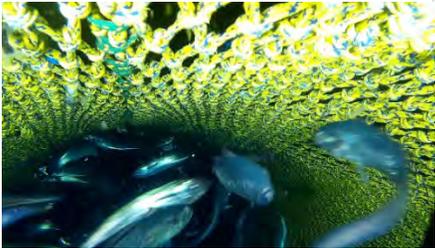
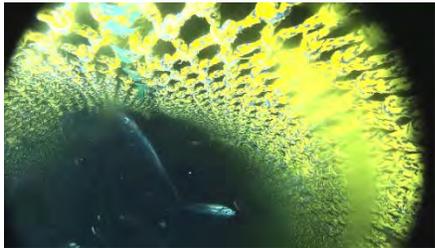
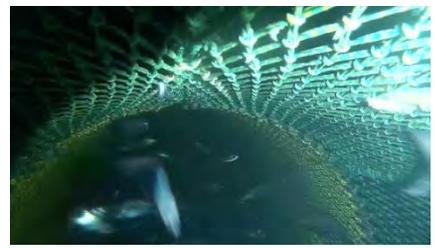
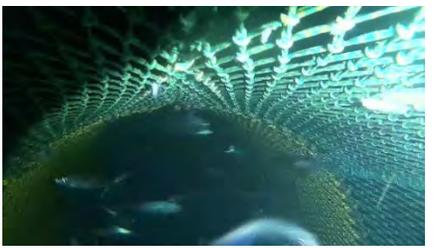
Nave	Lance	Imagen 1	Imagen 2	Imagen 3
Bonn	3 (Marea 1)			
Bonn	1 (Marea 3)			
Bonn	4 (Marea 3)			

Figura 16. Fotogramas con presencia de merluza de cola obtenidos en filmaciones submarinas realizadas en los lances 3 (marea 1), 1 (marea 3) y 4 (marea 3) a bordo de la nave Bonn.

Nave	Imagen 1	Imagen 2	Imagen 3
Unzen			
Unzen			
Unzen			

Figura 17. Fotogramas con presencia de merluza de cola obtenidos en filmaciones submarinas realizadas a bordo de la nave Unzen.

Se analizó una muestra de los peces registrados en las filmaciones submarinas, procurando representar adecuadamente el comportamiento de ejemplares de merluza de cola de distintas naves y secciones de la red. Ahora bien, en primer término se realizó una caracterización general del comportamiento observado en cada nave. En la nave Friosur VIII, los peces tienden a observarse inicialmente en la posición superior (SUP), con orientación de natación hacia los costados (lateral; LT) (Fig. 18). Mayormente no se aprecia cambio de posición y ni de orientación, y es más frecuente los tipos de natación normal (NO) y frenético (FR). En cuanto a los intentos de escape (medido a partir de los choques en los paños de red), cerca del 60% de los peces mostró uno o más intentos de escape. En Polaris II, la posición y orientación inicial fue principalmente inferior y lateral, respectivamente. La gran mayoría de los peces no mostraron cambio de posición, y sin preferencia clara de cambiar o no su orientación de nado. La natación fue sobre todo normal y en segundo lugar del tipo frenético, con más del 50% sin presentar intentos de escape. En Bonn, el patrón observado fue similar al de Polaris II, con baja actividad en general. Por último, en el caso de las grabaciones en la red del BF Unzen, la posición inicial principal fue inferior, sin cambio de posición, orientación inicial de natación lateral, con cambio de orientación, con natación principalmente normal, y sin choques o intentos de escape (Fig. 18).

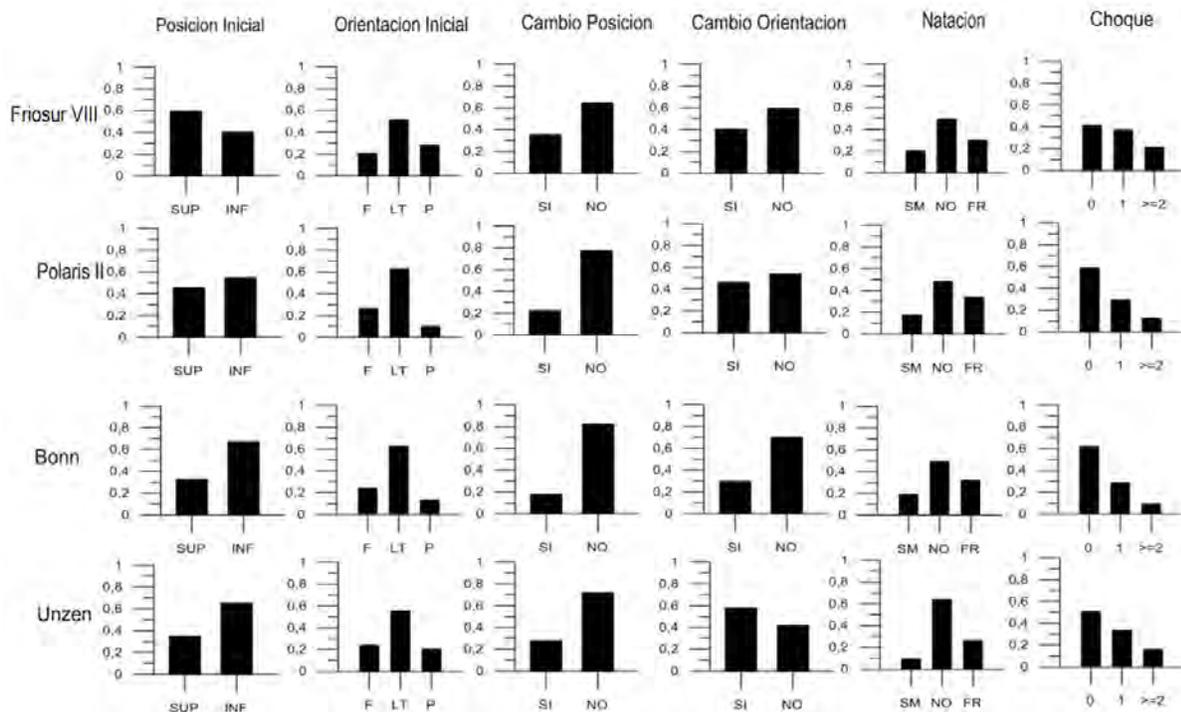


Figura 18. Posición inicial (SUP = Superior; INF = Inferior), orientación inicial (F = Frontal; LT = Lateral; P = Posterior), cambio de posición y orientación, tipo de natación (SM = Sin movimiento; NO = Normal; FR = Frenético), cantidad de choques de peces registrados a bordo de las naves Friosur VIII (n = 121), Polaris II (n = 97), Bonn (n = 174) y Unzen (n = 443).

Luego, se realizó un análisis desagregado de los registros disponibles en la nave Friosur VIII, dado que se dispone de filmaciones en todas las secciones posteriores, evaluando la existencia de diferencias de comportamiento entre secciones mediante la prueba de Kruskal-Wallis. En términos generales, se determinó que no existen diferencias significativas en el patrón de comportamiento de los peces, sin observarse en los peces diferencias en cuanto a cambio de orientación, tipo de natación ni intentos de escape (Tabla 28).

También se comparó el comportamiento de ejemplares de merluza de cola registrados en la sección del antecopo de las redes de las naves Friosur VIII, Polaris II, Bonn y Unzen. En este caso solo se determinaron diferencias significativas en cuanto al cambio de orientación de los peces, sin embargo, se reconoce que el patrón de comportamiento general de los peces en el antecopo en diferentes naves es similar (Tabla 28). Por último, al comparar el comportamiento de peces en el copo de las naves Friosur VIII y Unzen, se identificaron diferencias significativas en cuanto a cambio de orientación e intentos de escape, mientras que no se detectan diferencias en términos de cambio de posición ni en el tipo de natación (Tabla 28).

Tabla 28. Valor-*p* asociado al análisis de Kruskal-Wallis de las variables posición inicial, cambio de posición, orientación inicial, cambio de orientación, tipo de natación e intentos de escape en diferentes secciones de una misma red o entre redes de distintas naves. C: copo; AC: antecopo; AAC: ante-antecopo (*diferencias significativas; valor-*p*<0,05).

Base de análisis→	Friosur VIII	Antecopo	Copo
Variable→	AAC-AC-C	Friosur VIII-Polaris II-Bonn-Unzen	Friosur VIII-Unzen
Tamaño de muestra→	13-27-81	27-97-174-89	81-354
Característica observada			
Cambio posición	0,04*	0,72	0,06
Cambio orientación	0,07	<0,01*	0,04*
Tipo de natación	0,46	0,07	0,93
Intentos de escape	0,11	0,05	<0,01*

Con el objetivo de identificar las relaciones entre los distintos comportamientos y los factores que pueden influir en dicha respuesta, tales como nave, sección de la red, densidad de individuos dentro de la red y grado de abertura de la malla en las secciones de las distintas redes, se realizaron dieciséis análisis de correspondencia múltiple, seleccionándose aquel con mayor valor de inercia en las primeras dos dimensiones. Se determinó que el mejor resultado (inercia de 46,22; Tabla 29) se obtiene en el análisis que considera datos de comportamiento de peces registrados en el copo y

antecopo, excluyendo datos del ante-antecopo. En este caso, la nave no aportó a mejorar la correspondencia entre los factores analizados.

Tabla 29. Análisis de correlaciones realizadas para identificar y explicar los distintos comportamientos de los peces en las redes utilizadas por las cuatro naves estudiadas. * Sin datos del ante-antecopo; ** Con datos del ante-antecopo, *** Solo datos del antecopo.

Análisis	Nave	Pos. Camera	Pos. Inicial	Cambio posición	Orientación inicial	Cambio orientación	Natación	Choque con los paños	Carácter. de las malla	Grupo	Densidad	Grupo/Densidad	Caract./Densidad	Dim.1 (%)	Dim. 2 (%)	Σ (%)
1*		x		x		x	x	x						27,23	18,99	46,22
2*				x		x	x	x	x					26,95	18,23	45,18
3*				x		x	x	x			x			26,84	17,82	44,66
4*		x		x		x	x	x	x		x			21,56	15,3	36,86
5*				x		x	x	x		x				21,44	15,13	36,57
6*	x	x		x		x	x	x						20,54	15,79	36,33
7**	x			x		x	x	x						21,30	14,75	36,05
8*				x		x	x	x					x	21,04	14,25	35,29
9**	x			x		x	x	x						20,78	14,2	34,98
10***	x			x		x	x	x						21,85	12,9	34,75
11**	x	x		x		x	x	x						19,22	14,74	33,96
12*				x		x	x	x		x	x			19,53	13,69	33,22
13**	x			x	x	x	x	x						18,38	11,03	29,41
14**	x		x	x	x	x	x	x						16,78	11,68	28,46
15*	x			x		x	x	x					x	14,18	12,21	26,39
16*				x		x	x	x				x		14,95	10,57	25,52

A partir del análisis de la figura 19, que corresponde al análisis de correspondencia que presentó la mayor inercia, fue posible identificar la conformación de tres grupos de datos, correspondientes a:

- Grupo 1: este grupo se caracteriza por peces que presentan natación normal, en la sección del copo, mostrando cambios de posición y de orientación durante el momento que fueron observados. Además, estos peces presentaron en general un choque con el paño de la red asociado a intento de escape.
- Grupo 2: este grupo está compuesto por peces observados en la sección del antecopo, que no presentan cambio de posición ni de orientación mientras fueron registrados desplazándose.

Si bien este grupo no se asocia directamente a ningún tipo de natación, se confirma que existe poca actividad debido a su mayor relación con nulos intentos de escape.

- Grupo 3: este grupo está compuesto por peces que tienen natación frenética y con dos o más intentos de escape, sin embargo, esto no se relaciona exclusivamente con una sección de la red en particular.

Una característica de comportamiento no tiene relación directa con ningún grupo, y se refiere al tipo de natación 1 (sin movimiento). Esto indica que, en general, la ocurrencia de peces sin movimiento es baja y no se asocia a ninguna sección de la red (copo o antecopo).

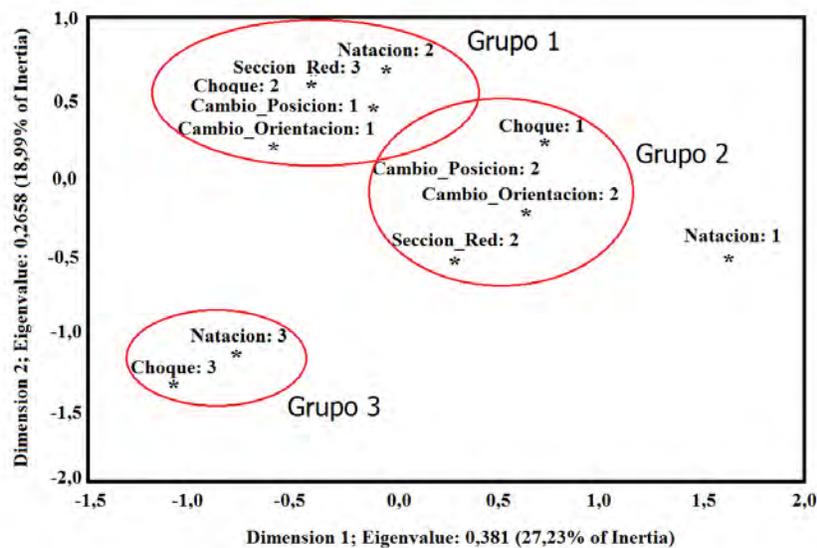


Figura 19. Análisis de correlación con datos de las naves Friosur VIII (sin datos de ante-antecopo), Polaris II, Bonn y Unzen, a partir de un tamaño de muestra de 822 peces. Las variables de posición y orientación inicial no fueron utilizadas. Con relación a las variables analizadas, estas corresponden a: Posición de la cámara (Sección_red: 2 = antecopo; 3 = Copo), cambio de posición y cambio de orientación (1 = Sí; 2 = No), tipo de natación (1 = sin movimiento; 2 = normal; 3 = frenético) y choques (1 = cero choques; 2 = un choque, 3 = dos o más choques).

5.2.4. Evidencias de daños asociados al proceso de escape

5.2.4.1. A partir de filmaciones submarinas

A bordo de las naves Bonn y Unzen también se realizaron filmaciones por el exterior de las redes. Un total de 4,5 horas de registros efectivos fueron analizadas (1 hora del PAM Bonn y 3 horas del BF Unzen). Las filmaciones realizadas en el PAM Bonn fueron en un copo con panel de escape de mallas cuadradas y fueron analizadas integralmente. En el caso del BF Unzen, se realizó un submuestreo de las filmaciones que se asocian a malla romboidal tradicional. Un total de 366 ejemplares de merluza de cola fueron analizadas, de las cuales 235 son provenientes de las filmaciones hechas en el PAM Bonn, y 131 en el BF Unzen. De los peces contabilizados en cada nave, 29 tuvieron éxito de escape asociado al uso de malla cuadrada y 2 asociados a malla romboidal (Fig. 20).

Los peces que tuvieron éxito en el escape fueron caracterizados según el daño físico observado conforme a la escala de nivel de daño que se presenta en tabla 30. Para cada pez, se registró también el tiempo de contacto entre el pez y la malla durante el proceso de escape. En el caso del PAM Bonn, del total de peces observados, el 14% no presentaron daño físico visible, 66% tuvieron daño grado 1 y 21% daño grado 2 (Fig. 20). En el caso del BF Unzen, los dos peces que escaparon presentaron daño de grado 1. Con relación al número de intentos de escape, principalmente se observó un solo intento por ejemplar, mientras que el tiempo de contacto con la red durante el proceso de escape fue mayoritariamente bajo, menor a 2 segundos de contacto (Fig. 20).

Tabla 30. Tabla de las descripciones de cada escala de daño sufrido por los peces que escaparon por entre las mallas de la red.

Nivel de daño	Descripción
0	Al escapar el pez, no presenta dificultades en escapar por entre las mallas, no generando pérdida de escamas.
1	Al escapar el pez presenta poca dificultad en pasar por entre las mallas, y/o tiene pérdida de escamas aisladas entre sí.
2	Al escapar el pez poseí gran dificultad en pasar por entre las mallas, generando pérdida de escamas juntas entre sí.

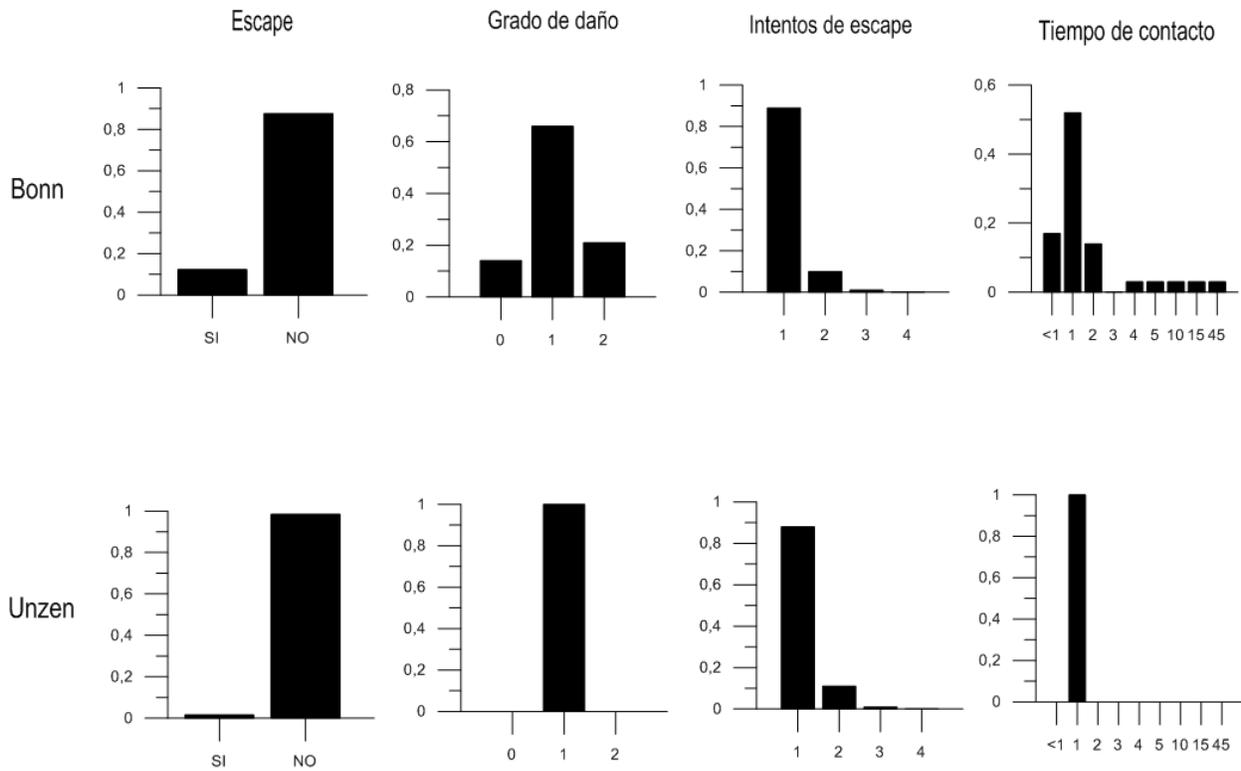


Figura 20. Caracterización del proceso de escape de merluza de cola en PAM Bonn y en BF Unzen. Se presenta la frecuencia relativa de éxito de escape (Si o No), nivel de daño observado, cantidad de intentos de escape y tiempo de contacto medido en segundos.

5.2.4.2. A partir de muestreos en peces que escapan

Se analizó el nivel de daño aparente sobre una muestra de 180 ejemplares de merluza de cola, en un lance de pesca de la nave Bonn. Dicho lance correspondió a uno de evaluación de selectividad usando el método de copo cubierto, por lo tanto se caracterizó el daño de una muestra de peces proveniente del copo y del cubrecopo. Globalmente, se observó el predominio de ejemplares con daño correspondiente al nivel 4 (35%), es decir, con presencia de descamación ventral, lesiones operculares, con daño en aletas o con daño alto en la cabeza (> 50% de la superficie), aunque sin daño ocular o con daño ocular leve (Fig. 21).

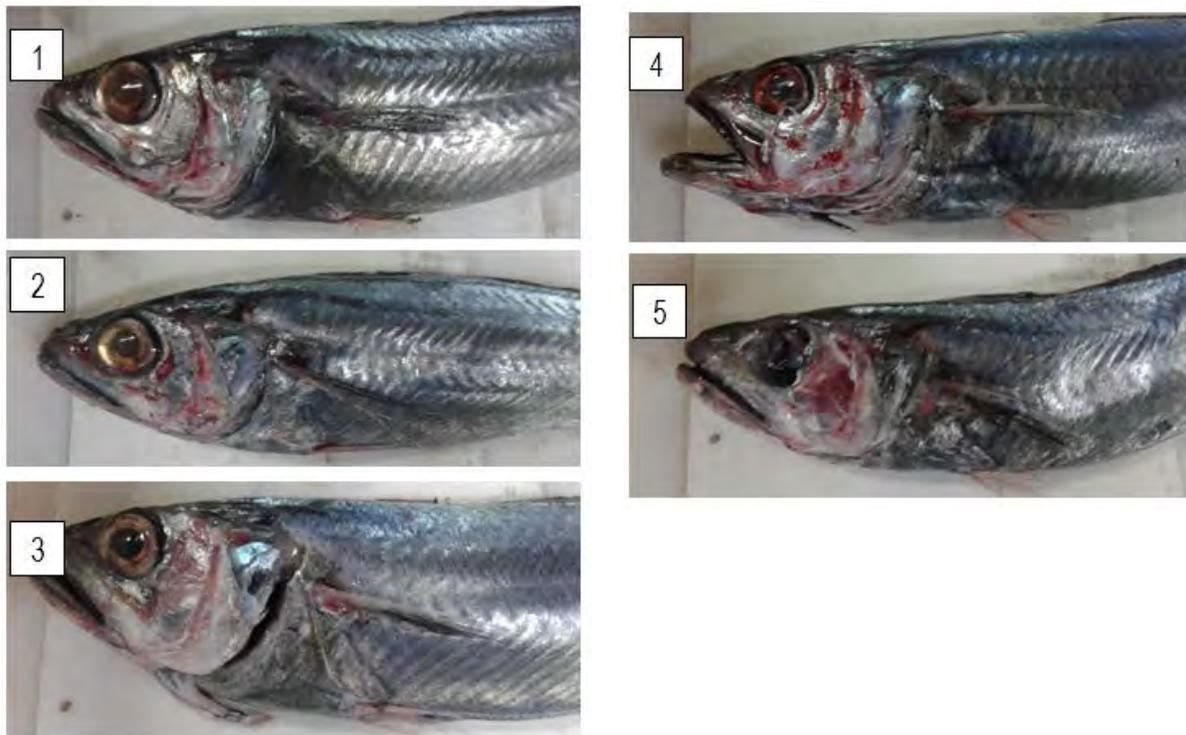


Figura 21. Ejemplares de merluza de cola y su nivel de daño aparente. 1: Sin lesiones corporales externas o sólo con lesiones leves en cabeza (< 25% de la superficie). 2: Sin lesiones corporales externas o muy leves en aletas y/o con daño medio cabeza (25% - 50% de la superficie). Sin daño ocular. 3: Con descamación o daño en aletas y con daño medio cabeza (25% - 50% de la superficie). Sin daño ocular o daño ocular leve. 4: Con descamación ventral, lesiones operculares, con daño en aletas o con daño alto en la cabeza (> 50% de la superficie). Con daño ocular leve o moderado. 5: Con daño generalizado en cabeza y/o con pérdida de músculo y/o con daño ocular moderado o severo.

Desagregando la información según el origen de los peces (por copo y cubrecopo), se observó que al 80% de los ejemplares provenientes del copo les fue asignado un nivel de daño 3 o superior, en tanto que al 97% de los ejemplares del cubrecopo al 97% se les asignó el mismo nivel de daño (Fig. 22). El daño promedio en el copo y cubrecopo fue 3,2 y 3,8 respectivamente (Fig. 23). Mediante la prueba de rangos de signos de Wilcoxon se determinó diferencia significativa entre las medianas de los niveles de daño entre el copo y cubrecopo ($W=2148$; $\text{valor-p}=0,00023$).

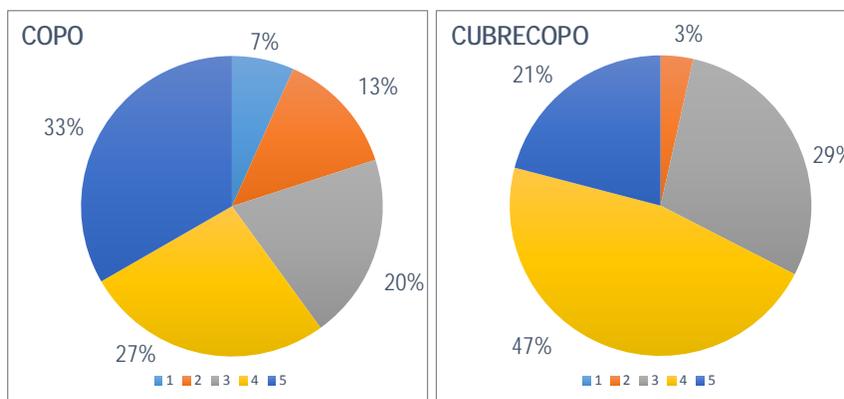


Figura 22. Proporción de ejemplares por nivel de daño aparente en el copo y cubrecopo (nave Bonn).

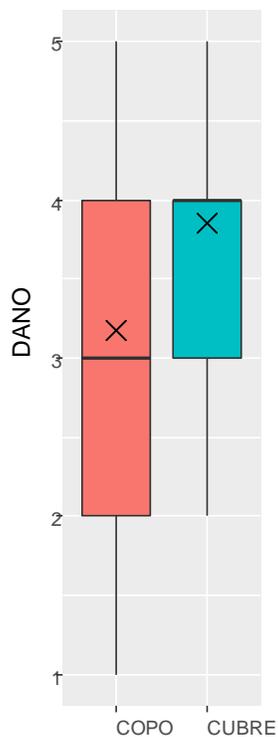


Figura 23. Boxplot para mediana (rango intercuartílico) de los niveles de daño en el copo y cubrecopo. Se indica igualmente el daño promedio (X) (nave Bonn).

Si bien los ejemplares considerados en la muestra se distribuyen en un rango amplio de tallas (entre 49 y 86 cm LT), el rango entre 56 y 63 cm LT posee una cantidad suficiente de datos con 3 o más ejemplares por marca de clase para hacer una comparación de daño por tamaños (Tabla 31). En dicho rango, el daño aparente correspondió al nivel 3,3 para peces del copo y al nivel 3,8 para peces del cubrecopo, existiendo diferencias significativas ($p < 0,05$).

Tabla 31. Niveles de daño aparente promedios, por marca de clase en el copo y el cubrecopo.

Talla	Copo		Cubrecopo	
	Daño promedio	n	Daño promedio	n
56	3,8	5	3,8	5
57	3,0	5	3,7	10
58	2,7	7	4,6	5
59	3,0	7	3,5	8
60	3,7	6	3,3	3
61	3,2	5	3,4	5
62	3,6	7	4,4	7
63	3,6	5	3,3	5

Objetivo específico 3. - Analizar las consecuencias sobre la conservación del recurso de la selectividad de las redes de arrastre utilizadas y proponer mejoras conforme a objetivos de conservación y manejo.

Cambios en el patrón de explotación o selectividad “verdadera” pueden producir importantes variaciones en el valor de criterios de referencia o Puntos Biológicos de Referencia (PBR), particularmente a nivel de valor de la mortalidad por pesca considerada límite u objetivo. Para la merluza de cola, el criterio de explotación de referencia corresponde a la tasa de explotación que genera el escape del 45% de la biomasa desovante virginal por recluta ($u_{45\%}$) (IFOP), valor que a su vez depende de la selectividad estimada en la evaluación de stock (Payá, 2017). Nótese que en este mismo sentido, y para efectos prácticos, el criterio de biomasa definida como objetivo y proxy al RMS ($B_{rms}=B_{45\%}$) se supondrá que no depende de cambios en la selectividad dada su poca influencia que tendría en la estimación del reclutamiento virginal (R_0) ($B_{rms}=0,45*R_0*BPR_0$).

Por otro lado, la selectividad del arte o aparejo de pesca representa uno de los efectos determinantes del patrón de explotación. El patrón de explotación es el resultado entre la composición de edades de la población y la composición de edades de la captura, esta última como expresión edad-específica de toda la pesquería. En el análisis se consideró la evaluación del desempeño del efecto potencial que tendría la selectividad empírica convertida en patrón de explotación de las flotas industriales que opera sobre merluza de cola tanto en la zona centro sur como su austral. El patrón de explotación de ambas flotas y parámetros biológicos como son el peso medio a la edad, madurez y crecimiento fueron tomados de la evaluación de stock realizada por Payá (2017). Para estos análisis se definieron dos casos:

- Caso 1: El patrón de explotación de las flotas industriales (Centro-sur y Sur-austral) está representado por la selectividad del arte de pesca empírica
- Caso 2: El patrón de explotación de las flotas industriales (Centro-sur y Sur-austral) corresponde al estimado en la evaluación de stock

La selectividad empírica total por flota fue convertida a edad por medio del modelo de crecimiento de Von Bertalanffy informados por Chong et al. (2007) ($L_{\infty}=101,3$; $k=0,176$; $t_0=-0,813$). Para cada edad se calculó su talla promedio y por medio de los parámetros de selectividad, se generaron las estimaciones de proporción de retención a la edad.

De acuerdo con lo informado de las experiencias de terreno, la talla al 50% de selectividad de la flota centro sur (52,1 cm) corresponden a individuos de 3,3 años de edad, mientras que para la zona sur austral, la talla al 50% reportada (57,45 cm) corresponden a individuos de 3,9 años de edad. Considerando ambas flotas la talla al 50% de selectividad se estima en 56,7 cm lo que equivale a una edad de 3,8 años (Figs. 24 y 25). La edad al 50% de selectividad empírica es en promedio 0,36 años menor respecto del patrón de explotación informado en la evaluación de stock (Payá, 2017), la cual se estima en 2,9 años y 3,5 años para la flota industrial centro sur y sur austral, respectivamente (Fig. 26).

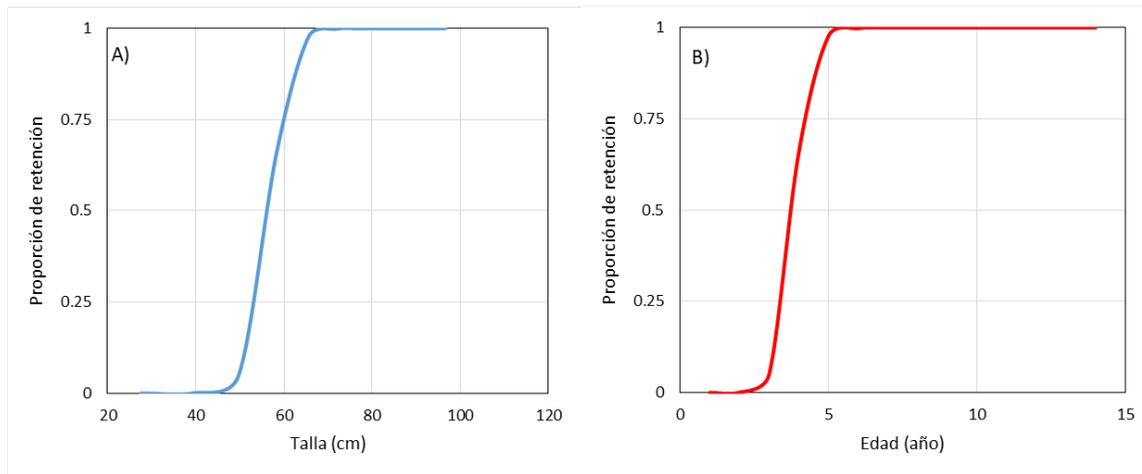


Figura 24. Selectividad de todos los lances de merluza de cola a la talla (A) y convertido a edad (B) por medio de modelos de crecimiento.

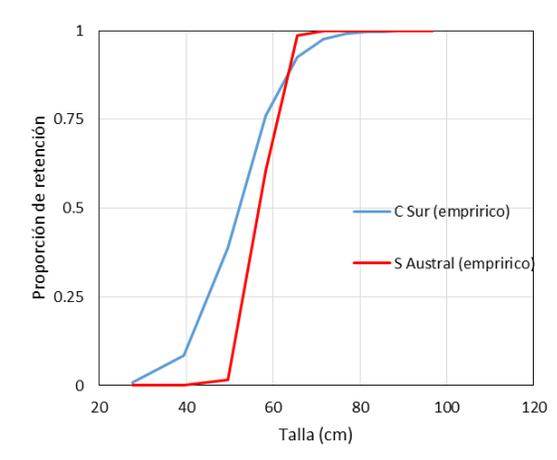


Figura 25. Selectividad de todos los lances de merluza de cola a la talla (A) y convertido a edad (B) por medio de modelos de crecimiento.

En términos generales se aprecia que ambas flotas son muy selectivas dado que, e independientemente de la fuente (empírica o evaluación de stock), existe un estrecho margen de edades entre la edad al 50% y al 95% de explotación, y que existe similitud entre la selectividad estimada empíricamente y el patrón de explotación (Fig. 26). Sin perjuicio de esto, la selectividad empírica muestra que la flota centro sur vulnera en mayor magnitud los individuos menores a 60 cm de longitud total correspondientes a individuos menores a 4 años de vida. La misma situación se observa en los patrones de explotación derivados de la evaluación de stock. Por otro lado, la relación entre vectores de selectividad/patrón de explotación puede ser explicada en más de un 99% mediante una relación funcional de poder, destacándose que las principales discrepancias se observan en las edades 3, 4 y 5 años en la flota Centro Sur, y en tres primeras edades en la flota sur austral (Figs. 27 y 28).

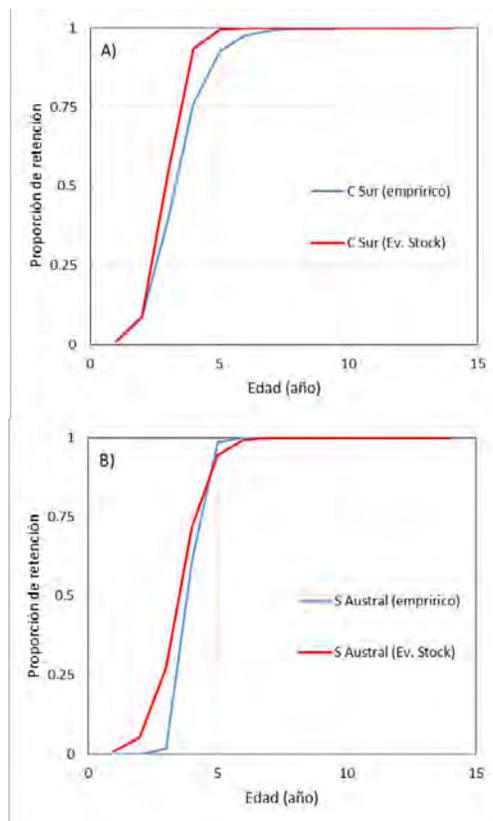


Figura 26. A) Patrón de explotación de merluza común a la edad para la flota artesanal e industrial (Caso 1 y Caso 2). B) Patrón de explotación combinada de ambas flotas y en el caso de sub-reporte de 3 veces la captura artesanal (Caso 1 b).

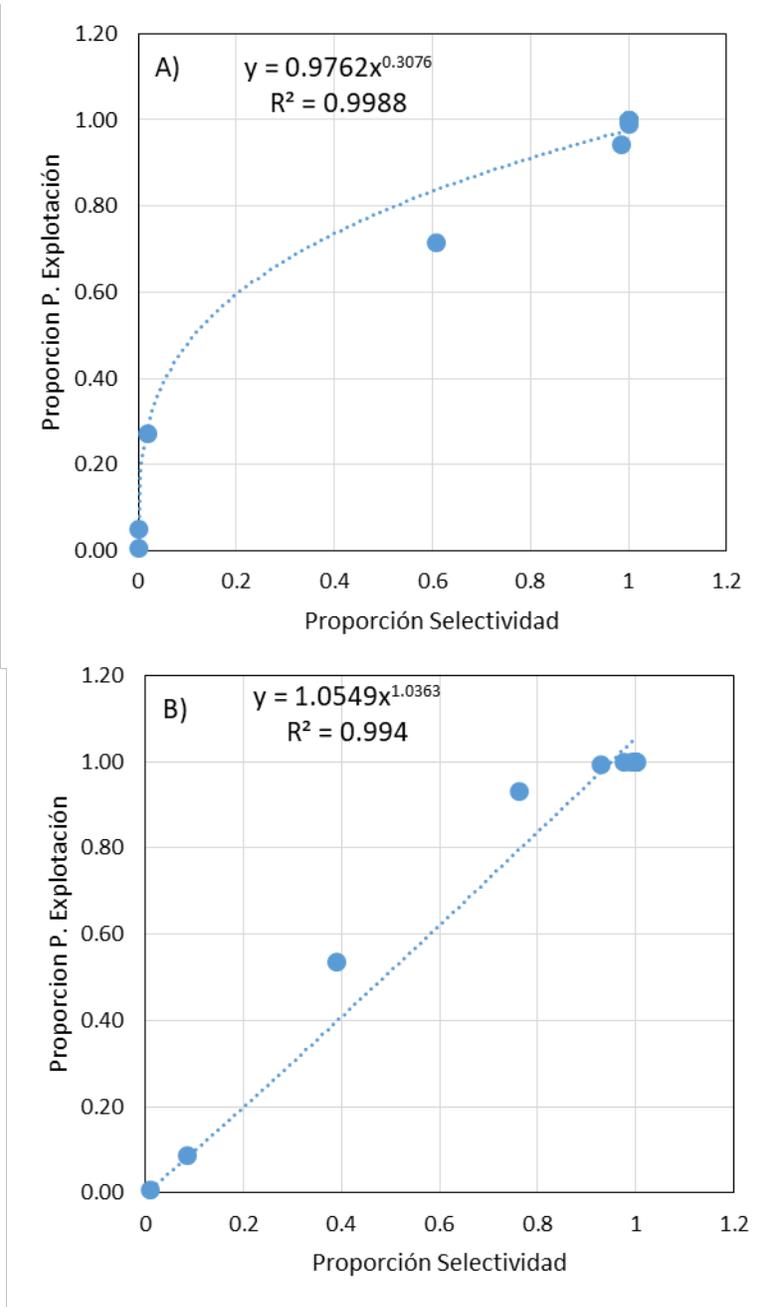


Figura 27. Relación entre la selectividad empírica y el patrón de explotación de la flota A) Centro sur y B) Sur austral.

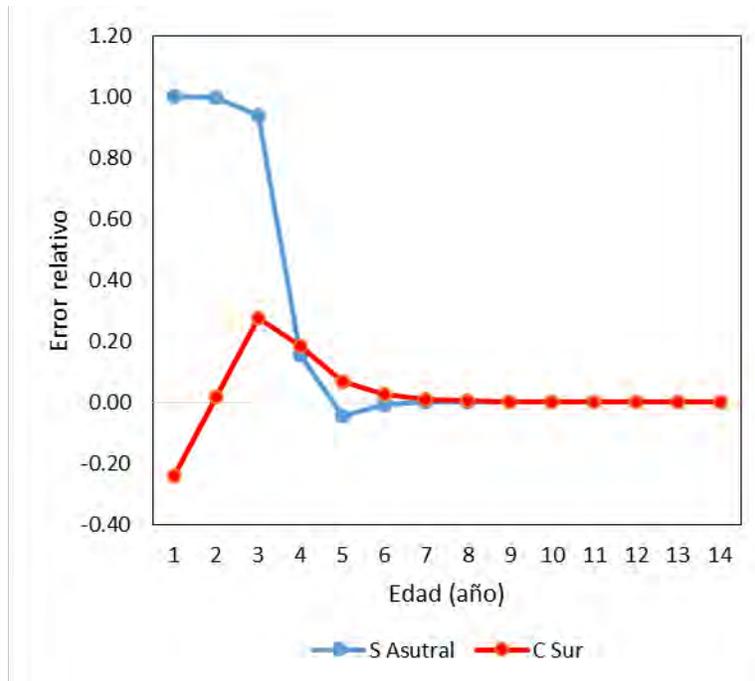


Figura 28. Error relativo en la proporción de retención/vulnerabilidad entre el patrón de explotación y la selectividad empírica por tipo flota.

Con el objeto de evaluar el impacto de cambios o corrección del patrón de explotación se simuló la población de merluza de cola bajo condiciones de equilibrio en el largo plazo. Se consideraron las dos flotas y sus respectivos escenarios de selectividad/patrón de explotación. Como referencia se consideraron las tasas de explotación estimadas por Paya (2017) y un modelo de estados discretos fue implementado para el análisis de largo plazo.

Las tasas de explotación informadas por Payá (2017) corresponden a 0,020 para la flota centro sur y 0,130 para la flota sur austral, y la proporción relativa de las capturas en la actualidad son del 15% y 85%, respectivamente. Si en un futuro el patrón de explotación estuviese mayormente representado por el efecto selectivo empírico, en el largo plazo se podría observar una ligera mayor representación de individuos de 8 y 9 años de edad (81 - 85 cm de longitud) y la moda de las capturas a la edad estarían concentradas en torno a los 5 años de edad. El patrón de explotación en cambio, generará modas en torno a los 4 años de edad (Fig. 29).

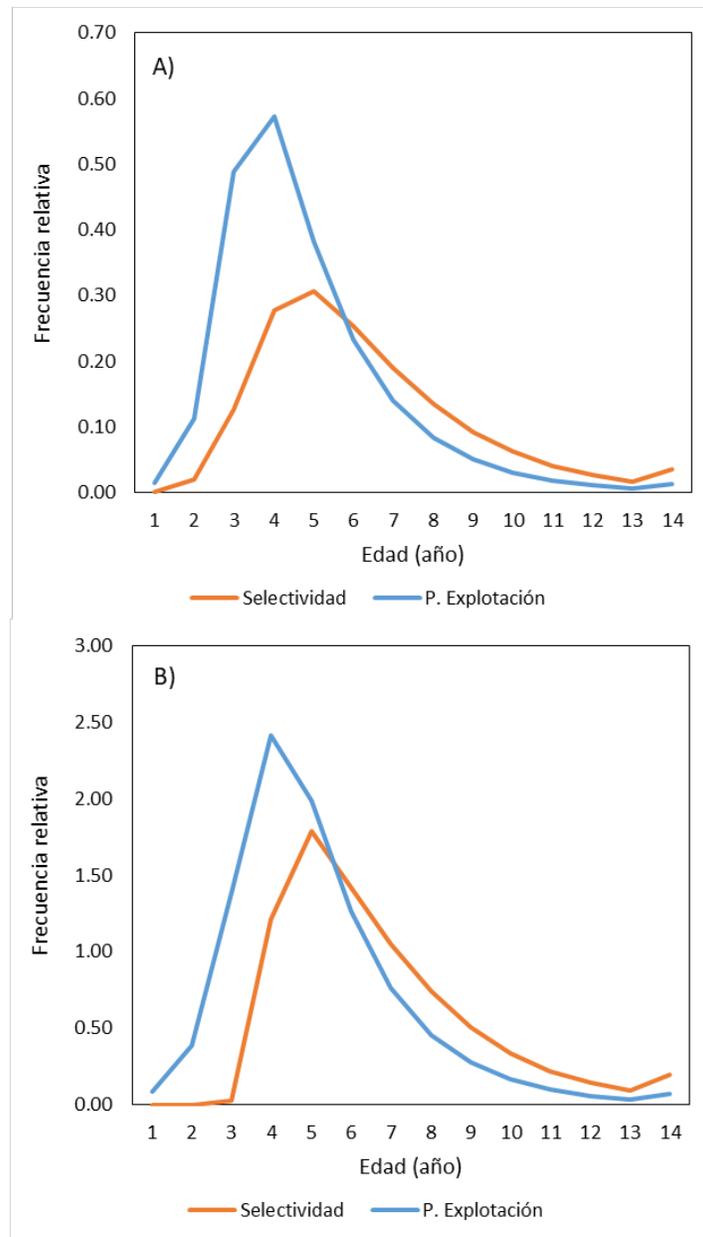


Figura 29. Composición de edades teóricas de largo plazo considerando situaciones hipotéticas de selectividad vs patrón de explotación para la flota A) Centro-Sur, B) Sur-Austral.

En términos del efecto selectivo sobre la biomasa desovante de largo plazo, los análisis indican que las actuales condiciones de tasas de explotación parecen adecuadas y permitirían en el largo plazo sobrepasar incluso el 50% de la biomasa desovante virginal por recluta, esto considerando que se ha definido el 45%BDPR como referencia. La biomasa desovante por recluta y el rendimiento por recluta se estiman respectivamente en 51,2 kg y 9,6 kg (Figs. 30A y 31A). Con esta condición la proporción de capturas entre flotas podría llegar al 17% de la flota centro sur y 83% de la flota sur Austral. Si el

patrón de explotación adoptara la configuración de la selectividad empírica, la biomasa desovante de largo plazo mejoraría en un 6% en tanto los rendimientos disminuirían en un 3% (Figs. 30B y 31B). La poca sensibilidad que tienen las variables rendimiento y biomasa por recluta frente a cambios en el efecto selectivo teórico o empírico, se debe a la similitud en los patrones antes destacada.

Del mismo modo, se simuló la respuesta de largo plazo en la biomasa desovante y en el rendimiento de pesca frente a potenciales variaciones de la talla de selectividad sin variación de los niveles de esfuerzo de pesca entre flotas (tasas de explotación). Para realizar esto se consideraron variaciones del 50% en la edad de selectividad las que luego fueron convertidas a tallas mediante el modelo de crecimiento. Los análisis indican que la biomasa desovante podría mantenerse en niveles seguros ($>45\%BDPR_0$) aun disminuyendo la talla de selectividad en la zona sur austral en más de 10 cm, esto mientras la selectividad de la flota centro sur se mantenga inalterable (Fig. 32B). No obstante este esfuerzo, el rendimiento de ambas flotas en conjunto no parece mejorar sustancialmente, y la disminución se reflejaría por efectos de la flota centro sur (Fig. 32B). Este análisis muestra que para mantener un determinado nivel de escape de biomasa desovante, la tasa de explotación de la flota centro sur debe variar en menor proporción respecto de la flota sur austral (Tabla 32). De hecho, los análisis muestran que reduciendo en tan solo 1,5 cm la talla de selectividad de esta flota se podría generar una reducción de la población por debajo del $45\%BDPR_0$.

El mismo efecto se observa si el propósito es generar un cambio notable en el rendimiento de pesca, para lo cual será la flota sur austral quien debería modificar más intensamente su selectividad. En otras palabras, el efecto selectivo de la flota sur austral no parece ser determinante en la respuesta poblacional de largo plazo, siendo la flota centro sur la más influyente pues pequeños cambios en su selectividad pueden generar grandes cambios en la biomasa y rendimientos de largo plazo.

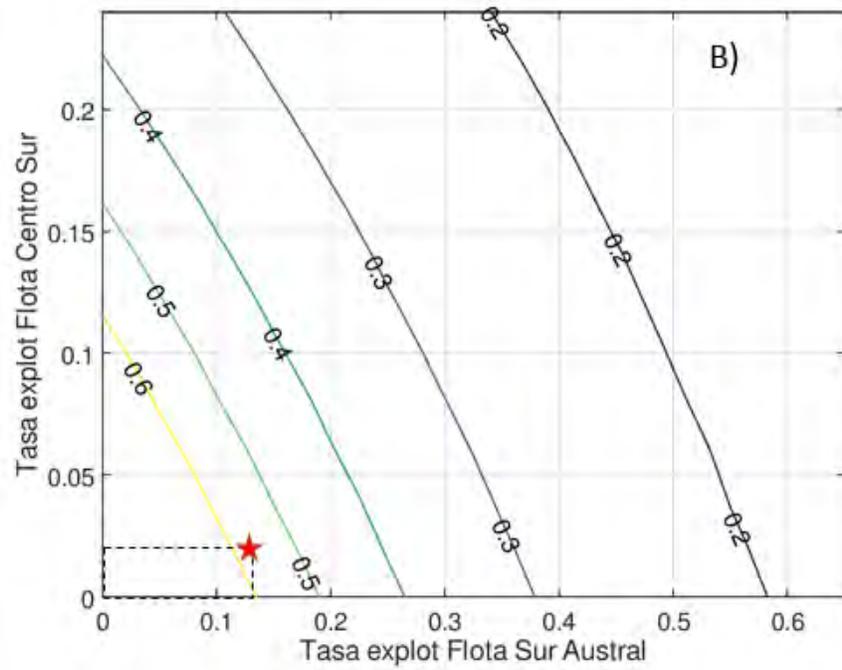
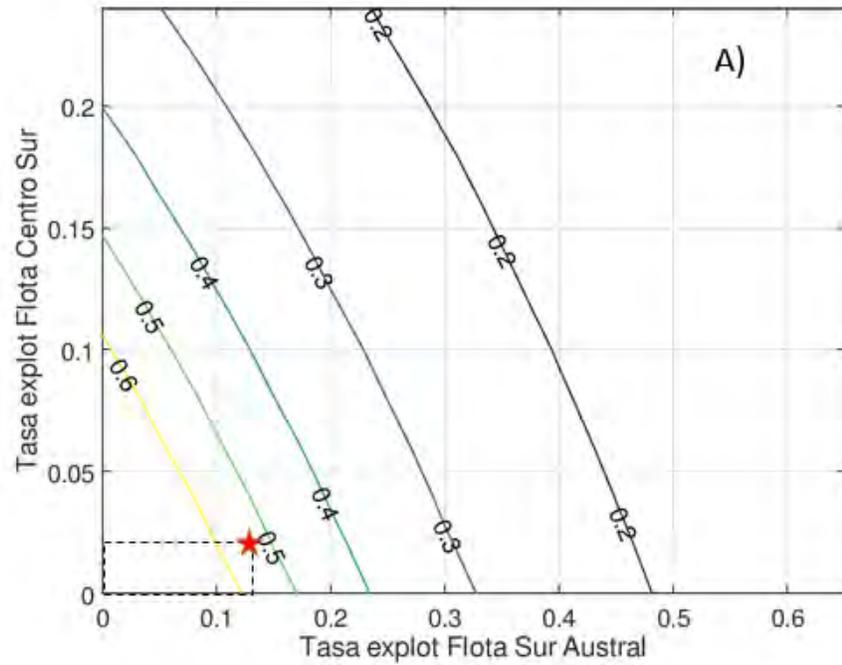


Figura 30. Proporción de biomasa desovante virginal de merluza de cola respecto de la tasa de explotación flota centro sur y flota sur austral considerando: A) el Patrón de Explotación, B) Selectividad empírica. La estrella indica la condición actual

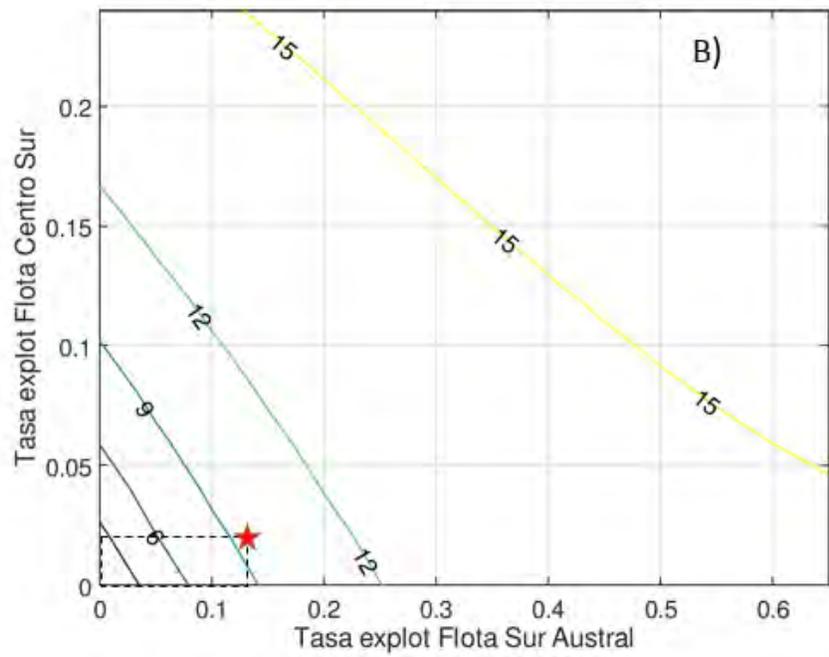
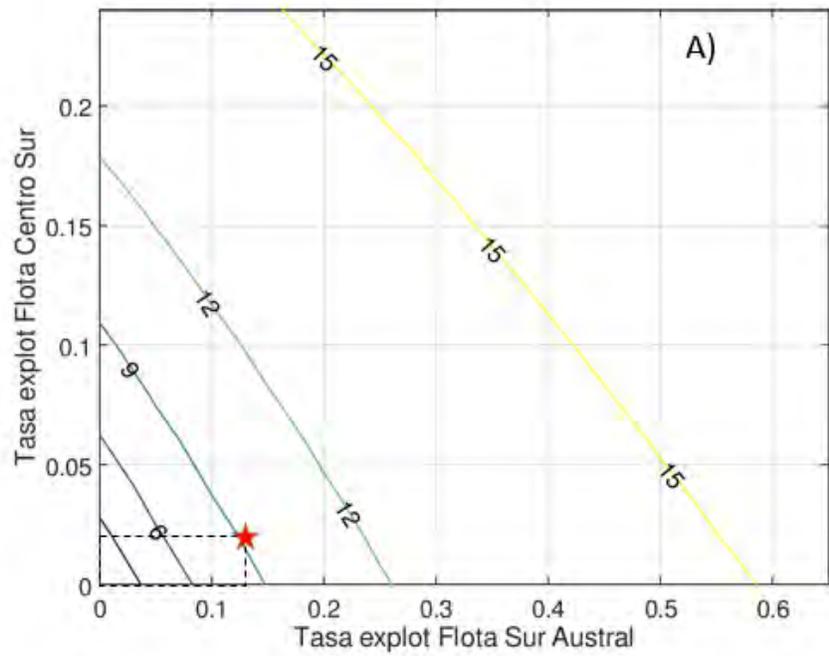


Figura 31. Rendimiento por recluta de merluza de cola respecto de la tasa de explotación flota centro sur y flota sur austral considerando: a) el Patrón de Explotación, b) Selectividad empírica. La estrella indica la condición actual

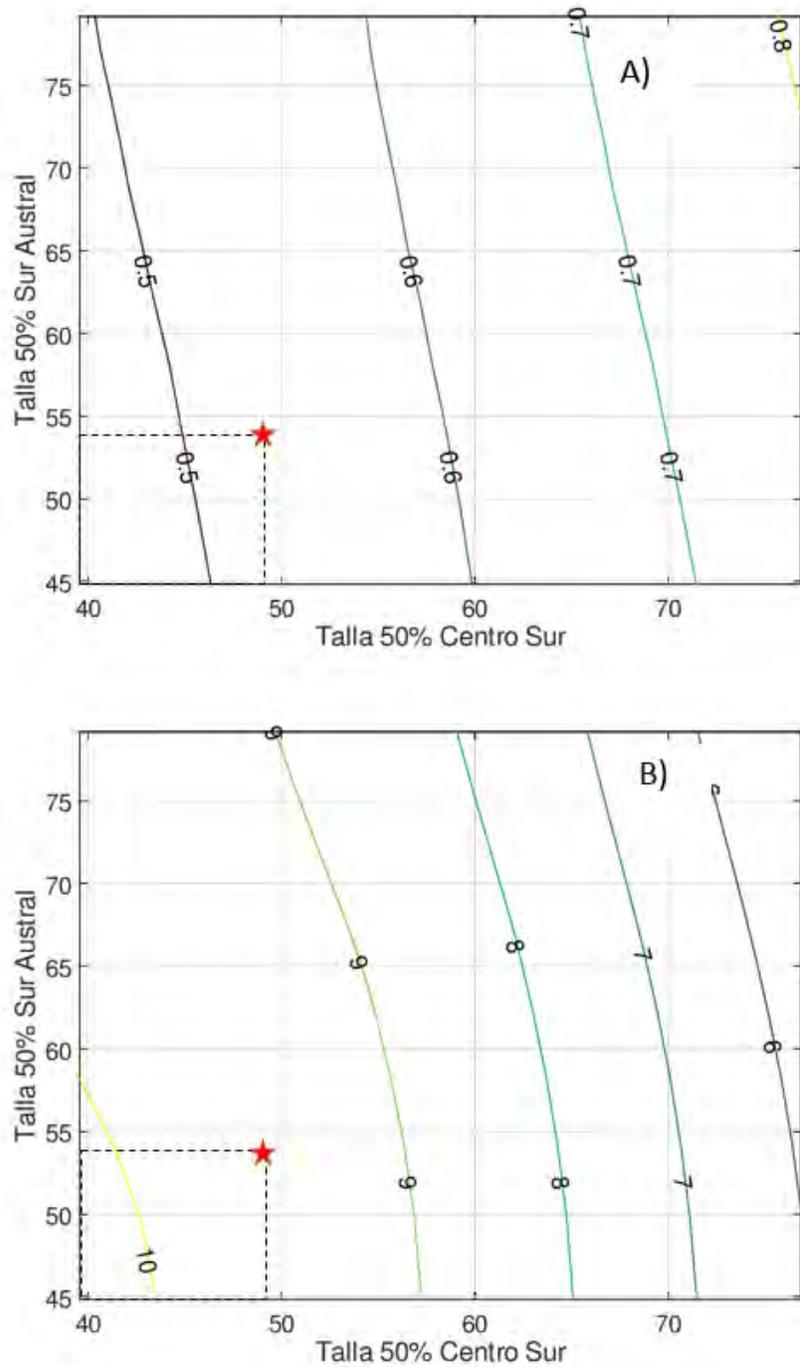


Figura 32. Proporción de la biomasa por recluta virginal (A) y rendimiento por recluta (B) de largo plazo en merluza de cola para distintas combinaciones de talla al 50% de explotación flotas centro sur y sur austral.

Tabla 32. Proporción de biomasa desovante virginal para diferentes combinaciones de tasas de explotación (A) y de edad de selectividad al 50% (B) entre flotas industriales. Los niveles son representados por tonos degradados en color verde. En negrilla se destaca la condición de largo plazo.

A)		Flota Centro Sur												
		0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24
Flota Sur Austral	0.00	1.00	0.90	0.82	0.74	0.68	0.62	0.56	0.51	0.47	0.43	0.40	0.37	0.34
	0.05	0.80	0.73	0.67	0.61	0.56	0.52	0.47	0.44	0.41	0.38	0.35	0.32	0.30
	0.10	0.65	0.60	0.55	0.51	0.47	0.44	0.41	0.38	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27
	0.15	0.54	0.50	0.46	0.43	0.40	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27	0.25	0.24
	0.20	0.45	0.42	0.39	0.37	0.34	0.32	0.30	0.29	0.27	0.25	0.24	0.23	0.21
	0.25	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.27	0.25	0.24	0.23	0.22	0.20	0.19
	0.30	0.32	0.31	0.29	0.28	0.26	0.25	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.18
	0.35	0.28	0.27	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.16
	0.40	0.24	0.23	0.22	0.21	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16	0.15	0.15
	0.45	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14
	0.50	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13
	0.55	0.17	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12
	0.60	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11
	0.65	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10

B)		Flota Centro Sur										
		2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50
Flota Sur Austral	2.0	0.46	0.49	0.52	0.55	0.59	0.62	0.65	0.68	0.70	0.73	0.75
	2.5	0.46	0.49	0.53	0.56	0.59	0.62	0.65	0.68	0.71	0.73	0.76
	3.0	0.47	0.50	0.53	0.57	0.60	0.63	0.66	0.69	0.72	0.74	0.76
	3.5	0.47	0.50	0.54	0.57	0.60	0.64	0.67	0.70	0.72	0.75	0.77
	4.0	0.48	0.51	0.54	0.58	0.61	0.64	0.67	0.70	0.73	0.76	0.78
	4.5	0.48	0.51	0.55	0.58	0.61	0.65	0.68	0.71	0.74	0.76	0.78
	5.0	0.48	0.52	0.55	0.59	0.62	0.65	0.68	0.71	0.74	0.77	0.79
	5.5	0.49	0.52	0.55	0.59	0.62	0.66	0.69	0.72	0.75	0.77	0.80
	6.0	0.49	0.52	0.56	0.59	0.63	0.66	0.69	0.72	0.75	0.78	0.80
	6.5	0.49	0.53	0.56	0.60	0.63	0.66	0.70	0.73	0.76	0.78	0.81
	7.0	0.49	0.53	0.56	0.60	0.63	0.67	0.70	0.73	0.76	0.79	0.81

Objetivo específico 4. Evaluar experimentalmente el desempeño de las redes de arrastre con las mejoras introducidas de acuerdo a los resultados obtenidos en el objetivo 4.3 y elaborar las recomendaciones sobre la base de lo anterior.

5.4.1. Propuestas de mejora

Se llevaron a cabo diversas instancias de coordinación, planificación, difusión y discusión de resultados, en las cuales se avanzó respecto a posibles medidas que permitan realizar mejoras significativas en la selectividad del arte de pesca. A continuación se exponen las diversas instancias de trabajo sostenidas (lugar y fechas), dando cuenta de los temas tratados y las principales conclusiones respecto a mejoras en el arte de pesca.

Reuniones/talleres de trabajo	Temas tratados y conclusiones
Reunión en Friosur Puerto Chacabuco 12/11/2017	Se expone proyecto en general. Representantes de la empresa señalan que utilizan mallas rotadas (T90) en antecopo de la red, y que los copos permiten un embande variable que se puede modificar a bordo. Ambas medidas se utilizan para mejorar el escape. Alta preocupación por variabilidad espacio-temporal en la composición de tamaños y de especies en la pesquería. Solución debe considerar que se trata de una pesquería multiespecífica. Han probado también rejillas para evitar lobo marino y jibia, con dos diseños diferentes. Se acuerda avanzar en evaluación usando método de arrastre pantalón, y análisis de datos de composición de tamaños con malla rotada (ver sección 5.3.2). Necesidad de importar material desde USA (Net Systems).
Reunión en PacificBlu Talcahuano 24/11/2017	Se expone el proyecto y se acuerda trabajar en la medición de la selectividad de las redes utilizadas usando el método de copo cubierto. En general, se utilizan paños con hilo doble con nudo en el copo, sin embargo ocasionalmente también usan copos con panel de escape de malla cuadrada conforme a lo autorizado según R.Ex. N° 2808/2005. Se reconoce que la cantidad de mallas en el perímetro de la red puede ser un obstáculo a la selectividad. No existe una preocupación mayor respecto a la composición de

	<p>tamaños capturados ya que lo vulnerado por la flota es generalmente un pez que puede ser procesado y tiene buen rendimiento.</p>
<p>Taller de trabajo con el Dr. Petri Suuronen Valparaíso 12-13/04/2018</p>	<p>Se expone el proyecto y se analizan videos de comportamiento de merluza de cola al interior de redes de arrastre (PAM Friosur VIII, PAM Bonn y PAM Polaris II). Se revisan evidencias de daño en los peces durante el proceso de escape. Se concuerda en que se trata de un pez muy activo que busca vías de escape. En las filmaciones analizadas, existe poco espacio para un escape efectivo. Se concuerda también en que el daño ocasionado durante el proceso podría estar asociado a alta mortalidad post-escape, lo cual se debería evaluar en un estudio de sobrevivencia en estanques. El uso de vías de escape con mallas cuadradas debe ser considerado como una alternativa viable en la pesquería.</p>
<p>Taller de trabajo en INIDEP-Argentina Mar del Plata 23-26/04/2018</p>	<p>Se expone el proyecto y se discuten algunos aspectos generales que pueden afectar la selectividad de tamaños, como son: el uso de estobos (cinturones) en cuanto a longitud y separación, el número de mallas en el perímetro de la red y el coeficiente de abertura de las mallas. Se genera un esquema de copo alternativo que considera un sección perimetral completa de malla cuadrada, de aproximadamente 3 m de longitud ubicada en la sección anterior del copo (de proa a popa). Dicha sección debería ser construida con material Ultracross (trenzado sin nudo) de 110 mm de luz de malla y 7 mm de diámetro de hilo, para permitir una talla de primera captura de aproximadamente 60 cm LT.</p>
<p>Reunión del Comité de Manejo Santiago 15/06/2018</p>	<p>Se expone el proyecto y los resultados preliminares de selectividad teórica, selectividad empírica, composición de tamaños y filmaciones submarinas de comportamiento. Se manifiestan preocupaciones respecto al efecto de la densidad de captura (volumen por unidad de tiempo), ya que cualquier medida que se implemente debe considerar que dicha densidad es muy alta en algunos lances, afectando la posibilidad de escape</p>

	<p>de los peces. Se propone avanzar en el uso de malla cuadrada, ya sea a nivel de una sección o del copo completo. Sin embargo, se reconoce que dicha solución no puede ser generalizada ya que existen diferentes propósitos productivos (mono-específico y multi-específico). Existe consenso también en que un aumento de tamaño de malla no resuelve el problema de tamaños de captura, ni medidas como el move-on parece ser una solución. Además, avanzar hacia el uso de malla cuadrada significa seleccionar un tamaño de malla inferior al actualmente autorizado.</p>
<p>Reunión en Emdepes Santiago 26/06/2018</p>	<p>Se exponen resultados del proyecto y se discuten algunas alternativas para avanzar en cuanto a mejorar la selectividad de tamaños de merluza de cola. Se reconoce en primer término la alta abundancia de peces juveniles en la zona sur-austral, con alta variabilidad de tamaños entre lances. Existe gran preocupación por la necesidad de considerar en la discusión el hecho que la pesquería demersal-austral tiene un carácter eminentemente multiespecífico, razón por la cual una medida puntal (p.ej. el uso de copos de malla cuadrada) puede ser inviable para la captura de otros recursos objetivo, como por ejemplo merluza de tres aletas.</p>
<p>Deris S.A. Punta Arenas 23/07/2018</p>	<p>Se exponen resultados del proyecto y se discute la viabilidad de algunas medidas que pueden beneficiar la selectividad. Se reconoce que existe un marcado efecto espacio-temporal en la composición de tamaños y abundancia del recurso. Hay consenso en que tanto la separación de los cinturones como la cantidad de mallas en el perímetro de la red afectan la selectividad, sin embargo antes de avanzar en cambios en ese sentido se debe comprender de mejor modo el comportamiento de los flujos al interior de la red (no considerado en este estudio). El uso de una sección de mallas cuadradas puede ayudar a mejorar el escape de la fracción juvenil, pero no se visualiza como una solución</p>

	permanente sino ocasional, de acuerdo al contexto de la actividad.
Friosur Puerto Chacabuco 30/08/2018	Se exponen resultados del proyecto y se discute planificación de actividades para evaluar selectividad usando método de arrastre pantalón. Se acuerda trabajar ambas piernas con un embande del 10% (equivalente a un coeficiente de abertura del 44%). Se acuerda poner énfasis en la filmación de la sección que conecta ambas piernas, para asegurar un correcto funcionamiento.
PacificBlu Talcahuano 13/09/2018	Se exponen resultados del proyecto y también se exponen resultados del programa de descarte que conduce IFOP. Se verifica que existe selectividad de los copos usados, especialmente en el escape de la fracción de peces de menor tamaño, y se reconoce la consistencia en los resultados obtenidos respecto a tamaño de los peces capturados, lo que determina en gran medida los bajos niveles de descarte en la zona centros-sur. Se reconoce la posibilidad de avanzar en cuanto al uso de una sección de malla cuadrada para aprovechar el comportamiento de escape de la especie.

5.4.2. Análisis de uso de malla rotada (T90)

El primer avance respecto a las mejoras en la selectividad de las redes de arrastre correspondió al análisis de las posibles diferencias que se obtiene en la composición de tamaños de la captura debido al cambio en la configuración de mallas del copo. En particular, un armador señaló que el uso de mallas rotadas en el copo (T90) disminuyó la proporción de ejemplares pequeños (bajo 55 cm LT; PB55), para lo cual se construyó un modelo GLM que permitiese comprobar dichos resultados. El modelo seleccionado explicó el 13% de la devianza de PB55, la cual todos los coeficientes fueron significantes ($P < 0,05$). Los valores GVIF fueron inferiores a 1,3, indicando ausencia de colinealidad. Entre las variables categóricas AÑO y TRIM explicaron el 5,9% y 4,9% de la variabilidad de PB55 (Tabla 33).

Tabla 33. Resumen estadístico de la modelación de la PB55 de merluza de cola por el modelo lineal generalizado. GVIF: factor de inflación de la varianza generalizada; DF: grado de libertad; AIC: criterio de información de Akaike.

Modelo: $\log(\text{CPUE} + 1) \sim \text{AÑO} + \text{TRIM} + \text{SEXO} + \text{LAT} * \text{LON}$				
VARIABLES	GVIF	Df	Devianza explicada (%)	valor P
AÑO	1.09	3	5.9	<2.2e-16
TRIM	1.11	3	4.9	<2.2e-16
SEXO	1.02	1	0.6	<2.2e-16
LAT*LONG	1.26	1	1.4	<2.2e-16
Devianza nula	Devianza residual	Df residual	AIC	Devianza total explicada (%)
64916	56660	57684	56678	12.8

El modelo GLM señaló que los mayores niveles de captura de ejemplares inferiores a los 55 cm se reportó en los periodos cuando la nave operó con la red tradicional, cuya PB55 representó aproximadamente el 50% de la captura anual de 2014, mientras cuando operó con la red modificada (mallas rotadas), los niveles de PB55 no superaron el 15% de la captura anual de 2015 y 2016 (Fig. 33). En cada año, la PB55 mostró un patrón temporal caracterizada por sus mayores niveles capturados durante el I-II y IV trimestre, periodos las cuales la PB55 abarcó aproximadamente entre los 20% y 40% de la captura total trimestral, mientras que durante el III trimestre este no superó el 5% de la captura total (Fig. 33).

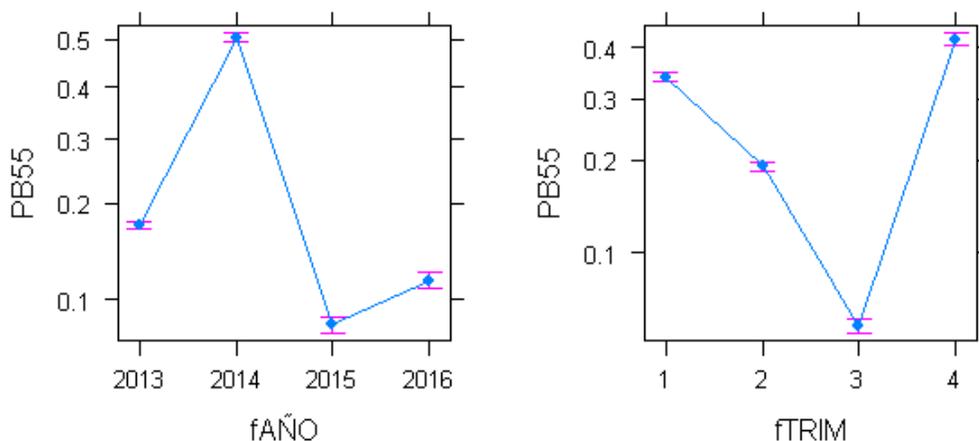


Figura 33. Variación anual y trimestral de PB55 estimada por el modelo lineal generalizado de merluza de cola. Línea vertical corresponde el intervalo de confianza del 95%.

En términos espacial, las cuadrículas 5x5 mn con tallas promedio inferiores a los 55 cm LT frecuentaron al norte de 44°S entre I-II y IV trimestre en la mayoría de los periodos analizados, siendo más evidente aquellos capturados durante 2013 y 2014 cuando la nave operó con las red tradicional (Fig. 34). Durante el III trimestre se observó principalmente cuadrículas con talla promedio superiores a los 60 cm LT entre 44°S y 46°S, zona identificada como área reproductiva (Fig. 34).

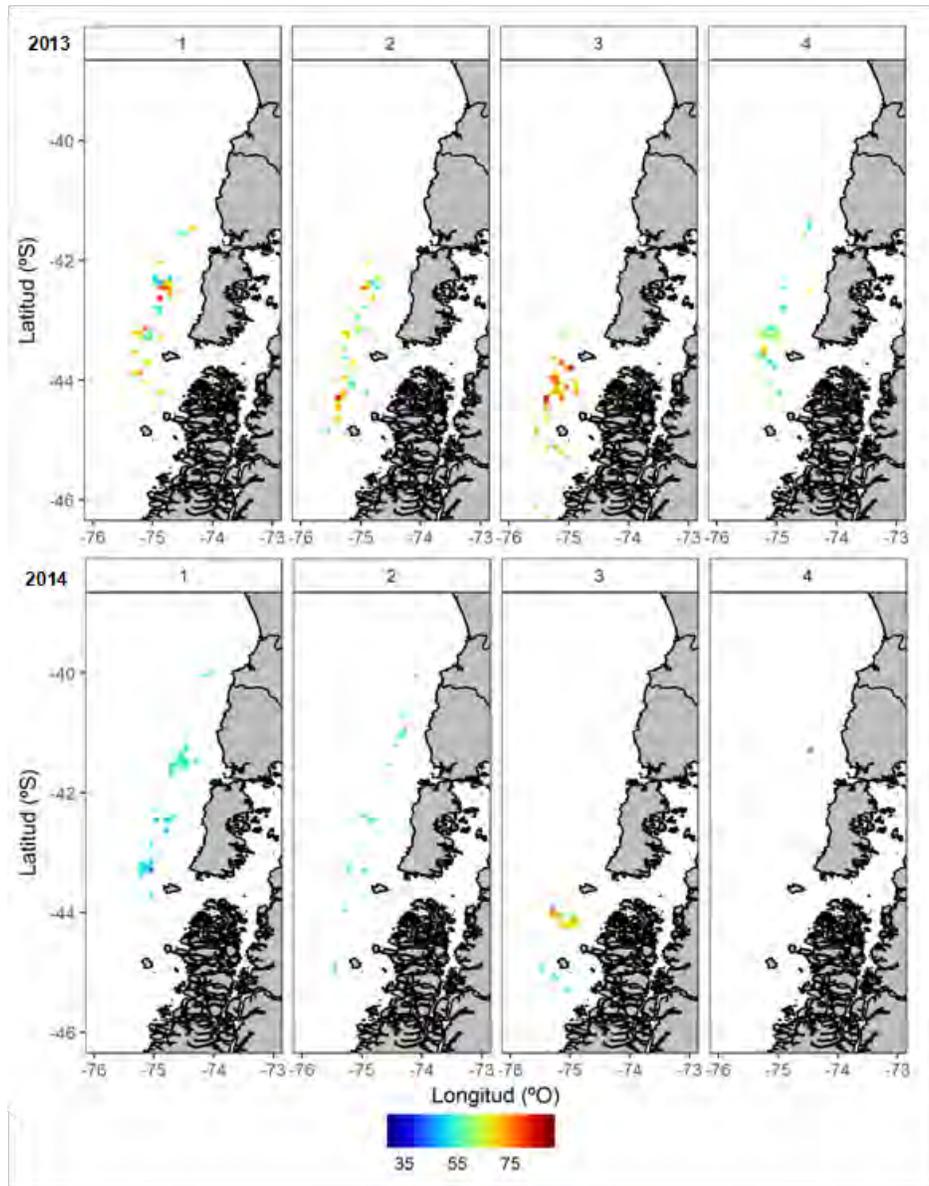


Figura 34. Distribución espacial de la talla promedio de la merluza de cola capturada por trimestre y año reportado por una nave. La barra de escala representa la longitud total (cm).

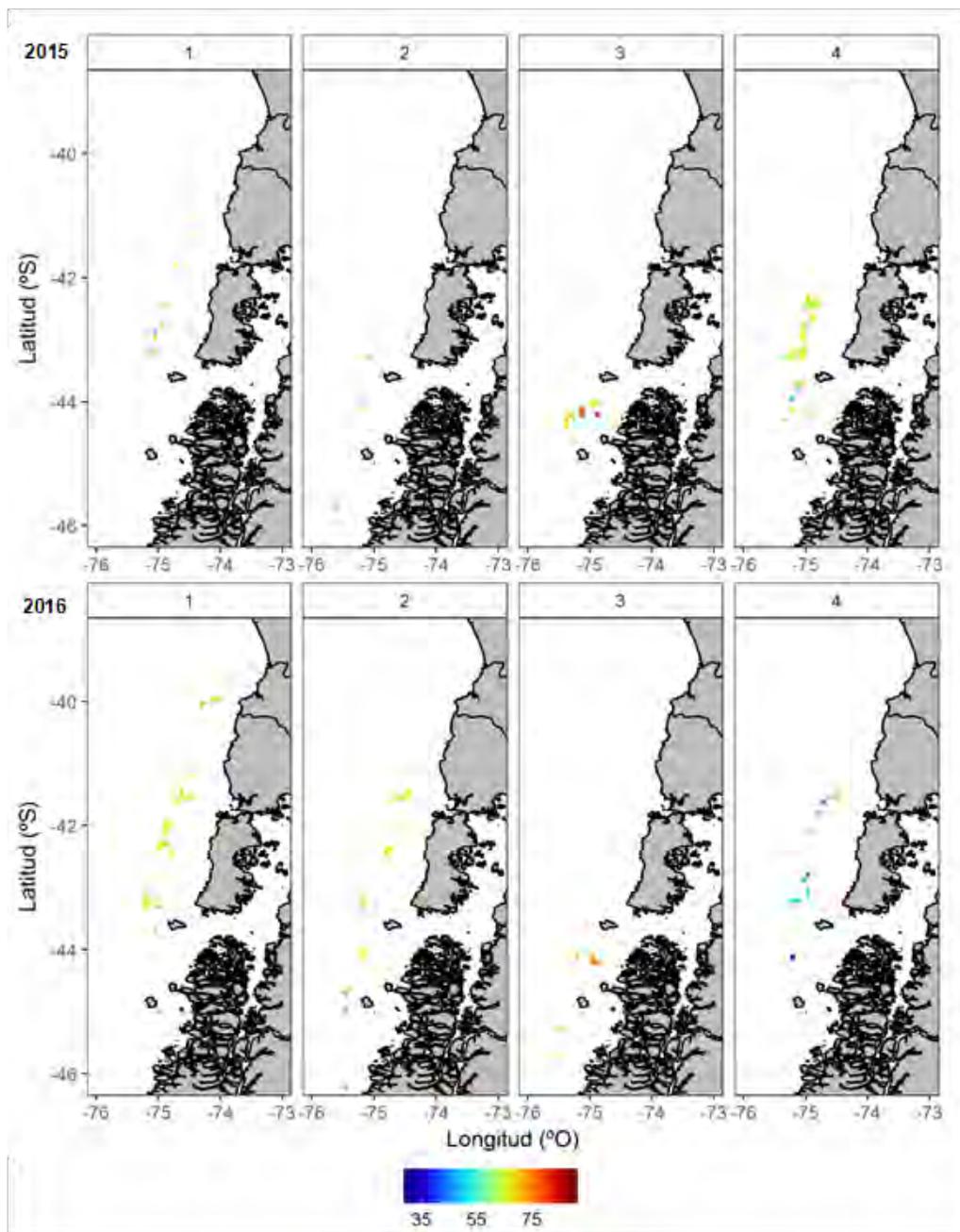


Figura 34. Continuación.

5.4.3. Propuesta de modificación en copos

A partir de los resultados obtenidos en el presente estudio, y de manera previa al establecimiento de una propuesta para mejorar la selectividad de tamaños en la pesquería, es necesario resumir lo siguiente:

- La especie posee comportamiento activo y resto suficiente para realizar intentos de escape al interior de las redes de arrastre consideradas en el estudio.
- Se han hecho esfuerzos por mejorar la selectividad de tamaños conforme a la regulación existente, ya sea mediante el uso de mallas rotadas (T90), embande variable o uso de panel de escape de malla cuadrada.
- Si bien el número de mallas en el perímetro determina la capacidad de abertura de las mallas, se reconoce que regulaciones en este componente no necesariamente mejoran de manera significativa la selectividad de tallas.
- El uso de cabos restrictores (cinturones) en el copo limitan la capacidad de deformación (abertura) de las mallas, no obstante la determinación de su tamaño responde a aspectos operacionales y de seguridad en las maniobras de virado de los copos.
- El tamaño de malla autorizado para ambas unidades de pesquería permitiría la captura de ejemplares de tamaño tal que cumplen tanto con propósitos productivos y biológicos.

En base a lo anteriormente señalado, se propone realizar un estudio específico referido la evaluación de un copo que cumpla con las siguientes especificaciones:

- Una sección que considere el perímetro total del copo con malla cuadrada de material trenzado sin nudo, cuya extensión debiese ser como mínimo de 3 metros de longitud en el sentido de trabajo de la red.
- La ubicación de esta sección de malla cuadrada debería ubicarse entre el antecopo y el copo. Este último, por lo general, posee una longitud entre 15 y 23 m.
- El copo en tanto, debe considerar que las mallas romboidales que los constituyen, puedan abrirse como mínimo un 25% de su abertura máxima de construcción, para lo cual deberá considerarse la longitud de los cabos restrictores (cinturones).
- Se debería considerar que la separación entre cabos restrictores sea como mínimo de 1,5 metros, de tal manera de no impedir que las mallas se abran durante la operación de pesca.
- La sección de malla cuadrada puede ser removible, favoreciendo de este modo su uso sólo cuando la composición de tamaños en una zona y período lo amerite.

La figura 35 contiene una propuesta de plano que podría ser construido y evaluado considerando las indicaciones anteriores. Además, la figura 36 presenta una vista en 3D del copo propuesto. Por restricciones de planificación para la importación de los materiales requeridos (por encargo con 3 a 4 meses de antelación), además de la baja disponibilidad del recurso en la temporada de pesca, determinan que las pruebas en terreno de esta propuesta no sean factibles de ser llevadas a cabo. No obstante lo anterior, esta solución propuesta ha sido ampliamente discutida y preliminarmente aceptada por los usuarios para su futura evaluación, considerándose las limitaciones propias en una temporada altamente compleja para la pesquería debido a la baja abundancia del recurso objetivo.

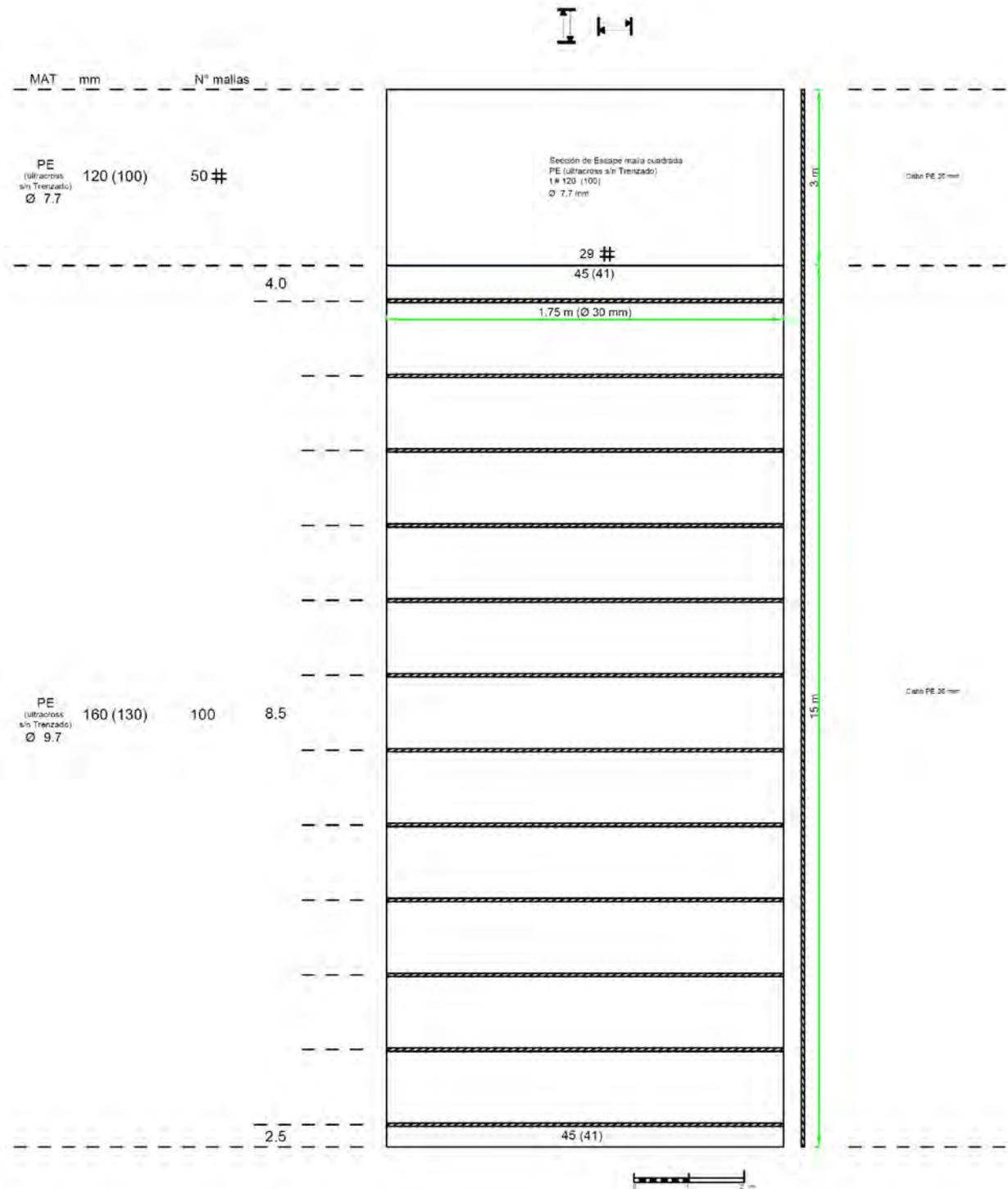


Figura 35. Propuesta de plano para copo de redes de arrastre de merluza de cola que contiene un sección de escape de malla cuadrada.

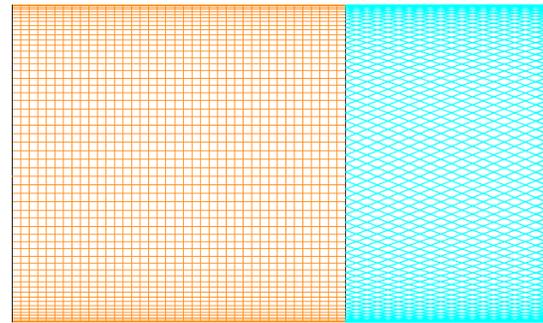
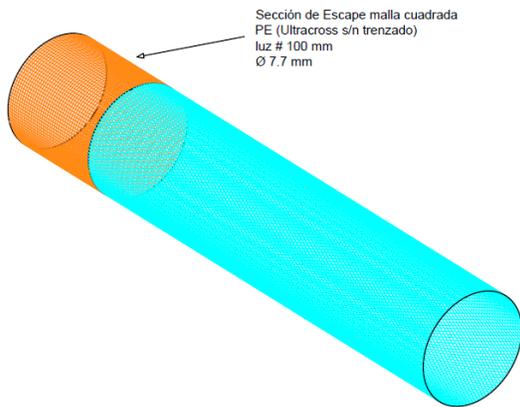
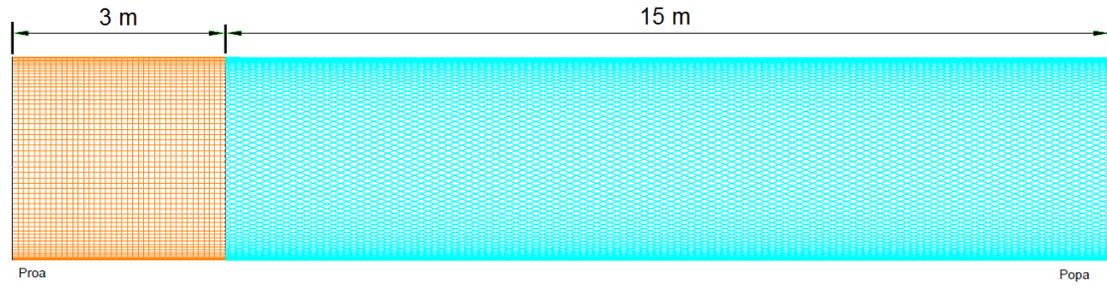


Figura 36. Vistas en 3D del copo propuesto para redes de arrastre de merluza de cola. En color café, la sección de escape de merluza de cola. En color celeste, la sección tradicional de malla romboidal.

6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir de la revisión bibliográfica realizada, es claramente identificable que la selectividad de tamaños en diferentes especies de las familias Merlucciidae y Gadidae responde proporcionalmente con el aumento del tamaño de luz de malla, lo cual también ha sido demostrado en merluza de cola en el Atlántico a partir del trabajo de Ercoli et al. (1998). Ahora bien, esta proporcionalidad entre talla de primera captura y luz de malla, comúnmente denominado como factor de selectividad, es influenciada por otras características de las redes de arrastre, particularmente por la configuración de los copos y los materiales empleados en su construcción. Es así como el uso de paneles de escape de diversas características, el uso de mallas doble de menor diámetro de hilo, o bien el uso de mallas cuadradas, tiende a generar mejoras significativas en los factores de selectividad (FS), mejorando entonces el desempeño de las redes en cuanto a aumentar la talla de primera captura. Del mismo modo, usando ventanas de escape sería menor la mortalidad post escape respecto a copos que no disponen de estas medidas de escape y en las cuales la única salida depende de la capacidad de los peces por atravesar las mallas romboidales tradicionales del copo.

En cuanto a la información de los artes de pesca, en primer lugar se consultó el registro de las bitácoras de los observadores científicos de IFOP, lo cual facilitó la primera aproximación a los modelos de redes en la pesquería. Sin embargo, el nombre de las redes en sí mismo no resulta indicativo de la selectividad del copo, sino sólo de las dimensiones generales de las redes usadas, en algunos casos. Sin duda existe gran complejidad al momento de caracterizar las redes y los copos, ya que la flota suele utilizar diversas alternativas de copos en función a la especie objetivo, la zona de pesca y el área de operación. Esto no queda consignado en ningún registro y depende en gran medida de los capitanes. Los modelos de redes corresponden en general a redes de cuatro paneles cuyos planos originales en su mayoría han sido adaptados en los talleres para lograr mejores resultados operacionales. De este modo, se debe tener cuidado en asumir que una red de arrastre tiene una selectividad característica, sino que ésta dependerá también de los copos usados en la captura.

Por otra parte, las redes presentan grandes diferencias entre sí, desde las dimensiones generales que determinan su envergadura global hasta el tamaño de sus mallas y los componentes usados en la construcción. Las redes modelos Gloria, Atlántica, FT 2044 y Halcones poseen mallas en la sección frontal de gran tamaño, diferenciándose de otras redes como Casanova, Engel y Tornado cuyas mallas son considerablemente más pequeñas. Sin embargo, la relación que parece ser un patrón

común para todas ellas es que la relación entre la abertura de las redes a nivel de la boca y la longitud de relinga superior oscila en un rango relativamente estrecho (0,414 – 0,473).

Al revisar en detalles las características de los copos, queda en evidencia que las redes usadas en la pesquería cumplen con las normativas específicas según su zona de operación. En el área norte de la unidad de pesquería, las redes cumplen con lo establecido en la R.Ex. N° 2080/2005, usando mallas de 100 mm de luz de malla en copo junto con panel de escape de malla cuadrada, o bien usando solamente mallas de 120 mm en el copo. En el sur en tanto, se emplean copos de 130 mm de luz de malla, cumpliendo de esto modo con lo establecido en el D.Ex. N° 144 de 1980.

Se llevó a cabo una exploración de la relación entre redes usadas en la pesquería y las tallas de captura. Si bien se reconoce que existe una variabilidad propia de las tallas entre años (Céspedes et al., 2014; Lillo et al., 2017), el análisis realizado muestra que existe una disminución de ejemplares bajo 55 cm LT (PB55) en los años recientes. Mediante modelación fue posible identificar una tendencia creciente de la talla para las naves arrastrera hielera que operaron desde 2014 hasta 2016 entre los 35°S y 45°S. Los ejemplares de mayor tamaño fueron capturados con la red Atlántica. En contraste con aquellos individuos capturados por las naves arrastreras fábricas que fueron inferiores a los 60 cm LT, revelando una PB55 mayor en las capturas al sur de los 45°S, independiente del tipo de red utilizados por las naves, ya que el efecto significativo de este último fue pobre (2,2% de la devianza).

El bajo poder explicativo del modelo GLM seleccionado para ambas pesquerías revela que existen otros factores que pueden describir la variación espacio-temporal de la talla de merluza de cola. El factor mes o trimestre no fue incluido en el análisis, debido a la falta de un muestreo temporal continuo de individuos que limitó crear una matriz de información balanceada previa la aplicación de GLM. Estos factores temporales son relevantes para los análisis dado que es ampliamente conocido que la talla del recurso varía estacionalmente por la migración reproductiva de la fracción adulta durante el tercer trimestre (Niklitschek et al., 2014). Otro factor tiene relación con la batimetría operacional de la flota, debido que estudios tempranos observaron una relación inversa entre el tamaño promedio de los ejemplares capturados y la profundidad del lance con diversos grados de abundancia tanto en el pacífico suroriental como en el Atlántico sudoccidental (Bezzi, 1984; Young et al., 1998). Las condiciones oceanográficas (*e.g.*, temperatura del mar, corrientes, disponibilidad del alimento, etc) también son importantes ser consideradas en futuros análisis, dado que éstas describen el área de desove, crianza y de alimentación del recurso (Niklitschek et al., 2014), y que estuvieron más allá del alcance metodológico del presente estudio. Finalmente, estos resultados son

de carácter preliminar porque no contempla todas las naves que componen la flota de ambas pesquerías, cuyas actividades operacionales pueden variar espacio-temporal por la alternancia de especies objetivo en la zona centro-sur y sur-austral.

En el marco del desarrollo del objetivo 2, se consideró pertinente agregar una metodología complementaria para estimar la selectividad de una malla, lo cual se denominó como selectividad teórica. Este experimento proporcionó información relevante para comprender la relación entre tamaño de luz de malla, coeficiente de abertura de la malla y probabilidad de retención a la talla. En general, se tiende a vincular la selectividad con el tamaño de luz de malla, pero como se ha mencionado anteriormente, otros factores intervienen y modulan la selectividad. El coeficiente de abertura de las mallas parece tener un rol relevante ya que a un mismo tamaño de luz de malla, la probabilidad de retención puede variar en más de un 50% según la abertura de la malla. Ciertamente por las tensiones de arrastre las mallas tienden a cerrarse durante el arrastre, y por este motivo en diversos países se adopta el uso de ventanas de escape de malla cuadrada que no pierden efectividad durante el arrastre.

En cuanto a la evaluación de la selectividad empírica mediante experimentos de copo cubierto y arrastre pantalón, los resultados obtenidos en este trabajo son los primeros en la pesquería de merluza de cola en Chile y constituyen un avance significativo para el conocimiento selectivo de redes de arrastre. En la zona centro-sur se empleó el método de copo cubierto con bastante consistencia en los resultados, no obstante varios lances debieron ser desechados por presentar roturas en la cubierta. Es importante destacar que usar cubierta recolectoras del escape (cubreco) tiene asociada una complejidad técnica mayor dada la envergadura de las redes y de los volúmenes de escape. No obstante lo anterior, el valor de L50 estimado (correspondiente a 52,1 cm LT) para un tamaño de luz de malla de 120 mm, corresponde a un factor de selectividad (FS) de 0,43, consistente tanto con la selectividad en especies afines (0,3-0,5) como con los resultados de la selectividad teórica (L50=50 cm LT para una malla de 120 mm y una coeficiente de abertura de 0,3).

En la zona sur-austral en tanto, el experimento con arrastre pantalón no presentó problemas operacionales en cuanto a roturas, sin embargo la mayor dificultad del método radica en la correcta configuración que adopta el copo experimental para que funcione correctamente. En este sentido, el diseño y construcción deben permitir que ambas piernas (copo de babor y copo de estribor) se desplieguen completamente estirados sin generar que la captura tienda a ingresar en mayor proporción en una u otra pierna. Mediante filmaciones submarinas se observó que esta condición no se alcanzó completamente y, por lo tanto, los resultados del experimento sólo pueden ser

considerados de manera referencial, pero no concluyente. Ciertamente el valor de la talla de primera captura obtenido (49,96 cm LT) es bastante menor al que se esperaría para un tamaño de luz de malla de 130 mm, que correspondería a 57,45 cm LT. Si bien algunos lances mostraron valores en torno a este valor de referencia (lances 1, 2 y 4), las estimaciones para los restantes lances fueron muy bajas respecto a lo esperable. Una posible explicación podría asociarse a la composición de tamaños de la fracción vulnerada, sin embargo se aprecia en este experimento que los lances con menor valor de L50 no se relacionan necesariamente con esta variable, lo cual lleva a dudar del correcto desempeño del copo experimental. En este sentido, y dadas las dudas razonables en cuanto a la consistencia de los resultados, se optó por emplear los resultados de selectividad teórica para los análisis del objetivo 3.

A partir de la experiencia realizada a bordo de una embarcación para analizar el daño asociado al proceso de escape de merluza de cola, es posible confirmar que a simple vista se observan heridas en el cuerpo y en particular en la cabeza. Sin embargo, no es posible relacionar el daño con niveles de sobrevivencia de la fracción no retenida. Ahora bien, dado que se trata de peces retenidos durante un lance con uso de cubrecopo, el nivel de daño observado no puede ser atribuido integralmente al proceso de escape, ya que también influyen otros factores como aplastamientos, roces y a la maniobra de izado de la captura a bordo de la nave (Suuronen et al., 1996a, 1996b). Cabe igualmente señalar que no sería correcto suponer que los ejemplares que escapan durante la operación normal de la red de pesca presentarían un daño promedio similar al estimado en el trabajo exploratorio. Ello, debido a que la metodología utilizada podría sobreestimar el daño de los ejemplares que no son retenidos, ya que éstos pueden escapar sin estar expuestos a los factores como la maniobra de izado de la red de pesca o el aplastamiento derivado de la presencia de captura en el cubrecopo. En este sentido, una eventual estimación de la tasa de sobrevivencia de la fracción no retenida por la red, debería llevarse a cabo mediante su observación en algún tipo de cautiverio (Ingólfsson et al., 2004).

En cuanto a las consecuencias sobre la conservación del recurso, es posible señalar que los análisis mostraron que la selectividad empírica de las redes de pesca tiene menor incidencia sobre los individuos de clases menores a 6 años para las dos flotas analizadas, respecto del patrón de explotación de la pesquería. No obstante esto, existe una relación entre selectividad y patrón de explotación de tipo potencial y cuyo nivel de correlación alcanza un 99%. Los análisis mostraron que la flota centro-sur vulneraría ejemplares de menor edad respecto de la flota arrastrera sur-austral, y este patrón se registra tanto en los experimentos de terreno como en el patrón de explotación estimado en la evaluación de stock. Este efecto se traduce en que potenciales cambios en la

selectividad de la flota centro-sur podría generar grandes cambios en la biomasa desovante futura, aun manteniendo los actuales niveles de mortalidad por pesca. En efecto, se estima que la disminución de 1,5 cm en la talla de selectividad de esta flota podría generar una reducción de la población por debajo del 45%BDPR₀. El efecto selectivo de la flota sur-austral no parece ser determinante en la respuesta poblacional de largo plazo, siendo la flota centro-sur la más influyente pues pequeños cambios en su selectividad pueden generar grandes cambios en la biomasa y rendimientos de largo plazo.

En cuanto a las mejoras en la selectividad de las redes de arrastre en la pesquería, se llevaron a cabo diversas reuniones y talleres de trabajo con representantes de los usuarios, de la administración y científicos. El primer elemento destacado corresponde a la composición de tamaños de la población. Se reconoce que existe gran variabilidad espacio-temporal e interanual en la composición de tamaños de merluza de cola, lo cual determina períodos con captura de peces de menor tamaño y otros de mayor tamaño, asociado con proceso reproductivos y de crecimiento (Galvez et al., 2017). Otro elemento que se destacó corresponde a la necesidad de considerar en las posibles mejoras al arte de pesca, la realidad pesquera multi-específica de la zona sur-austral, donde el esfuerzo es empleado no solo para la captura de un recurso sino por el contrario, se busca la retención de un pull de especies autorizadas (merluza de cola, merluza del sur, reineta, cojinoba azul, congrio dorado, y otras). Además, se destacó que se han realizado esfuerzos previos a este estudio para mejorar la selectividad en una parte de la flota, correspondiente al uso de paneles de escape de malla cuadrada, uso de copos con embande variable para mejorar la abertura de las mallas y uso de malla rotada (T90) en la sección del antecopo.

Para verificar si el uso de malla rotada tuvo algún efecto significativo en los tamaños de captura, se tomó como referencia la proporción de ejemplares bajo talla de interés comercial (55 cm LT; PB55). El modelo GLM seleccionado indicó que la PB55 superó el 20% de la captura anual de 2013 y 2014 cuando la nave operó con la red tradicional, posteriormente su nivel no superó el 5% de la captura anual cuando operó con la red modificada. Esto resulta interesante debido que el periodo de estudio (2013-2016) abarcó cuando el estatus del stock está diagnosticado como colapsado (Payá, 2014), cuya composición de talla del recurso reportada por la flota arrastrera hielera estuvo representada por ejemplares juveniles y adultos jóvenes (Céspedes et al., 2014). Esto puede indicar que el tipo de red utilizada por la embarcación generó efectos significativos en la PB55, inferida a través del año. No obstante, estos resultados deben tomarse con cautela, debido que la devianza explicada por el modelo fue pobre (13%). Además, se desconoce las características específicas de cada

tipo de red implementada por la nave durante sus operaciones que permitiera un análisis más preciso de sus efectos.

Este patrón de disminución interanual de la PB55 también fue observada a escala geográfica trimestral, principalmente al norte de los 44°S durante I-II y IV trimestre de 2015 y 2016. Durante el III trimestre, el incremento de tamaños promedios de los ejemplares (>60 cm LT) observado entre los 44°S y 46°S, probablemente responda a un efecto combinatorio de la mayor presencia del stock desovante adulto y la reducción de las operaciones por la veda biológica decretada a partir de 2013 y que rige en agosto de cada año (D. EX., No. 795 de 2013, MINECON).

Merluza de cola exhibe un activo patrón de comportamiento al interior de las redes de arrastre, el cual puede ser empleado para favorecer un escape activo. Sin embargo, se registró que la abertura de las mallas que constituyen antecopos y copos es altamente variable y no se percibe que sea estandarizable para la flota en su conjunto. Las redes poseen dimensiones distintas y, por lo tanto, el perímetro de la sección posterior (antecopo y copo) no necesariamente es similar. Por lo tanto, para garantizar una vía de escape siempre disponible a los peces, se propone contar con una sección de malla cuadrada entre el antecopo y el copo, que abarque la totalidad del perímetro. Esta sección puede ser instalada o retirada según el contexto de la actividad, es decir, si en alguna temporada aumenta la proporción de ejemplares pequeños será indispensable su utilización. Esta propuesta requiere ser evaluada en terreno, idealmente en un proyecto específico que permita el monitoreo de la flota durante un período de tiempo representativo, no siendo aconsejable emplear métodos de evaluación de selectividad dadas los problemas y limitaciones operacionales señaladas anteriormente.

7. CONCLUSIONES

- La experiencia internacional demuestra que la selectividad de tallas en peces de las familias Merlucciidae y Gadidae usando redes de arrastre es variable en función del tamaño de luz de malla que se utilice en su captura. Otras variables también influyen en la selectividad, como son el uso de ventanas de escape y el tipo de hilo utilizado en la construcción del copo.
- En la pesquería nacional de merluza de cola, se identifican en la actualidad no más de diez modelos de redes de arrastre, algunos corresponden a redes de fondo y otras a mediagua. De acuerdo a la consulta realizada, las redes de mediagua más usadas corresponderían a Gloria 1408, FT-2044, Halcones y Atlántica, mientras que las redes de fondo son Casanova, Tornado y Engel.
- Se determinó mediante GLM que, si bien existe variación interanual de la talla, la flota arrastrera hielera tiende a capturar ejemplares de mayor tamaño en comparación a la flota arrastrera fábrica. En lo anterior puede haber influencia no solo del arte de pesca y sus propiedades, sino también en la composición poblacional vulnerable a la captura, dependiente de la distribución espacial y temporal.
- Se estimó la selectividad teórica de mallas entre 110 y 140 mm de luz, con coeficientes de abertura entre 0,2 y 0,7, demostrándose que a un mismo tamaño de luz de malla es posible obtener longitudes de primera captura diferentes en función del coeficiente de abertura. De este modo, una malla de 120 mm de luz con un coeficiente de abertura de 0,3 proporcionaría una longitud de primera captura de 50 cm LT.
- Mediante el experimento con copo cubierto, se demostró que la red de arrastre analizada en la zona centro-sur (red Halcones) permite el escape de una fracción de los peces que ingresan a la red. El porcentaje de escape fluctuó entre 9 y 45%, con un valor promedio de 21%.
- Se ajustaron los parámetros de la ojiva de selectividad para capturas obtenidas con la red Halcones en la zona centro-sur, que posee un tamaño de luz de malla de 120 mm. En este caso, la talla de primera captura se estimó en 52,1 cm LT mientras que el factor de selectividad correspondió a 0,43. En el caso de la red Gloria 1408, se estimó un valor menor, no obstante se reconoce la existencia de problemas operacionales que incidieron en la estimación.
- La merluza de cola presenta una natación activa al interior de los copos de las redes filmadas, demostrando que posee resto suficiente para realizar intentos de escape en diversas secciones del antecopo y copo.

- Los análisis mostraron que la selectividad empírica tiene menor incidencia sobre los individuos de clases menores a 6 años para las dos flotas analizadas, respecto del patrón de explotación de la pesquería.
- Considerando la selectividad empírica para la zona centro-sur ($L50=52,1$; $RS=11,63$) y la selectividad teórica en el caso de la zona sur-austral ($L50=57,45$; $RS=4,21$), se concluye que la flota centro-sur vulnera ejemplares de menor edad respecto de la flota arrastrera sur-austral. Además, el efecto selectivo de la flota sur-austral no parece ser determinante en la respuesta poblacional de largo plazo, siendo la flota centro-sur la más influyente pues pequeños cambios en su selectividad pueden generar grandes cambios en la biomasa y rendimientos de largo plazo.
- Mediante un cambio en la configuración de las mallas del copo, específicamente usando malla rotada (años 2015 y 2016) en lugar de malla romboidal tradicional (años 2013 y 2014), se demostró una reducción en la proporción de ejemplares bajo 55 cm LT, sin embargo puede existir un efecto interanual significativo.
- Dado el comportamiento activo de la especie y la falta de estandarización en la abertura de las mallas del copo y antecopo para ofrecer una vía de escape a los ejemplares más pequeños, se concluye la necesidad de incorporar una sección de escape de malla cuadrada, de 100 mm de luz de malla, de material trenzado sin nudo, que se ubique entre el antecopo y el copo de las redes.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arana, P.M. (ed.). 2012. Recursos pesqueros del mar de Chile. Escuela de Ciencias del Mar, PUCV, Valparaíso, 308 pp.
- Bagge O. 1978. Danish mesh selection experiments with cod in the Baltic. ICES CM 1978/J:17
- Balbontín, F. 2013. Antecedentes sobre la dinámica reproductiva de merluza de cola. Documento técnico GT-M cola N°2/2013. U. de Valparaíso. 7 p.
- Bezzi, S.I. 1984. Aspectos biológicos pesqueros de la merluza de cola del Atlántico sudoccidental. Rev. Invest. Desarr. Pesq. 4: 63-80 pp.
- Bohl H. 1980. Selection of cod by bottom trawl cod-ends in the central Baltic (German experiments 1978). ICES CM 1980/B:8
- Bohl H. 1981. Selection of cod by bottom trawl cod-ends in the central Baltic (German experiments 1979 and 1980). ICES CM 1981/B:13
- Bohl H, Valencia JE. 1976. German mesh selection experiments on Baltic cod in 1974. ICES CM 1976/B:33
- Burnham, K.P. & D.R. Anderson. 2002. Model selection and multimodel inference: A practical information theoretic approach (2nd ed.). New York: Springer-Verlag.
- Canales, C. 2007. Investigación evaluación de stock y CTP regionalizada merluza de cola, 2007. Instituto de Fomento Pesquero -Subsecretaría de Pesca. 43 p.
- Céspedes, R., L. Adasme & R. San Juan. 2014. Programa de Seguimiento de las Pesquerías Demersales y Aguas Profundas, 2013. Sección V: Merluza de cola, 2013. Informe Final IFOP, 71 pp. + Anexos.
- Chong J.V., M. Aguayo, I. Payá. 2007. Estimación de la edad, crecimiento y mortalidad natural de la merluza de cola, *Macrurus magellanicus* en el Océano Pacífico Sur Oriental. Rev. Biol. Mar. Oceanogr. Vol. 42(3): 311-333.
- Ercoli, R., A. Izzo, L.A. Salvini, J.C. García, J.D. Bartozzetti & R. Roth. 1998. Investigaciones sobre selectividad de merluza de cola (*Macrurus magellanicus*) con red de arrastre de fondo. Inf. Técnico INIDEP N° 20. 13 pp.
- Fryer, R.J. 1991. A model of between-haul variation in selectivity. ICES J. Mar. Sci. 48, 281-290.
- Gálvez, M. & H. Rebolledo. 2005. Estimating codend size selectivity of bottom trawl net in Chilean hake (*Merluccius gayi gayi*) fish. Invest. Mar., Valparaíso, 33(2): 151-165.

- Gálvez, P., R. Céspedes, V. Ojeda, H. Hidalgo, L. Muñoz, R. San Juan & L. Chong. 2017. Seguimiento de las Pesquerías Demersales y Aguas Profundas 2016. Sección V: Pesquería de merluza de cola. 85 pp.
- Halliday, R.G., C.G. Cooper, P. Fanning, W.M. Hickey & P. Gagnan. 1999. Size selection of Atlantic cod, haddock and pollock (saithe) by otter trawls with square and diamond mesh codends of 130-155 mm mesh size. *Fish. Res.*, 41: 255-271.
- Ingólfsson, O., Soldal, A.V., Huse, I., 2002. Mortality and injuries of haddock, cod and saithe escaping through codend meshes and sorting grids. ICES CM 2002/V:32
- Ingólfsson, Ó. A., Soldal, A. V., Huse, I. & Breen, M. 2007. Escape mortality of cod, saithe, and haddock in a Barents Sea trawl fishery. – *ICES Journal of Marine Science*, 64: 1836–1844.
- Jones, J.B. 1993. Net damage injuries to New Zealand hoki, *Macruronus novaezelandiae*. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 27: 23 - 30.
- Lillo, S., J. Legua, V. Ojeda, R. Céspedes, L. Muñoz, H. Hidalgo, K. Hunt, A. Villalón, F. Balbontín, R. Bravo, G. Herrera, E. Molina, S. López & B. Leiva. 2017. Evaluación del stock desovante de merluza del sur, merluza de cola y merluza de tres aletas en las aguas exteriores entre la X y XII Regiones: Sección II. Merluza de cola. Informe Final IFOP, 149 pp. + Anexos.
- Lowry N, Knudsen LH, Wileman D (1995) Selectivity in Baltic cod trawls with square mesh codend windows. ICES CM 1995/B:5
- Madsen, N. 2007. Selectivity of fishing gears used in the Baltic Sea cod fishery. *Rev. Fish Biol. Fish.*, 17: 517-544.
- Melo, T., F. Hurtado, D. Cerda & D. Queirolo. 2002. Análisis del comportamiento de escape de ejemplares juveniles de merluza de cola a través de dispositivos de escape, mediante el uso de filmaciones submarinas. Informe Final. Escuela de Ciencias del Mar. Estud. Doc. N° 15/2002, 45 pp.
- Millar, R. & R. Fryer. 1999. Estimating the size-selection of towed gears, traps, nets and hooks. *Rev. Fish Biol. Fish.* 9: 89-116.
- Millar, R.B. 1994. Sampling from trawl gears used in size selectivity experiments. *ICES J. Mar. Sci.*, 51: 293–298.
- Millar, R.B., Walsh, S.J., 1992. Analysis of trawl selectivity studies with an application to trouser trawls. *Fish. Res.* 13, 205–220.
- Mituhasi T , Tokai T , Ercoli R , Garcia JC , Salvini L , Bartozzetti J , Roth R. 2000. Estimating codend selectivity and fish escapement from a cover net of an insufficiently small mesh size. *Fish Sci*, Vol.66 ; pp.327-333

- Netzel J, Zaucha J. 1989. Investigation results of cod trawls' codend selectivity. ICES CM 1989/B:54
- Niklitschek, E.J., D.H. Secor, P. Toledo, X. Valenzuela, L. Cubillos & A. Zuleta. 2014. Nursery systems for Patagonian grenadier off Western Patagonia: large inner sea or narrow continental shelf?. ICES Journal of Marine Science, 71(2), 374–390. doi:10.1093/icesjms/fst129.
- Olofsson J, Otterlind G (1978) Swedish mesh selection experiments on Baltic cod in 1977 and 1978. ICES CM 1978/B:2
- Payá, I. 2014. Investigación del estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables en merluza de cola, 2014. Informe Final IFOP, 249 pp. + Anexos.
- Payá, I, 2017. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales al año 2017. Merluza de Cola, 2017. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP). 230 p
- Queirolo, D., M. Ahumada, C.F. Hurtado, M.C. Soriguer & K. Erzini. 2012. The effects of subsampling and between-haul variation on the size-selectivity estimation of Chilean hake (*Merluccius gayi gayi*). Lat. Am. J. Aquat. Res., 40(2): 345-357.
- Queirolo, D., T. Melo, C. Hurtado, I. Montenegro, E. Gaete, J. Merino, V. Zamora & R. Escobar. 2008b. Efecto del uso de paneles de escape de malla cuadrada sobre la reducción de peces juveniles en la pesquería de arrastre de merluza común (*Merluccius gayi gayi*). Lat. Am. J. Aquat. Res., 36(1): 25-35.
- Queirolo, D., V. Zamora, C. Hurtado, I. Montenegro, T. Melo, J. Merino, E. Gaete & R. Escobar. 2008a. Caracterización de agregaciones de merluza de cola (*Macruronus magellanicus*) en la zona centro-sur de Chile. Lat. Am. J. Aquat. Res., 36(2): 259-269.
- Shevtsov SE. 1981. Selectivity of the bottom trawl codends with 100 and 110 mm mesh size used for the Baltic cod fishery. ICES CM 1981/B:7
- Strzyzewski W, Szymanski W, Zdziebkowski G (1973) Investigations on the selectivity of Baltic cod and flounder carried out in 1972/1973. ICES CM 1973/F:25
- Subsecretaría de Pesca (Subpesca). 2006. Cuota global anual de captura 2006 en las unidades de pesquería de merluza de cola (*Macruronus magellanicus*) y otras medidas de administración. Inf. Tec. (R.Pesq.) N° 19, Subsecretaría de Pesca, Valparaíso. 43 p.
- Subsecretaría de Pesca (Subpesca). 2011. Cuota Global Anual de Captura para las Unidades de Pesquería de merluza de cola (*Macruronus magellanicus*), año 2012. Informe Técnico (R. Pesq.) N° 112.
- Suuronen, P. 2005. Mortality of fish escaping trawl gears. FAO Fish. Tech. Pap. 478, 72 pp. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- Suuronen, P., Lehtonen, E., Jounela, P. 2005. Escape mortality of trawl caught Baltic cod (*Gadus morhua*): The effect of water temperature, fish size and codend catch. Fisheries Research 71 (2): 151-163.
- Suuronen, P., Lehtonen, E., Tschernij, V. & Larsson, P-O. 1996a. Skin injury and mortality of Baltic cod escaping from two codends equipped with exit windows. Arch. Fish. Mar. Res., 44: 165-178.
- Suuronen, P., Perez-Comas, J.A., Lehtonen, E. & Tschernij, V. 1996b. Size-related mortality of herring (*Clupea harengus* L.) escaping through a rigid sorting grid and trawl codend meshes. ICES J. Mar. Sci., 53: 691-700.
- Tschernij V, Larsson P-O, Suuronen P, Holst R (1996) Swedish trials in the Baltic Sea to improve selectivity in demersal trawls. ICES CM 1996/B:25
- Wienbeck H, & E. Dahm. 2000. New ways for an improvement of the selectivity of trawl codends in the Baltic cod fishery. Medd. Havsfiskelab. Lysekil, 329:80-93
- Wilcoxon, F. 1945. Individual Comparisons by Ranking Methods. Biometrics 1, 80-83.
- Wileman, D.A., R.S.T. Ferro, R. Fonteyne & R.B. Millar. 1996. Manual of methods of measuring the selectivity of towed fishing gears. ICES Coop. Res., 215: 126 pp.
- Young, Z., J. Chong, H. Robotham, P. Gálvez & H. González. 1998. Análisis de la pesquería de merluza de cola en la zona sur-austral. Informe Final FIP 96-37 IFOP, 193 pp. + Anexos.

ANEXOS

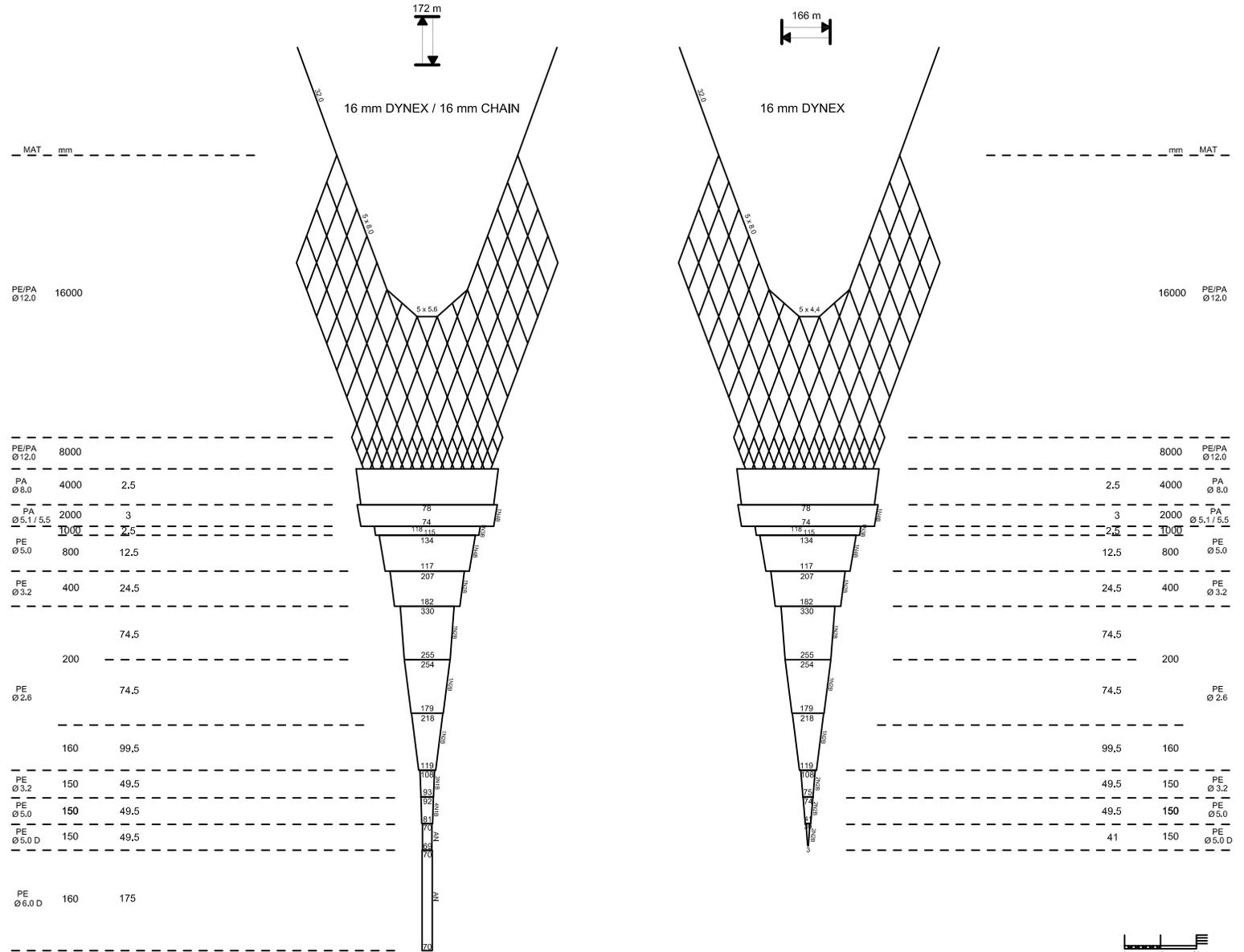
Anexo I. Planos de redes de arrastre

MIDWATER TRAWL GLORIA 704
midwater, otter
Southern and central Chile

RED DE ARRASTRE MEDIAGUA GLORIA 704
de medlagua, con puertas
Zona centro sur, Chile

REFERENCIA
Escuela de Ciencias del Mar
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Valparaíso, Chile

VESSEL EMBARCACIÓN
Loa Et 80 m
hp Cv 2600 hp

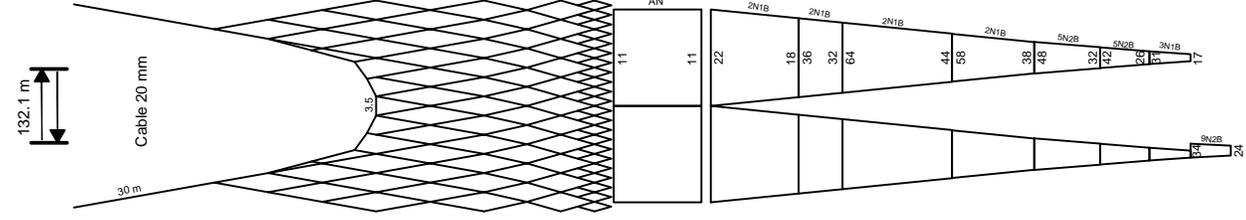
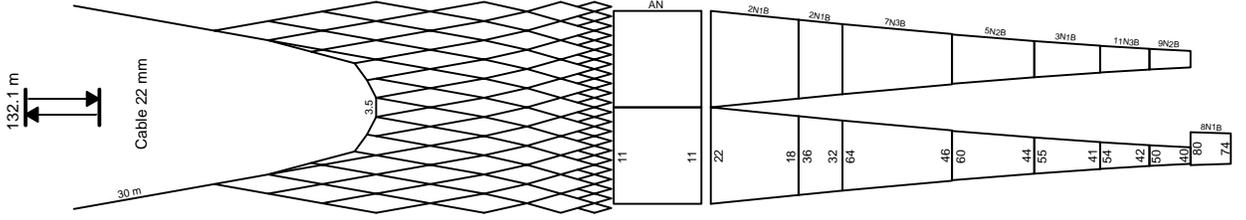


MIDWATER TRAWL
 FT-2044
 midwater otter
 Southern and central Chile

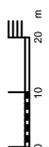
RED DE ARRASTRE MEDIAGUA
 FT-2044
 de medlagua con puercas
 Zona centro sur, Chile

REFERENCIA
 Escuela de Ciencias del Mar
 Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
 Valparaíso, Chile

VESSEL EMBARCACIÓN
 Loa Et 80 m
 hp Cv 2600 hp



MAT	mm	MAT	mm
PE/PA	20000	PE/PA	20000
Ø16.0		Ø16.0	
PE/PA	20000	PE/PA	20000
Ø14.0		Ø14.0	
PE/PA	16000	PE/PA	16000
Ø14.0		Ø14.0	
PA	12800	PA	12800
Ø12.0		Ø12.0	
PA	6400	PA	6400
Ø10.0		Ø10.0	
PA	3200	PA	3200
8.0 Ø		8.0 Ø	
PE	1600	PE	1600
Ø5.0		Ø5.0	
PE	800	PE	800
Ø3.2		Ø3.2	
400		400	
300		300	
240		240	
180		180	
150		150	
PE	150	PE	150
Ø5.0 D		Ø5.0 D	



MIDWATER TRAWL

ATLANTICA
midwater, otter
Southern and central Chile

RED DE ARRASTRE MEDIAGUA

ATLANTICA
de mediegua, con puertas
Zona centro sur, Chile

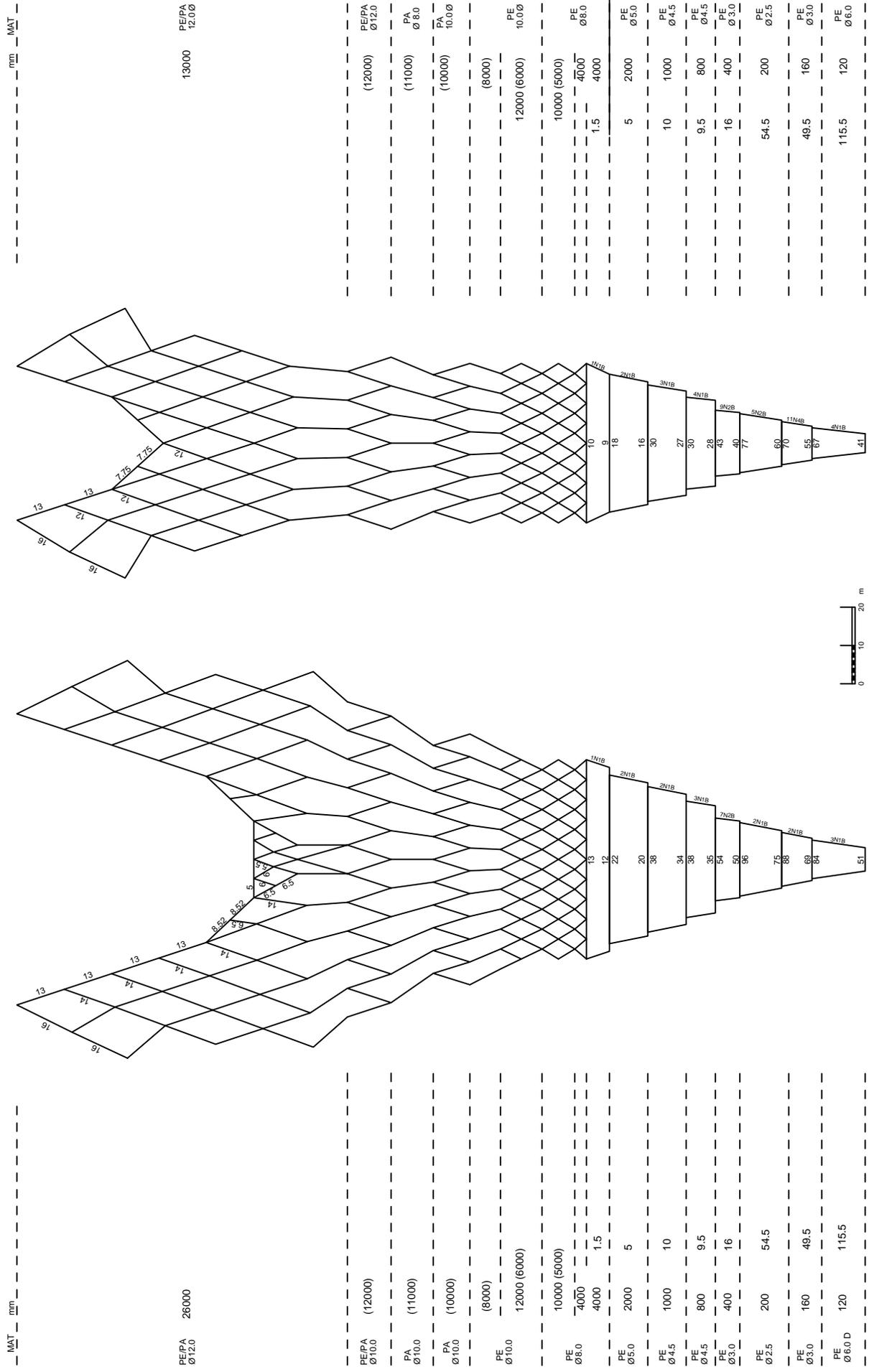
REFERENCIA

Laboratorio de Tecnología Pesquera (TECPES)
Escuela de Ciencias del Mar
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Valparaíso, Chile

VESSEL
Loa
hp

EMBARCACIÓN
Et
Cv

80 m
2600 hp



MIDWATER TRAWL

HALCONES
midwater otter
Southern and central Chile

RED DE ARRASTRE MEDIAGUA

HALCONES
de medagua, con puntas
Zona centro sur, Chile

REFERENCIA

Laboratorio de Tecnología Pesquera (TECPES)
Escuela de Ciencias del Mar
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Valparaíso, Chile

VESSEL
Loa
hp

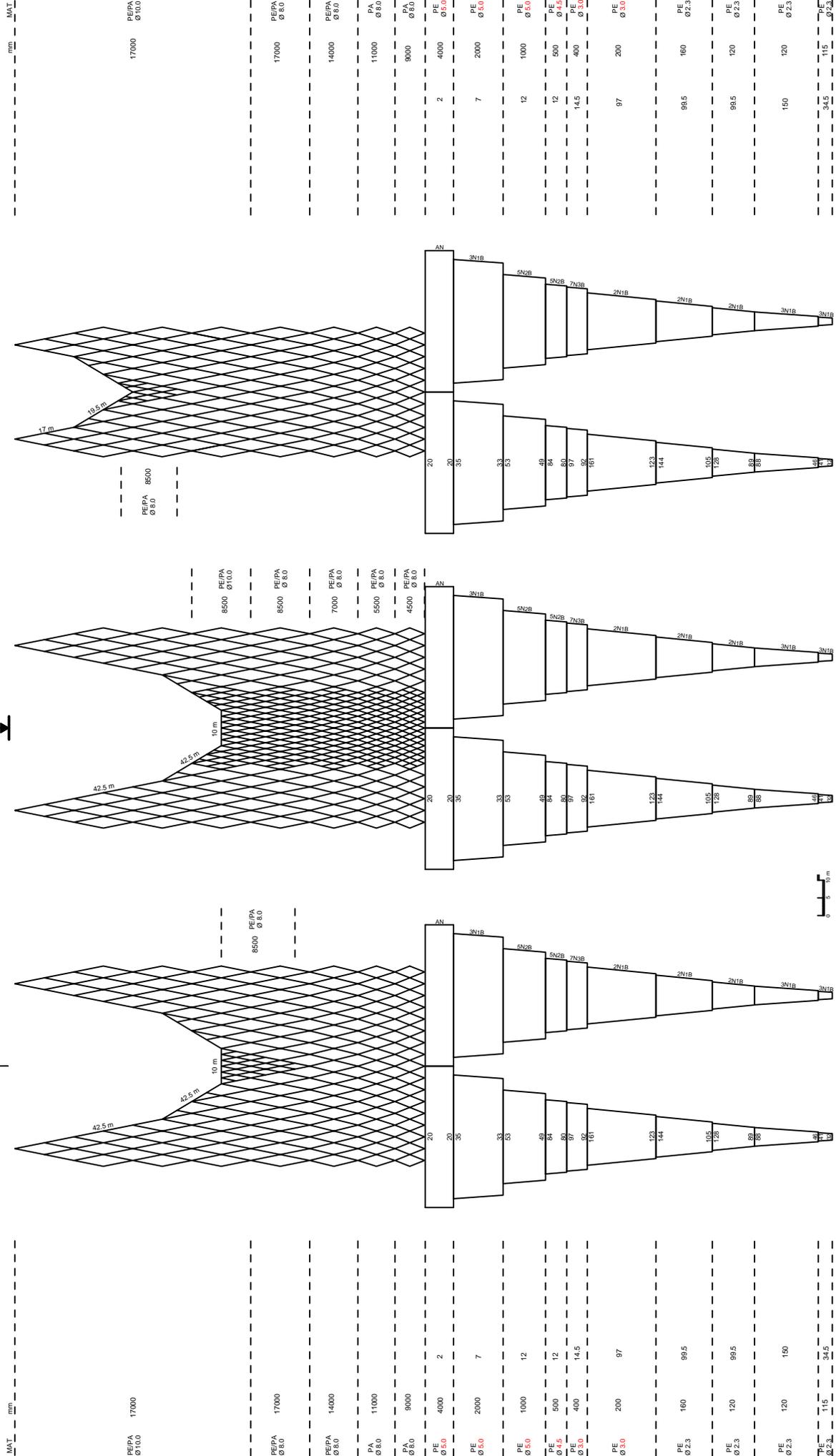
EMBARCACIÓN
Et
Cv

45-50 m
2200-2500 hp

180 m

180 m

73 m



PEPA Ø 10.0	17000
PEPA Ø 8.0	17000
PEPA Ø 6.0	14000
PA Ø 8.0	11000
PA Ø 6.0	9000
PE Ø 5.0	4000
PE Ø 5.0	2000
PE Ø 5.0	1000
PE Ø 4.5	500
PE Ø 3.0	400
PE Ø 3.0	200
PE Ø 2.3	160
PE Ø 2.3	120
PE Ø 2.3	120
PE Ø 2.3	115

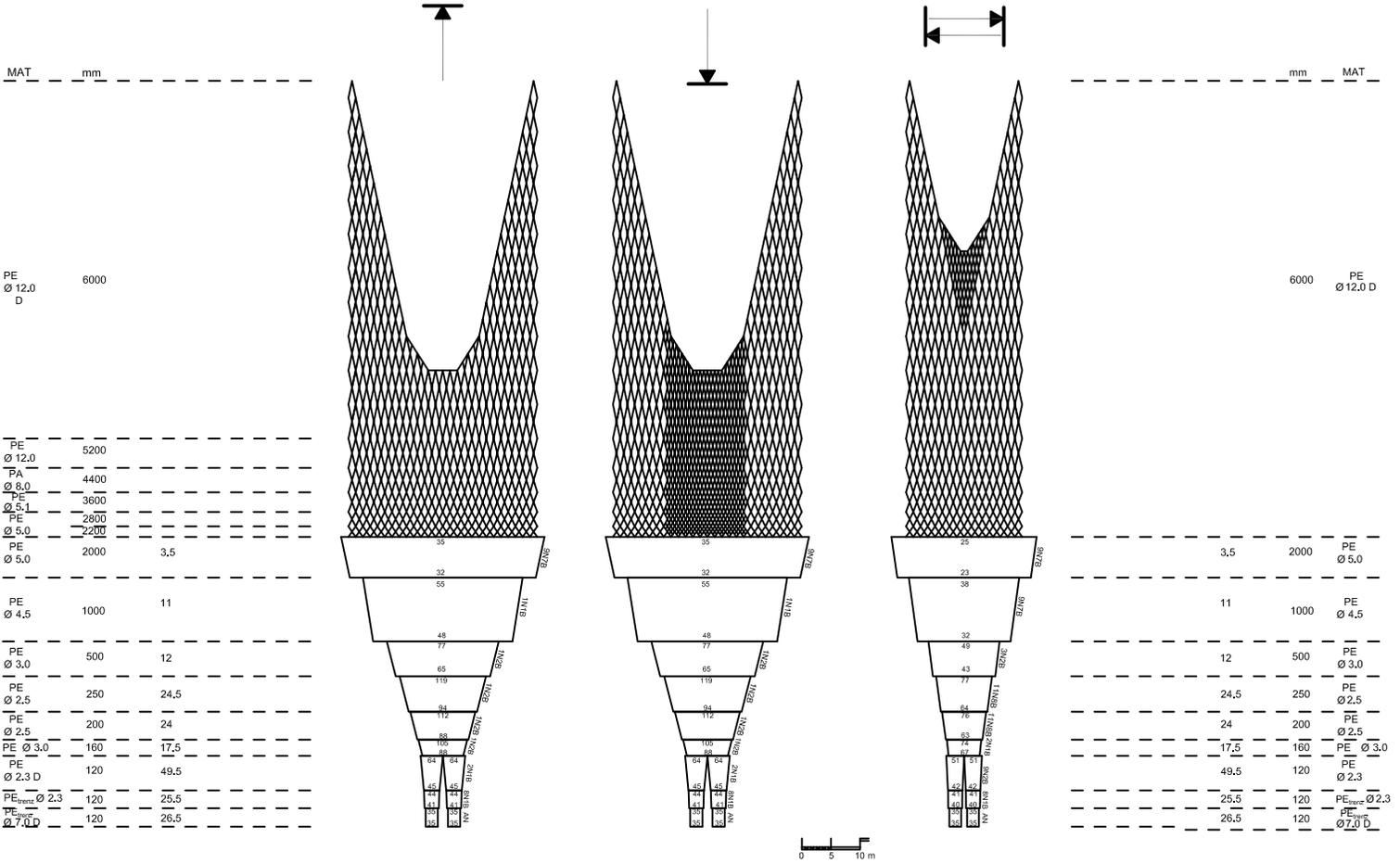
PEPA Ø 10.0	17000
PEPA Ø 8.0	17000
PEPA Ø 6.0	14000
PA Ø 8.0	11000
PA Ø 6.0	9000
PE Ø 5.0	4000
PE Ø 5.0	2000
PE Ø 5.0	1000
PE Ø 4.5	500
PE Ø 3.0	400
PE Ø 3.0	200
PE Ø 2.3	160
PE Ø 2.3	120
PE Ø 2.3	120
PE Ø 2.3	115

MIDWATER TRAWL TORNADO
midwater, otter
Southern and central Chile

RED DE ARRASTRE MEDIAGUA TORNADO
de mediagua, con puertas
Zona centro sur, Chile

REFERENCIA
Escuela de Ciencias del Mar
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Valparaíso, Chile

VESSEL **EMBARCACIÓN**
Loa Et 80 m
hp Cv 2600 hp



BOTTOM TRAWL
 ENGEL (BONN; POLARIS)
 bottom, center
 central Chile

RED DE ARRASTRE DE FONDO
 ENGEL (BONN; POLARIS)
 de fondo, con puertas
 Zona centro, Chile

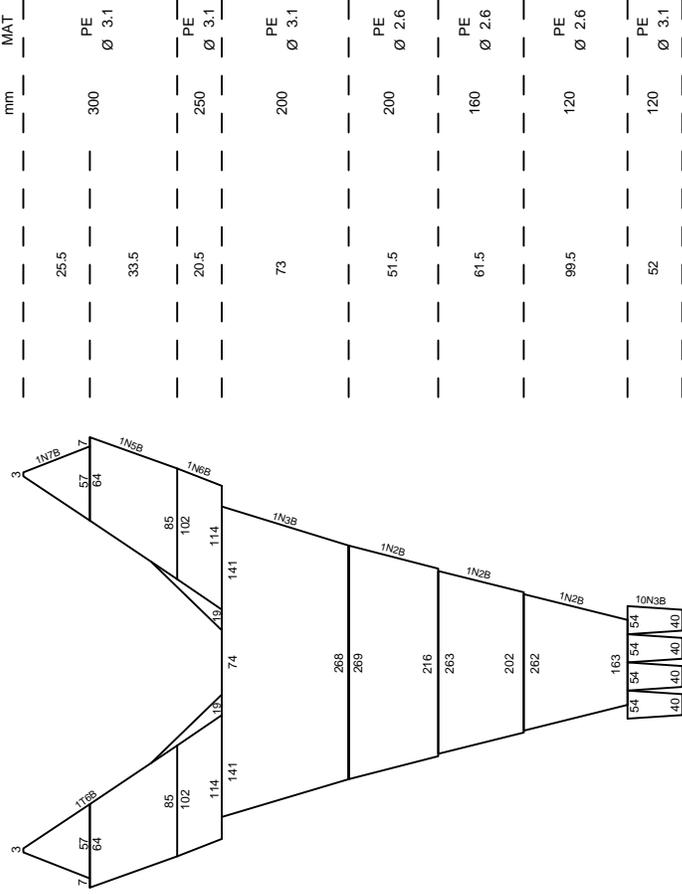
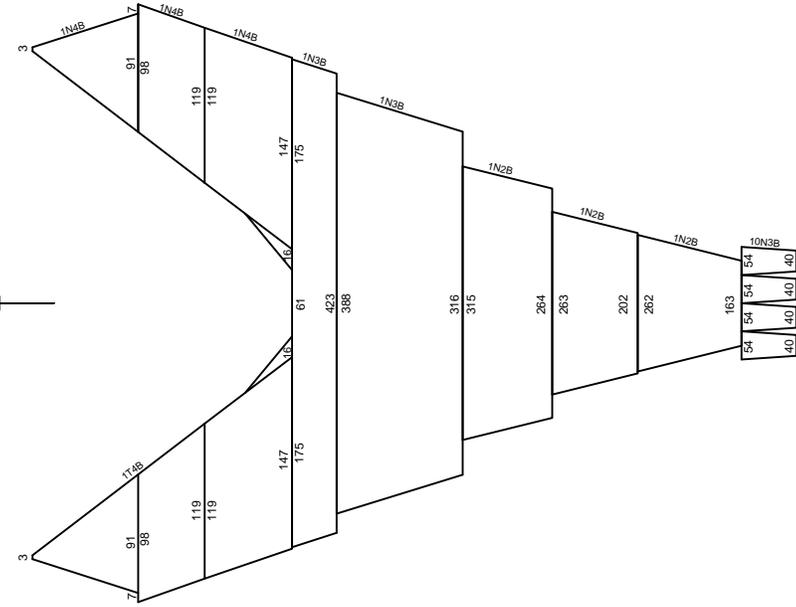
REFERENCIA
 Laboratorio de Tecnología Pesquera (TECPES)
 Escuela de Ciencias del Mar
 Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
 Valparaíso, Chile

VESSEL EMBARCACIÓN
 Loa 45 - 50 m
 Et Cv 2200 - 2500 hp

50.7 m

36.8 m

MAT	mm
PE	300
Ø 3.1	40.5
PE	250
Ø 3.1	58
PE	200
Ø 2.6-2.1	51.5
PE	160
Ø 2.6	61.5
PE	120
Ø 2.6	99.5
PE	120
Ø 3.1	52



Anexo II. Planos de copos de redes de arrastre

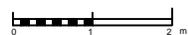
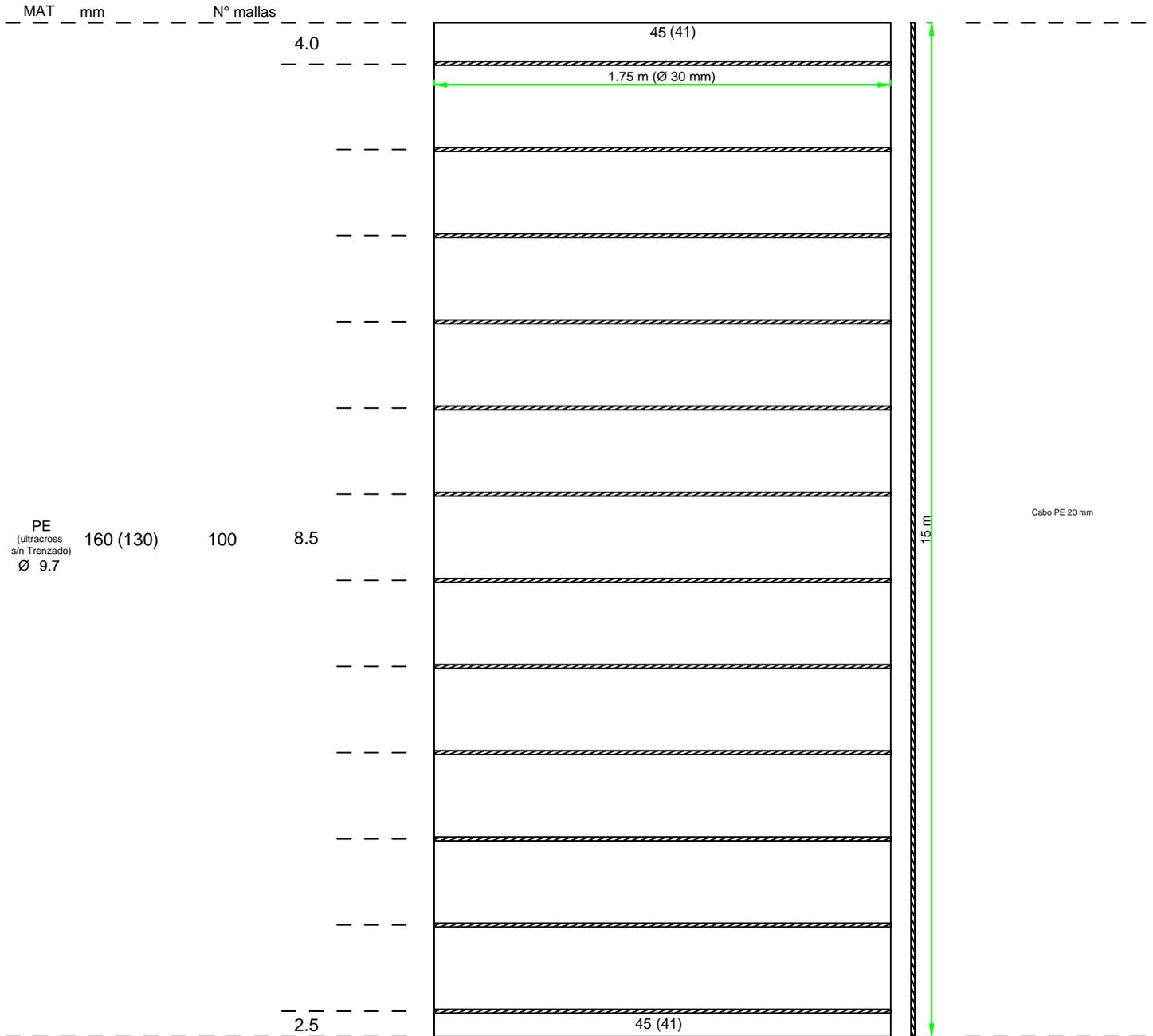
CODEND BOTTOM TRAWL
 GLORIA 1408 (FRIOSUR)
 midwater, otter
 Southern and central Chile

COPO RED DE ARRASTRE DE FONDO
 GLORIA 1408 (FRIOSUR)
 de medlagua, con puertas
 Zona centro sur, Chile

REFERENCIA
 Laboratorio de Tecnología Pesquera (TECPES)
 Escuela de Ciencias del Mar
 Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
 Valparaíso, Chile

VESSEL	EMBARCACIÓN	
Loa	Et	40-50 m
hp	Cv	2200-2500 hp

(RED 4 PANELES)



EXPERIMENTAL CODEND BOTTOM TRAWL
 GLORIA 1408 (FRIO-SUR X)
 midwater, otter
 Southern and central Chile

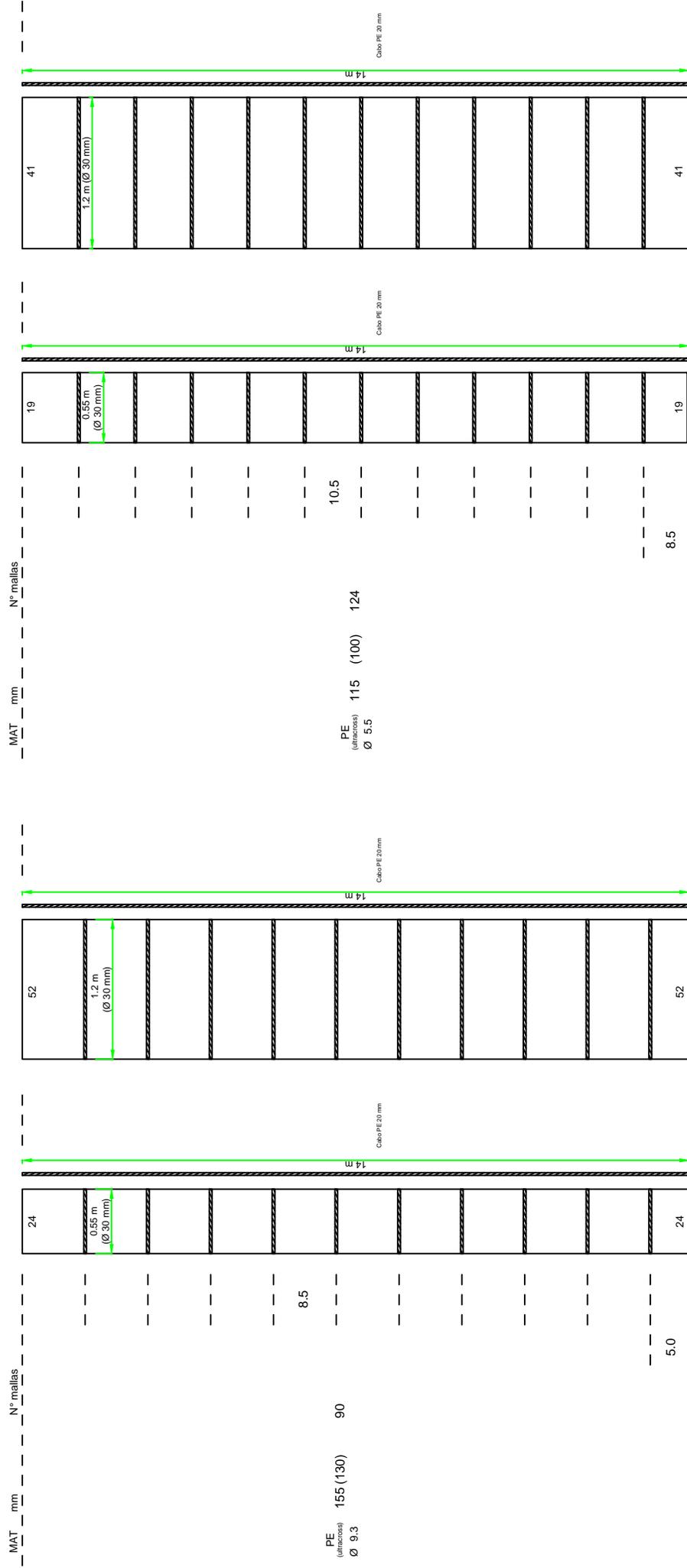
COPO EXPERIMENTAL RED DE ARRASTRE DE FONDO
 GLORIA 1408 (FRIO-SUR X)
 de mediatuga, con puertas
 Zona centro sur, Chile

REFERENCIA
 Laboratorio de Tecnología Pesquera (TECPES)
 Escuela de Ciencias del Mar
 Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
 Valparaíso, Chile

VESSEL EMBARCACIÓN
 Loa Et
 hp Cv

40-50 m
 2200-2500 hp

(COPO TIPO PANTALON)



CODEND MIDWATER TRAWL
 FT-2044
 midwater, otter
 Southern and central Chile

COPO RED DE ARRASTRE DE MEDIAGUA
 FT-2044
 de mediagua, con puertas
 Zona centro sur, Chile

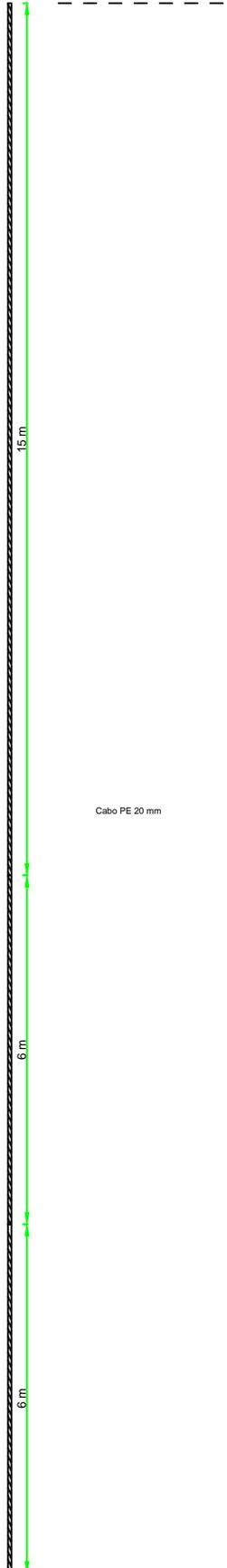
REFERENCIA
 Laboratorio de Tecnología Pesquera (TECPES)
 Escuela de Ciencias del Mar
 Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
 Valparaíso, Chile

VESSEL	EMBARCACIÓN	
Loa	Et	90 m
hp	Cv	5000 hp

MAT	mm	N° mallas
		100
		7.0
		2.0
		2.0
		40
		7.0
		3.0
		2.0
		40
		7.0
		3.0

PE
 (Trenzado c./mudo)
 Ø 8.0

150 (132.5)



Cabo PE 20 mm

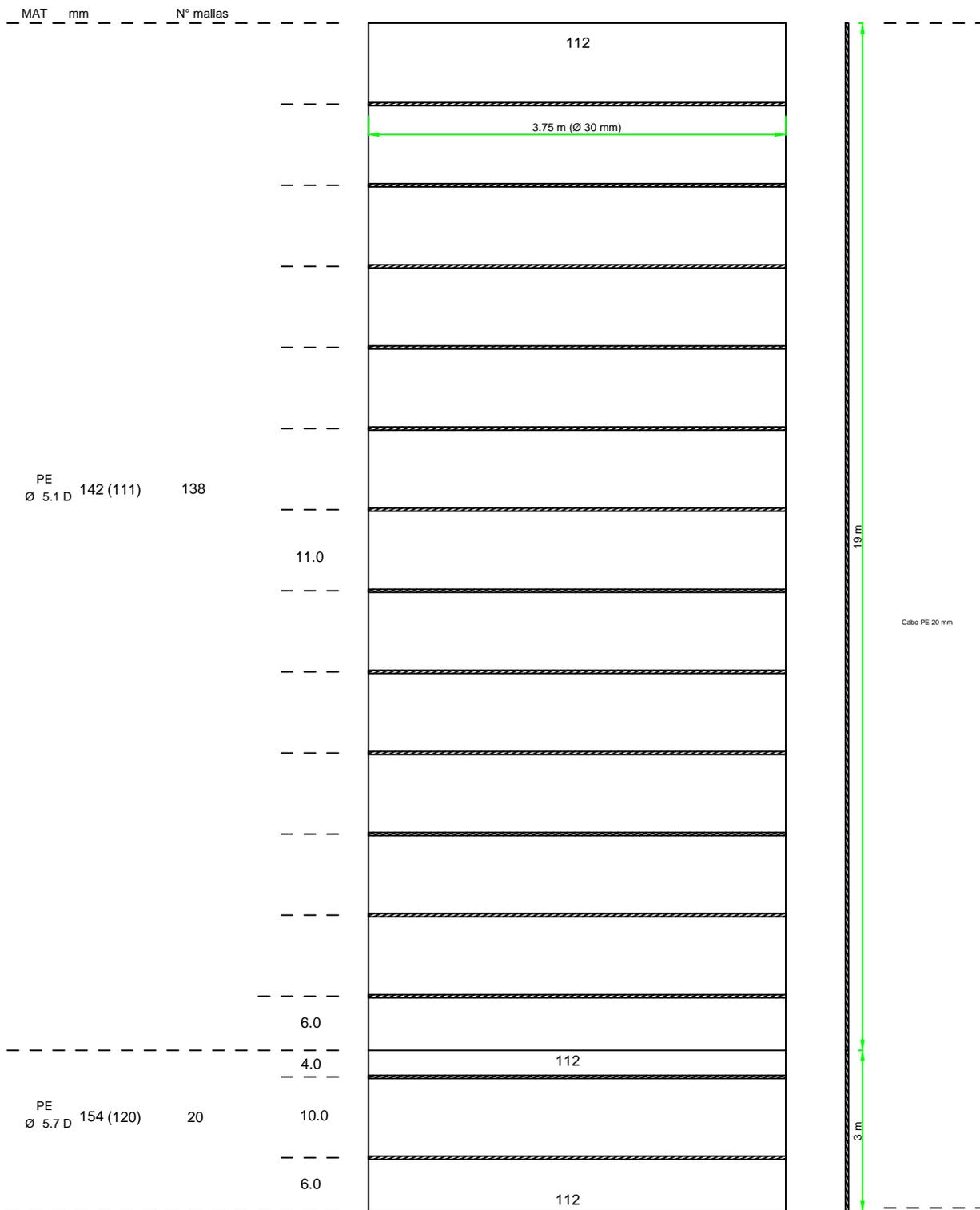


CODEND MIDWATER TRAWL
 HALCONES
 midwater, otter
 Southern and central Chile

COPO RED DE ARRASTRE MEDIAGUA
 HALCONES
 de mediagua, con puertas
 Zona centro sur, Chile

REFERENCIA
 Laboratorio de Tecnología Pesquera (TECPES)
 Escuela de Ciencias del Mar
 Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
 Valparaíso, Chile

VESSEL	EMBARCACIÓN	
Loa	Et	45-50 m
hp	Cv	2200-2500 hp



CODEND BOTTOM TRAWL
 ENGEL (BONN; POLARIS)
 TORNADO (BONN; POLARIS)
 bottom, otter
 central Chile

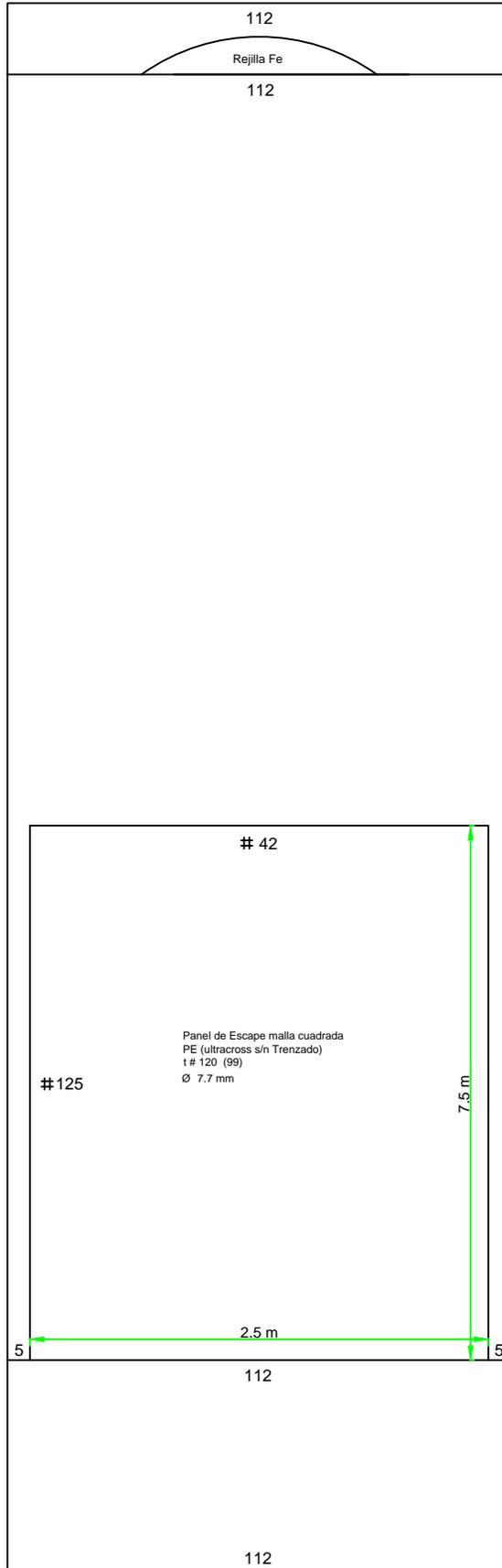
COPO RED DE ARRASTRE DE FONDO
 ENGEL (BONN; POLARIS)
 TORNADO (BONN; POLARIS)
 de fondo, con puertas
 Zona centro, Chile

REFERENCIA
 Laboratorio de Tecnología Pesquera (TECPES)
 Escuela de Ciencias del Mar
 Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
 Valparaíso, Chile

VESSEL	EMBARCACIÓN	
Loa	Et	45 - 50 m
hp	Cv	2200 - 2500 hp

MAT mm

 10



PE
 Ø 7.0 126 (105) 169

Cabo PE 20 mm

PE
 Ø 5.5 D 122 (104) 24
 Ø 4.0 D



Anexo III. Simulación de un copo modificado para un experimento de arrastre pantalón (trouser trawl).

1.- Descripción del modelo de red de arrastre

La red de arrastre de media agua simulada comprende un copo doble de $2 \times 0,98 \times 8,9$ m cada uno (Figura 1), unidos verticalmente en su parte central (Figura 2). El copo en su totalidad fue dividido en el “copo 1” que tiene una malla con 41% de solidez y “copo 2” con una solidez que varía entre 30 y 50%.

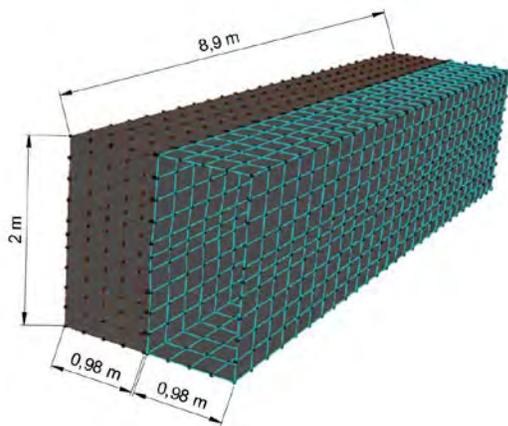
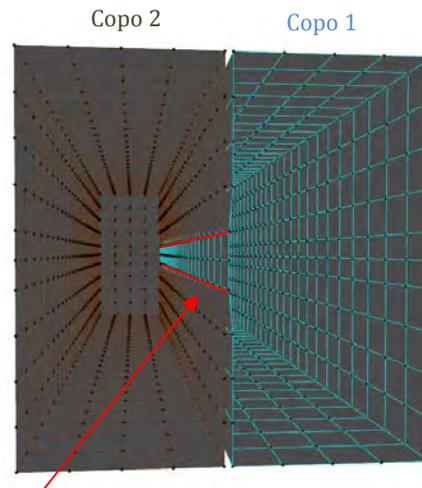


Figura 1. Dimensiones copo



Cabo de unión entre secciones de copo

Figura 2. Cabo de unión del copo

En la parte anterior se simuló un antecopo de $2 \times 2 \times 8,9$ m (Figura 3) y una red de 18 m de largo y que se abre con un ángulo de 20° (Figura 4) con el objetivo de simular parte los paños que abren la red.

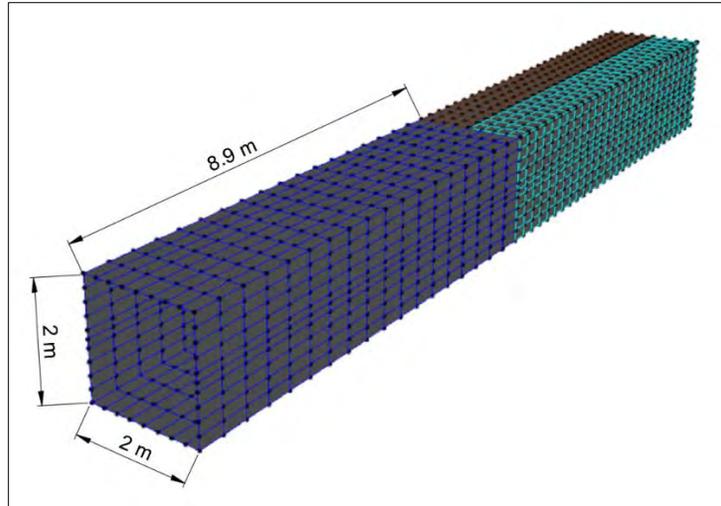


Figura 3. Dimensiones del antecopo

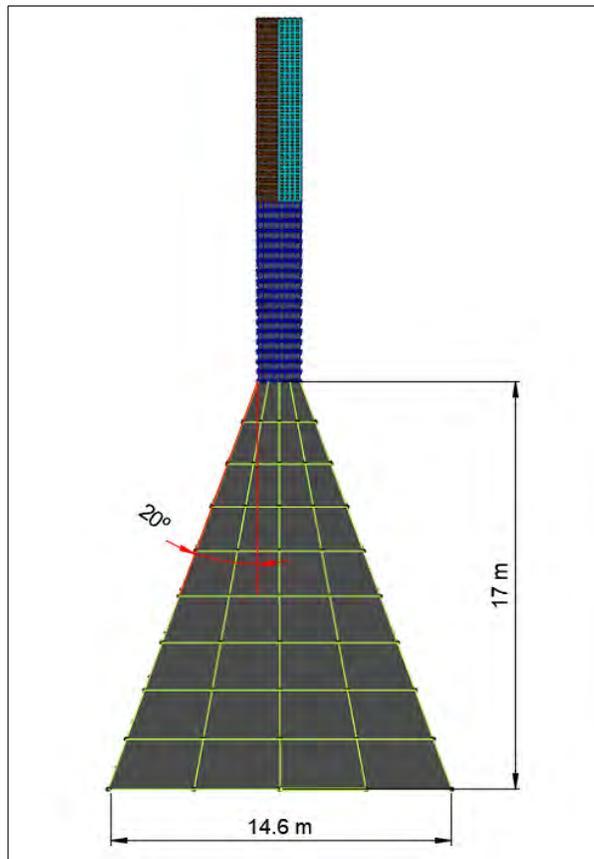


Figura 4. Red de arrastre simulada completa

Adicionalmente se consideró en el modelo un conjunto de cabos estructurales de polipropileno de 10 mm de diámetro (Figura 5). Cada uno de los cabos donde evaluó la tensión fue identificado según se muestra en la Figura 6.

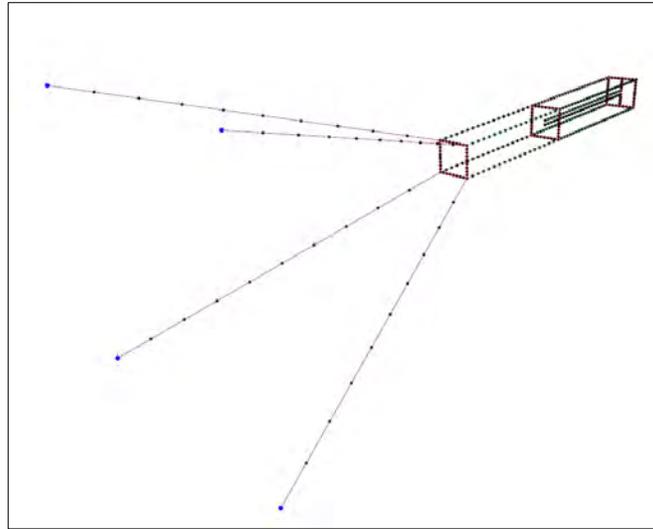


Figura 5. Cabos estructurales de la red

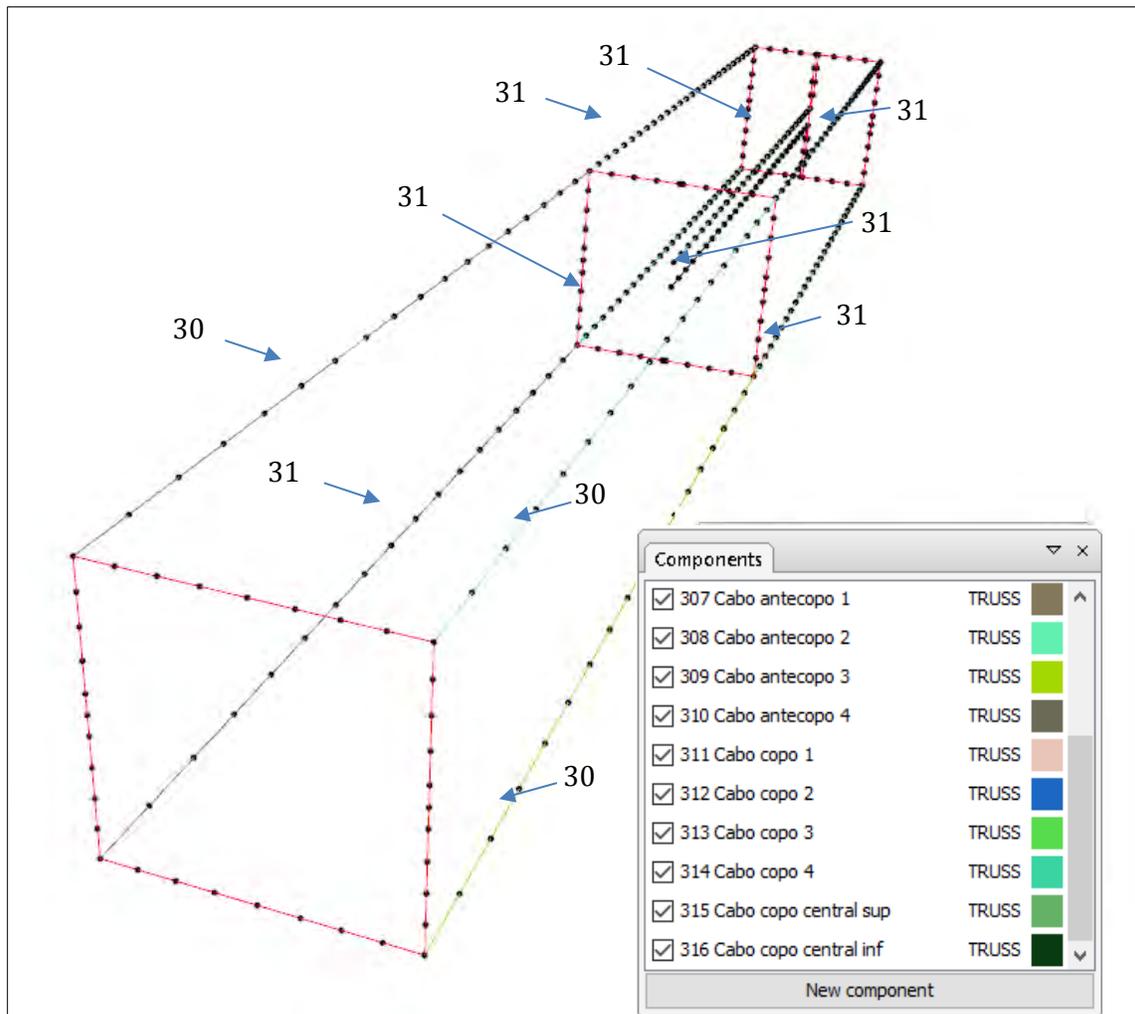


Figura 6. Identificación de los cabos del copo y antecopo.

Adicionalmente se registraron los desplazamientos del copo en su parte central (a los 4.45 m). En cada copo (1 y 2) se registró el desplazamiento vertical (señalado como en el eje Z) y horizontal (señalado como eje Y) en el paño superior, inferior y laterales (Figura 7 y Figura 8).

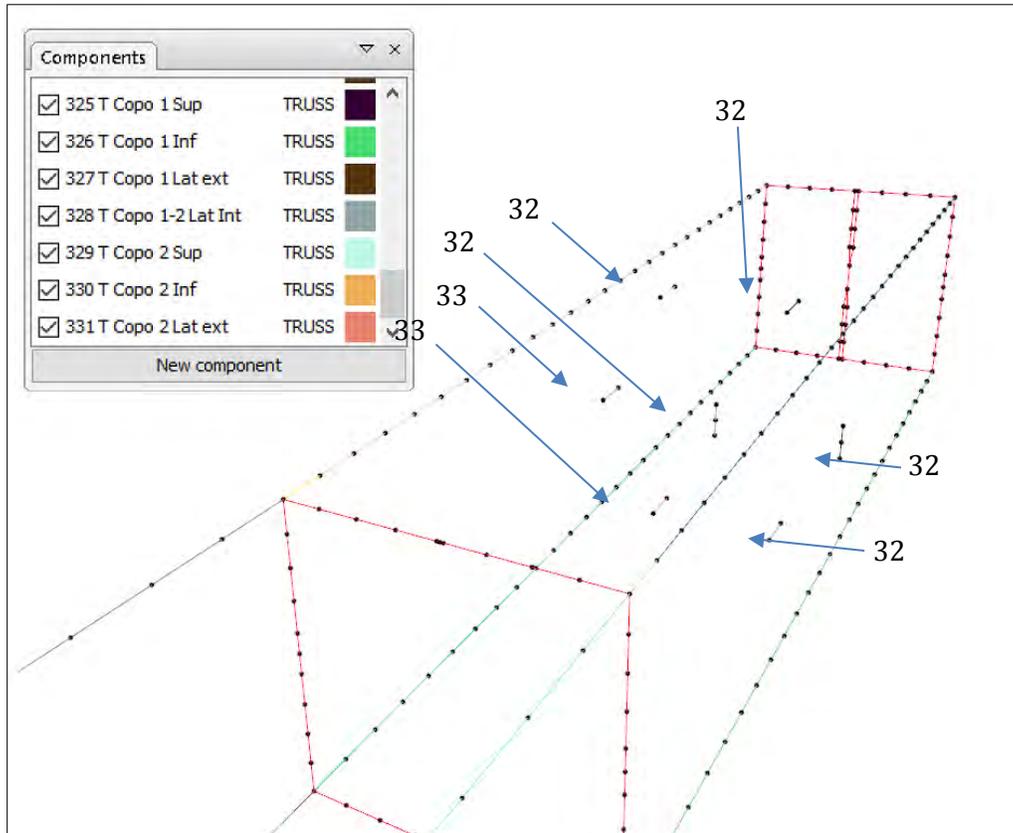


Figura 7. Puntos de registro de desplazamiento

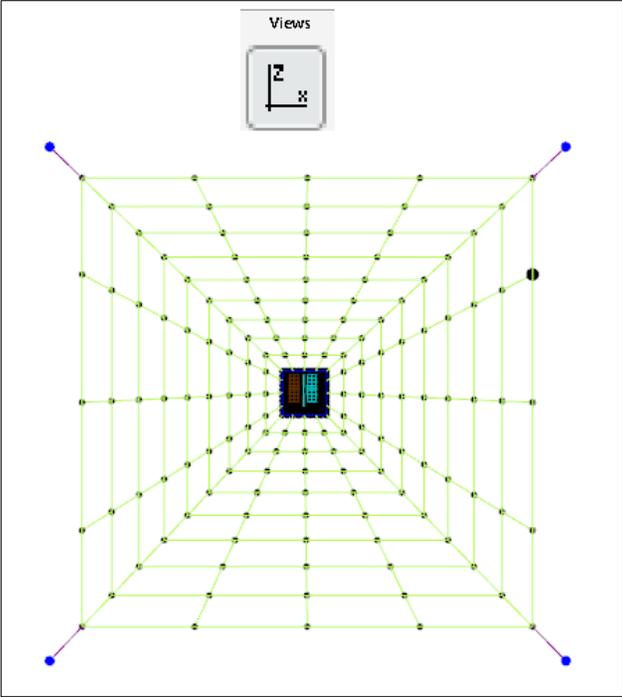


Figura 8. Ejes de referencia

2.- Características de los materiales

Las características de los componentes de la red simulada se observan en la Tabla 1. Todos los modelos fueron evaluados con una velocidad de arrastre de 3 kn.

Tabla 1. Características de los componentes de la red en cada modelo

Modelo	Cabos estructurales	Red anterior	Antecopo	Copo 1	Copo 2
1					PP_Sn 30%
2					PP_Sn 35%
3					PP_Sn 38%
4	PP ϕ 10 mm	PP_Sn 10%	PP_Sn 47%	PP_Sn 41%	PP_Sn 41%
5					PP_Sn 45%
6					PP_Sn 50%

PP: Polipropileno; Sn: Solidez

3.- Resultados

3.1- Tensiones en los cabos estructurales

Las tensiones en los cabos estructurales oscilaron entre 0,1 y 2,5 kg observándose los máximos en los cabos del antecopo. Mientras que las diferencias entre las tensiones de los cabos del copo 1 y copo 2 son mayores cuando los niveles de solidez entre ambos copos son máximas en el rango evaluado; Caso: Sn 41% y 30%; Caso Sn 41% y 50% (Tabla 2).

Tabla 2. Tensiones en cabos del copo y ante copo

Tensión (kgf)	Sn 41 y 30%	Sn 41 y 35%	Sn 41 y 38%	Sn 41 y 41%	Sn 41 y 45%	Sn 41 y 50%
Cabo Copo 1	0.1	0.5	0.6	0.3	0.4	0.5
Cabo Copo 2	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.1
Cabo Copo 3	0.7	0.3	0.3	0.6	0.5	0.7
Cabo Copo 4	0.9	0.7	0.4	0.6	0.5	0.3
Cabo Antecopo1	1.0	1.1	2.1	1.3	1.4	2.3
Cabo Antecopo2	1.9	1.2	1.7	1.8	1.9	1.3
Cabo Antecopo3	2.4	1.7	1.7	2.2	2.2	2.5
Cabo Antecopo 4	2.3	2.4	1.8	2.3	2.0	2.1

3.2- Desplazamientos en los ejes Z, X de la red de arrastre en el copo

El desplazamiento registrado en eje Z y X se puede observar en las tablas Tabla 3 y

Tabla 4 donde se puede apreciar que el desplazamiento en el eje x (horizontal) el copo tiende a desplazarse hacia el costado donde la red cuenta con una mayor solidez. Adicionalmente en la Figura 9 y Figura 10 se puede observar el desplazamiento en la simulación de Sn 41% y 50% y Sn 41% y 30% respectivamente.

Tabla 3. Desplazamientos en el eje Z de la red de arrastre en el copo

Desplazamiento (m)	Sn 41 y 30%	Sn 41 y 35%	Sn 41 y 38%	Sn 41 y 41%	Sn 41 y 45%	Sn 41 y 50%
T copo 1 Sup	-0.15	-0.25	-0.18	-0.22	-0.17	-0.17
T copo 1 Inf	0.65	0.53	0.58	0.63	0.58	0.64
T copo 1 Lat Ext	0.30	0.29	0.27	0.25	0.25	0.30
T copo1-2 Lat Int	0.40	0.28	0.30	0.37	0.38	0.42
T copo 2 Sup	0.74	-0.44	-0.24	-0.23	-0.10	0.74
T copo 2 Inf	0.62	0.57	0.57	0.60	0.60	0.67
T copo 2 Lat Ext	0.04	0.16	0.27	0.23	0.35	0.47

Tabla 4. Desplazamientos en el eje X de la red de arrastre en el copo

Desplazamiento (m)	Sn 41 y 30%	Sn 41 y 35%	Sn 41 y 38%	Sn 41 y 41%	Sn 41 y 45%	Sn 41 y 50%
T copo 1 Sup	0.13	-0.02	0.02	-0.46	-0.18	-0.15
T copo 1 Inf	0.16	0.06	0.03	-0.07	-0.26	-0.27
T copo 1 Lat Ext	-0.28	-0.39	-0.44	-0.53	-0.73	-0.62
T copo1-2 Lat Int	0.25	0.17	0.15	0.02	-0.15	-0.16
T copo 2 Sup	0.31	0.13	0.28	0.03	-0.02	-0.14
T copo 2 Inf	0.44	0.24	0.26	0.12	-0.05	-0.09
T copo 2 Lat Ext	0.64	0.55	0.74	0.49	0.44	0.42

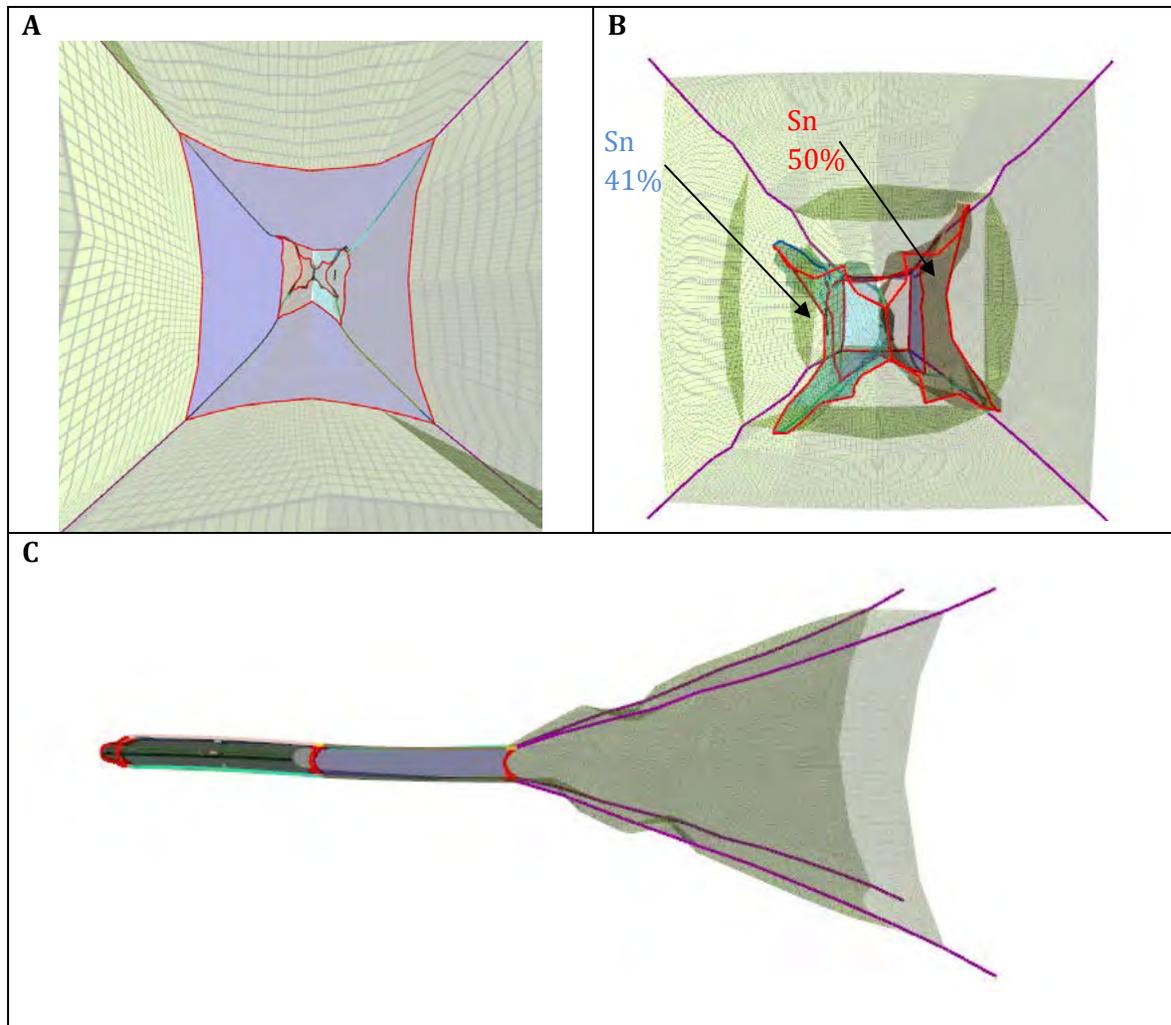


Figura 9. Imágenes de red expuesta a 3 kn de arrastre. Sn 41% y 50%. A: Vista frontal; B: Vista Lateral; C: Vista Trasera

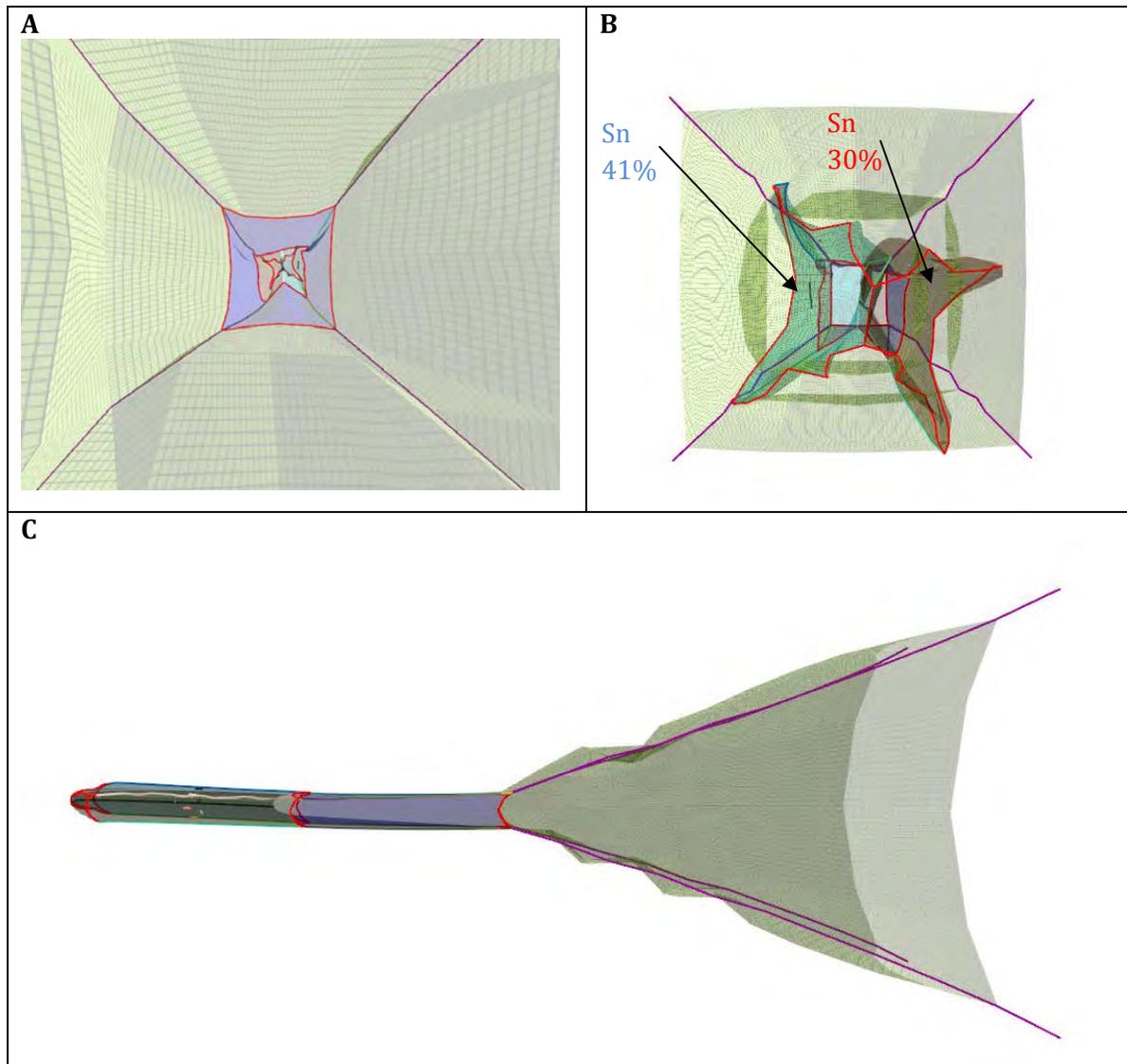
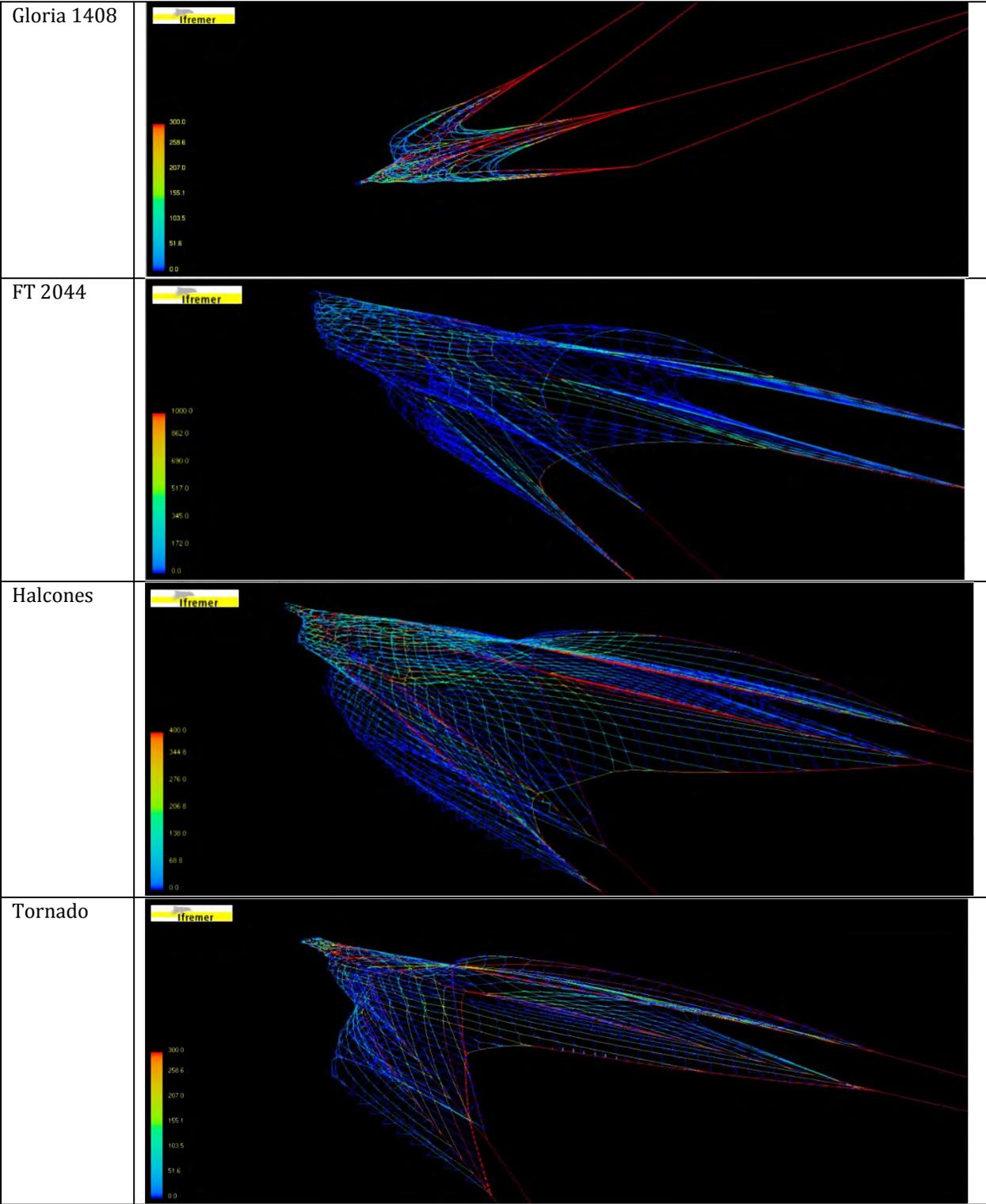


Figura 10. Imágenes de red expuesta a 3 kn de arrastre. Sn 41% y 30 %. A: Vista frontal; B: Vista Lateral; C: Vista Trasera

Anexo IV. Simulación redes de arrastre



Anexo V. Análisis exploratorios y diagnóstico del modelo seleccionado en GLM

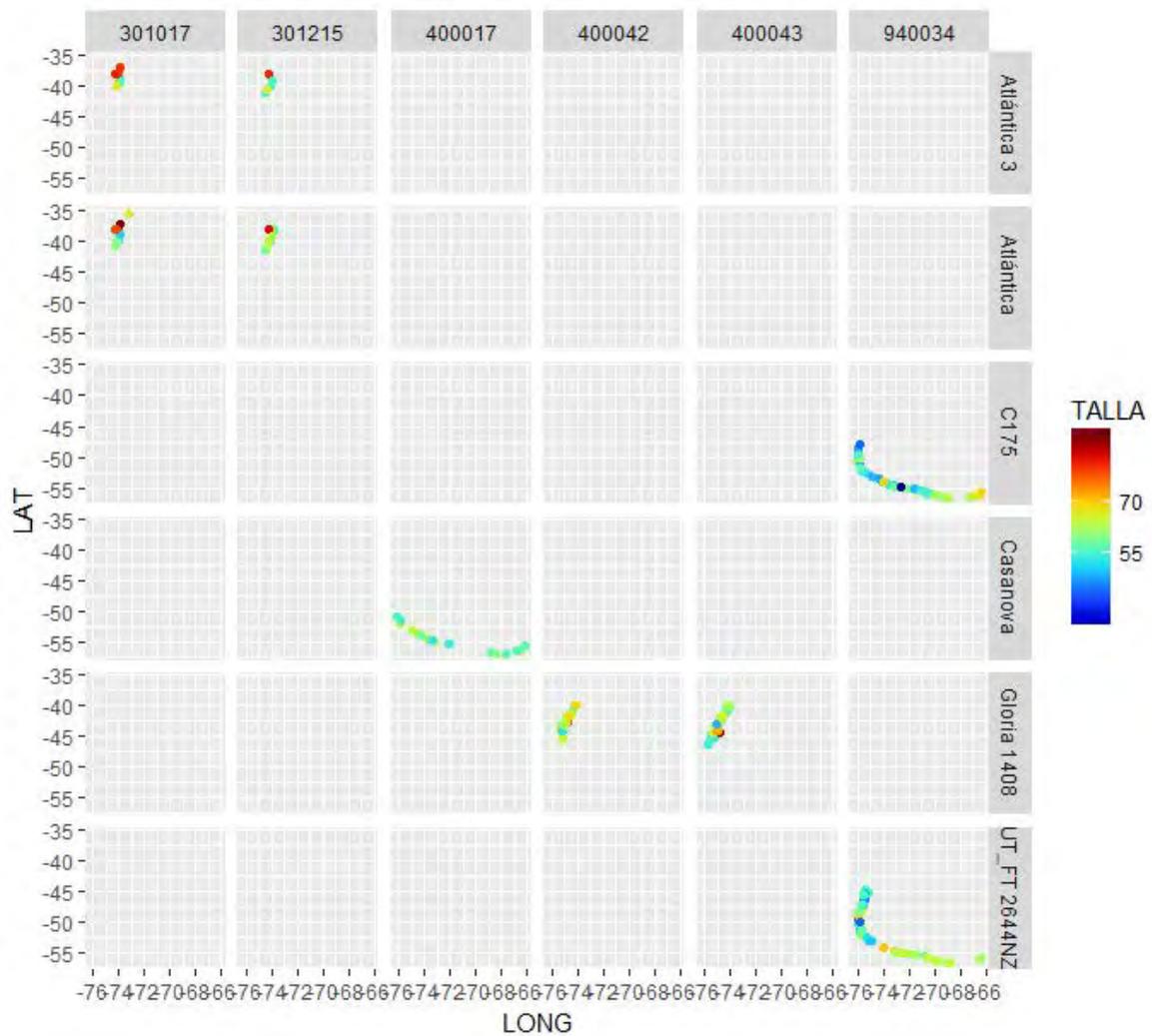


Figura 1. Distribución geográfica de las tallas capturadas observadas de merluza de cola por nave y tipo de red, periodo 2014-2016.

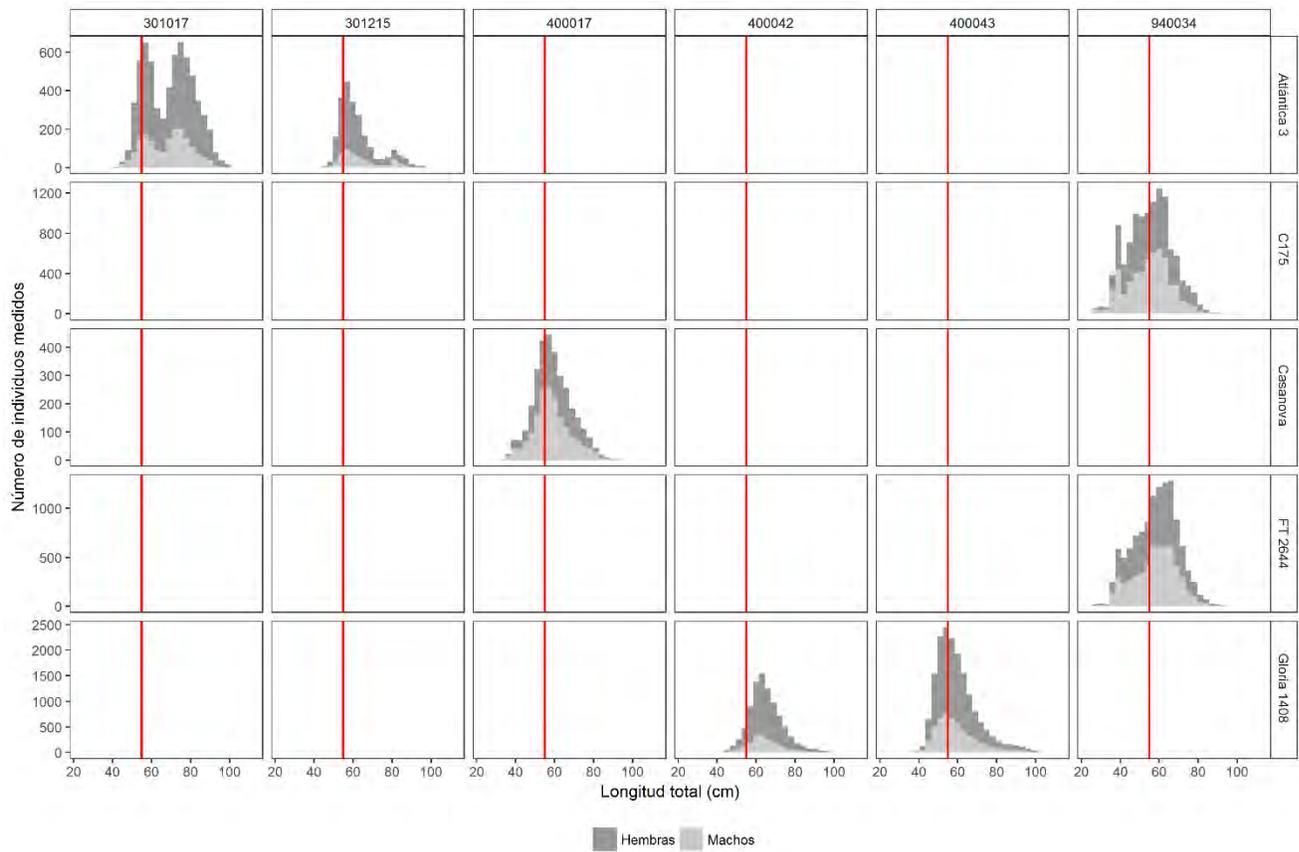


Figura 2. Composición de tallas por sexo de merluza de cola capturada por nave y tipo de red, periodo 2014-2016. Línea roja corresponde la talla media de madurez sexual de 55 cm LT estimada para las hembras (Young et al., 1998).

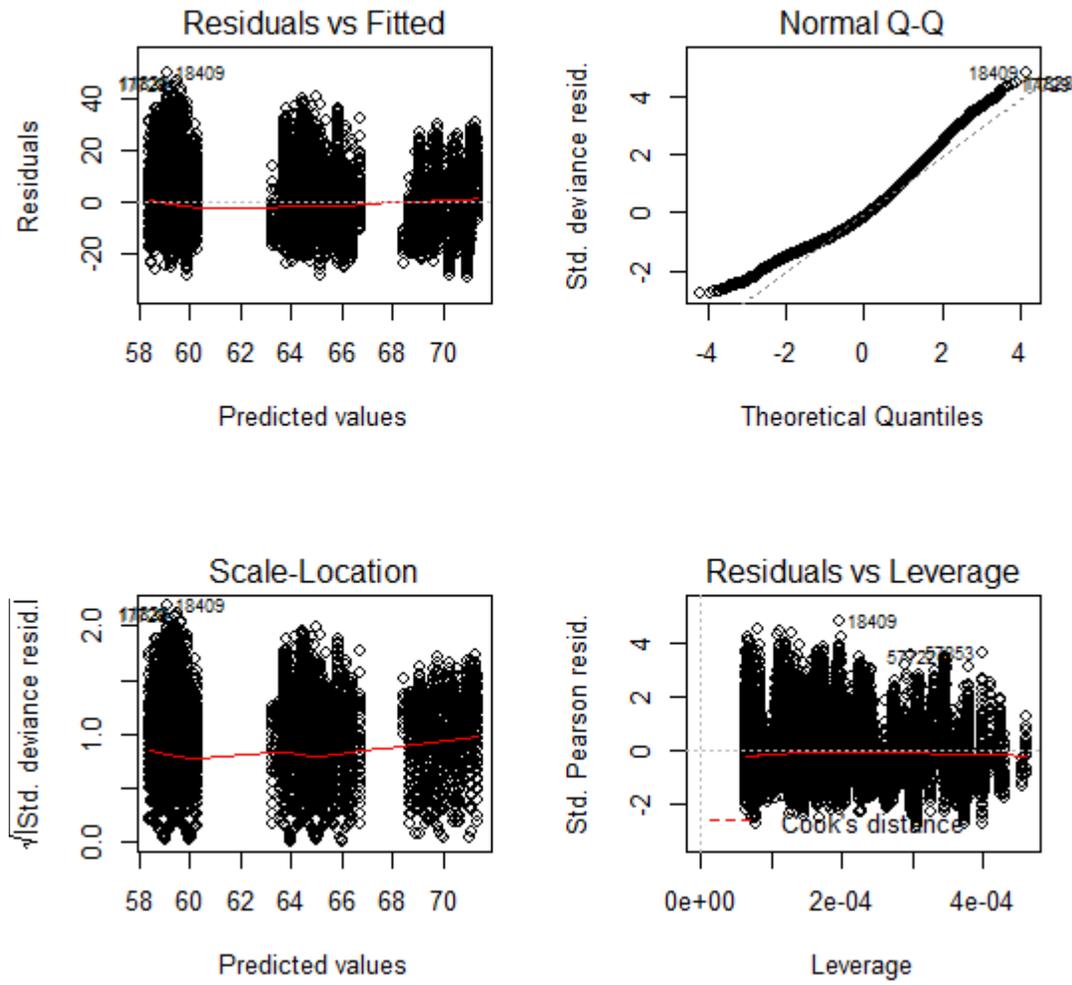


Figura 3. Validación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de residuos del modelo seleccionado para las naves arrastreras hieleras que operaron al norte de 45°S.

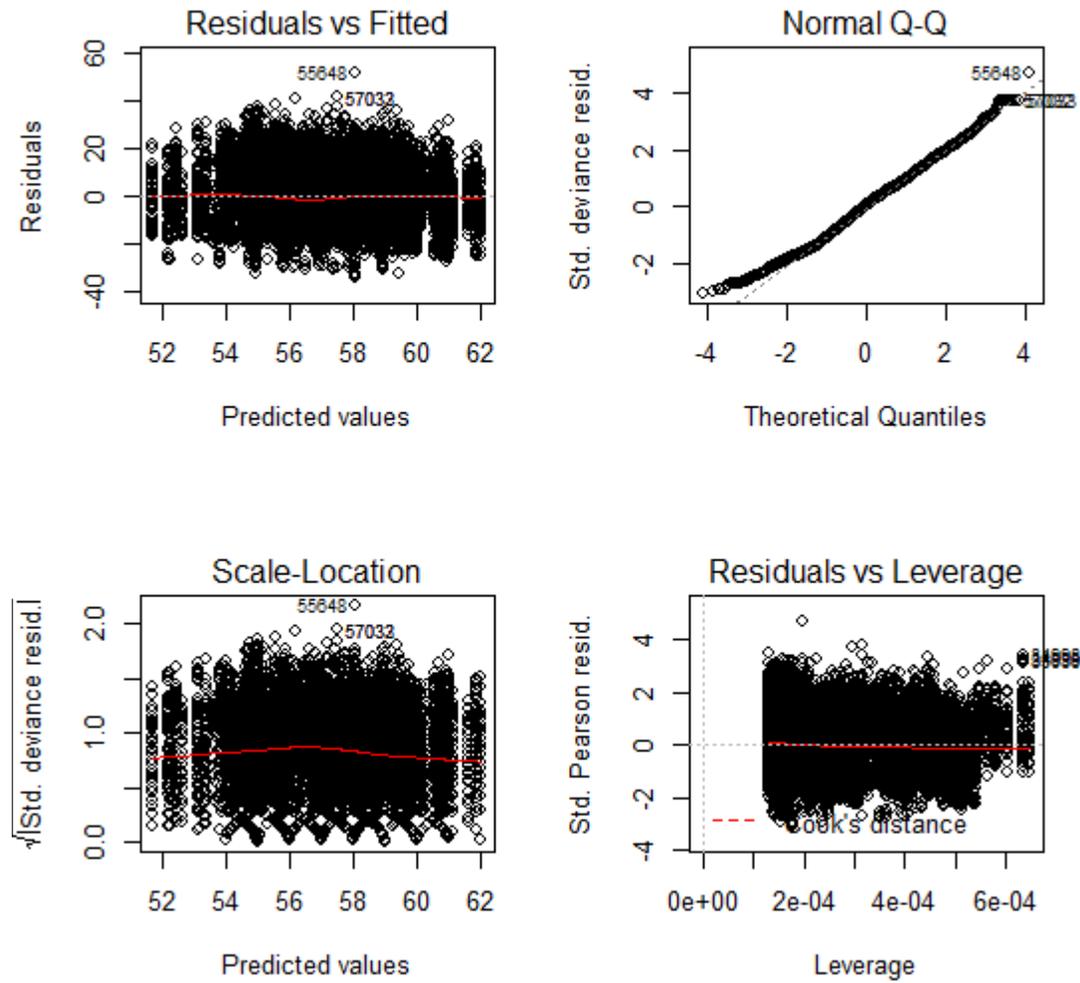


Figura 4. Validación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de residuos del modelo seleccionado para las naves arrastreras fábricas que operaron al sur de 45°S.

Anexo VI. Personal participante por actividad

Nombre	Actividades	Horas Hombre												Total
		M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9	M 10	M 11	M 12	
Dante Queirolo	Act. grales + Informes	20	10			10	20	10			20		20	110
	Objetivo 1	10	20	20									50	
	Objetivo 2		10	10	20	20							60	
	Objetivo 3												0	
	Objetivo 4							20	30	30			80	
		30	40	30	20	30	20	30	30	30	20	0	20	300
Cristian Canales	Act. grales + Informes	10	10			10	20	10			20		10	90
	Objetivo 1												0	
	Objetivo 2												0	
	Objetivo 3					70	70	70					210	
	Objetivo 4												0	
		10	10	0	0	80	90	80	0	0	20	0	10	300
Mauricio Ahumada	Act. grales + Informes	10					20			30	10		10	80
	Objetivo 1												0	
	Objetivo 2		20	30	30	30							110	
	Objetivo 3												0	
	Objetivo 4								20	20	20		60	
		10	20	30	30	30	20	20	20	50	10	0	10	250
Pedro Apablaza	Act. grales + Informes	10					20			20	10		10	70
	Objetivo 1	30	30	30									90	
	Objetivo 2		20	20	20	20							80	
	Objetivo 3												0	
	Objetivo 4								20	20	20		60	
		40	50	50	20	20	20	20	20	40	10	0	10	300
Nicolás Adasme	Act. grales + Informes						20				20		10	50
	Objetivo 1												0	
	Objetivo 2												0	
	Objetivo 3					50	50	50					150	
	Objetivo 4												0	
		0	0	0	0	50	70	50	0	0	20	0	10	200
Nazareth Sánchez	Act. grales + Informes						20				20		10	50
	Objetivo 1												0	
	Objetivo 2												0	
	Objetivo 3					50	50	50					150	
	Objetivo 4												0	
		0	0	0	0	50	70	50	0	0	20	0	10	200
José Merino	Act. grales + Informes	10					20			20	10		10	70
	Objetivo 1	30	30	30									90	
	Objetivo 2		20	20	20	20							80	
	Objetivo 3												0	
	Objetivo 4								20	20	20		60	
		40	50	50	20	20	20	20	20	40	10	0	10	300

Nombre	Actividades	Horas Hombre												Total
		M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9	M 10	M 11	M 12	
Víctor Zamora	Act. grales + Informes						20				10		10	40
	Objetivo 1	100	100	100										300
	Objetivo 2		10	10	20	20								60
	Objetivo 3													0
	Objetivo 4													0
		100	110	110	20	20	20	0	0	0	10	0	10	400
Roberto Escobar	Act. grales + Informes													0
	Objetivo 1	20	20	20										60
	Objetivo 2			60	60	60								180
	Objetivo 3													0
	Objetivo 4							60	60	40				160
		20	20	80	60	60	0	60	60	40	0	0	0	400
René Riffo	Act. grales + Informes													0
	Objetivo 1													0
	Objetivo 2		60	60	60	60								240
	Objetivo 3													0
	Objetivo 4							60	60	40				160
		0	60	60	60	60	0	60	60	40	0	0	0	400
Rodolfo Muñoz	Act. grales + Informes													0
	Objetivo 1													0
	Objetivo 2		60	60	60	60								240
	Objetivo 3													0
	Objetivo 4							60	60	40				160
		0	60	60	60	60	0	60	60	40	0	0	0	400
Técnicos (3) muestreo	Act. grales + Informes													0
	Objetivo 1													0
	Objetivo 2		160	180	180	180								700
	Objetivo 3													0
	Objetivo 4							180	180	140				500
		0	160	180	180	180	0	180	180	140	0	0	0	1200
Digitación	Act. grales + Informes													0
	Objetivo 1	30	30	30										90
	Objetivo 2		60	60	80	80								280
	Objetivo 3													0
	Objetivo 4							80	80	70				230
		30	90	90	80	80	0	80	80	70	0	0	0	600

Anexo VII. Viajes de pesca y lances realizados por embarcación durante el estudio

a) Zona centro-sur

Nave	Marea	Fecha del lance	Lances
BONN	1	02/03/2018	2
		03/03/2018	3
		04/03/2018	1
	2	07/03/2018	3
		08/03/2018	2
	3	11/03/2018	2
		12/03/2018	1
		14/03/2018	3
	4	04/04/2018	1
		05/04/2018	3
		06/04/2018	3
	5	17/05/2018	1
		18/05/2018	1
	6	24/05/2018	1
7		12/06/2018	2
		13/06/2018	3
POLARIS II	1	08/12/2017	2
		11/12/2017	1
	2	12/12/2017	1

b) Zona sur-austral

Nave	Marea	Fecha del lance	Lances
FRIOSUR VIII	1	21/11/2017	1
		23/11/2017	1
		25/11/2017	2
		26/11/2017	2
		27/11/2017	3
		28/11/2017	1
FRIOSUR X	1	08/09/2018	1
	2	12/09/2018	1
	3	20/09/2018	2
	4	25/09/2018	1
	5	29/09/2018	2
UNZEN	1	28/03/2018	1
		05/04/2018	1
		15/04/2018	1
		16/04/2018	1
		19/04/2018	1
		20/04/2018	2
		21/04/2018	2
		22/04/2018	1
		23/04/2018	1
		24/04/2018	2
		25/04/2018	2
		26/04/2018	2
		27/04/2018	3
		29/04/2018	1
		30/04/2018	2
		01/05/2018	2
		02/05/2018	1
		03/05/2018	1
		04/05/2018	2
		05/05/2018	2
		06/05/2018	2
		07/05/2018	2
		08/05/2018	2
		09/05/2018	2
10/05/2018	1		
11/05/2018	1		
12/05/2018	1		

Anexo VIII. Taller de Difusión de Resultados (FIPA N° 2017-51)

Fecha : 21 de Enero de 2019

Lugar : Salón Con-Con, Hotel Diego de Almagro - Valparaíso

Programa

14:30-14:40	Bienvenida y presentación del taller	
14:40-15:10	Artes de pesca y selectividad de tamaños en la pesquería de merluza de cola	Dante Queirolo PUCV
15:10-15:40	Relación entre selectividad y conservación del recurso	Cristian Canales PUCV
15:40-16:00	Coffee Break	
16:00-16:20	Comportamiento de merluza de cola al interior de redes de arrastre	Pedro Apablaza PUCV
16:20-16:40	Primeras evidencias de daños asociados al proceso de escape en merluzas	Mauricio Ahumada PUCV
16:40-17:00	Alternativas para mejorar la selectividad de tamaños en la pesquería	Dante Queirolo PUCV
17:00-17:30	Preguntas finales y cierre del taller	

LISTA DE ASISTENCIA

Taller de Difusión de Resultados
Proyectos
FIPA N° 2017-47 y FIPA N° 2017-51



Nombre	Organización	Firma
AURORA BUENO C	SubPesc	[Firma]
Jorge Fariar A.	SSPA	[Firma]
Catalina Román	IFOP	[Firma]
Manuel San Martín B.	IFOP	[Firma]
José María J.	PUCV	[Firma]
Agnaldo Zúñiga V.	INPERCA	[Firma]
Christina Calder	PUCV	[Firma]
MANUEL TORRES	SKORPION	[Firma]
ANTONIO DE JENEFIS R.	Sao Bartolomé	[Firma]
Vicktor P Valdés	Z/M TIO GARCÍA	[Firma]
ENZO NORDIO	ENFERMAR	[Firma]
Agustín Placón NORDIO	ENFERMAR	[Firma]
Monique Sepúlveda	U. Valparaíso	[Firma]
Antonio Cordova	Pesq. Antofagasta	[Firma]
Alex Cis Machado	Pacifico W	[Firma]
Freddy Fernández Herrera	Pacifico W	[Firma]
Pascual Hernández A.	Pesq. Antofagasta	[Firma]
CARLOS HERRERA M.	Pesq. Antofagasta	[Firma]

LISTA DE ASISTENCIA

Taller de Difusión de Resultados
Proyectos
FIPA N° 2017-47 y FIPA N° 2017-51



Nombre	Organización	Firma
Maximiliano Montecinos	FRIOSUR	
Luis COCAS	SSPA	
DARWIN TANKA A	SSPA	
Roberto ESCOBAR	PUCV	
Victoria Zamora A.	PUCV	
Clauhit Barahona	IFOP	
Valeria Montu	WVF Chile	
Sergio Palma Silva	EDF Chile	
Hector Baccigallo	SINAPESUS	
Jorge Guerra	Subpesca	
Pedro AVALAZA B.	PUCU	
Mauricio Alameda E.	PUCV	
Roberto Muñoz	PUCV	
Sergio Lillo	IFOP	
Mario Inostroza	Endejes	
Héctor Tomvoglio P	Endejes	
Dante Queirolo	PUCV	