



Informe

Evaluación de estrategias de explotación para la pesquería del Pulpo en la X Región, Chile
(Enteroctopus megalocyathus)

Elaborado por Cristian Canales



Indice

1.	Introducción	3
2.	Metodología	4
2.1	Datos y parámetros	4
2.2	Modelo de dinámica poblacional	4
2.3	Simulación de estrategias de explotación	6
2.4	Indicadores de desempeño	9
3.	Resultados	10
3.1	Condicionamiento inicial	10
3.2	Estrategias de control de capturas	13
3.3	Estrategias de Control de esfuerzo	14
3.4	Variables de desempeño	18
4.	Conclusiones.....	24
5.	Referencias	25



1. Introducción

La pesquería de pulpo del sur *Enteroctopus megalocyathus* se desarrolla principalmente entre la Región de Los Lagos y de Aysén. Entre los años 1998 y 2019, el 98,8% del desembarque se registró en la Región de Los Lagos y solo un 1,1% en la Región de Aysén (Figura 1). La pesquería de pulpo del sur es de carácter artesanal, cuyo proceso de pesca se caracteriza por viajes diarios de embarcaciones a caladeros de pesca (procedencias). Los registros del seguimiento pesquero indican que el 63% de sus capturas se realizan en viajes exclusivos dedicados a la extracción de Pulpo del sur, mientras que el 37% restante corresponde a capturas realizadas en viajes en las que se extraen 2 o más especies. El sistema de extracción empleado es el gancho, y su destino es principalmente la elaboración industrial (98%) para su posterior exportación y un 2% es destinado al consumo fresco (Barahona *et al.*, 2010).

Algunos estudios realizados en la isla de Chiloé establecen en base a evaluaciones directas, que en Ancud y Dalcahue el estado del stock es de sobre explotación explicado por tasas de explotación elevadas a lo largo del tiempo, sobre todo en Ancud donde la tendencia sigue en aumento (Roldán, 2020). En las zonas de Queilén y Quellón el estado del stock se encuentra en una potencial recuperación, pero aun en sobrepesca. Los autores sugieren considerar como objetivos de manejo la recuperación de la biomasa sobre todo en la zona de Ancud, disminuir niveles de esfuerzo en Dalcahue y no aumentarlo en Queilén y Quellón. La pesquería del pulpo del sur se encuentra en plena explotación y suspensión de acceso, y cuyas medidas de manejo están basadas en vedas biológicas y un peso mínimo de 1 kg.

Su estado de situación y altas tasas de explotación sugieren necesario propender al establecimiento de estrategias de manejo que permitan la sostenibilidad de la pesquería y su población. En este trabajo se establecen y evalúan reglas de control de esfuerzo y capturas basadas en indicadores empíricos como es el rendimiento de pesca por faena. Se implementan modelos operativos que simulan la pesquería en el largo plazo sujeto a múltiples fuentes de incertidumbre y error tanto de proceso como de observación. El propósito de este trabajo fue identificar las condiciones de manejo bajo las cuales se puede asegurar la sostenibilidad del recurso pulpo y su pesquería.



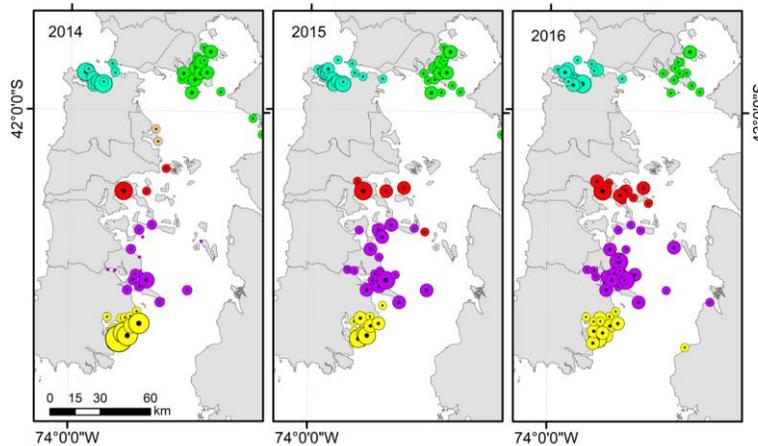


Figura 1: Distribución espacial de la pesquería del pulpo del sur 2014-2016 (Molinet *et al*, 2019).

2. Metodología

2.1 Datos y parámetros

Los datos empleados correspondieron a las estadísticas de capturas de SERNAPESCA por procedencia en la X Región 1996-2019. Para fines de modelación, se consideraron las estadísticas de capturas de Chiloé y que, dada las características biológicas de protección parental, el nivel de resiliencia parental podría ser considerado moderado y expresado en un rango de valor de steepness $h=0.6-0.9$ del modelo stock-recluta de Beverton y Holt. Su corta longevidad se expresaría en un valor de tasa instantánea de mortalidad natural $M=2 \text{ año}^{-1}$.

2.2 Modelo de dinámica poblacional

Para fines de modelación de la dinámica poblacional de pulpo es el modelo propuesto por Canales *et al* (2018) basado en variaciones de la biomasa en función de los parámetros de historia de vida y supuestos de agotamiento poblacional. El modelo se aplica a la serie de años 1990-2019 y supone que el año 1990 la población se encontraba al 90% de la biomasa virginal (B_0). Del mismo modo y a partir de los análisis realizados por Molinet *et al* (2019), se supone que al 2018 la población se encontraba entre el 40% y 50% de B_0 .

La biomasa en un año y está determinada por la ecuación de balance con retardo

$$B_y = (B_{y-1} - H_{y-1}) + P_y \quad (1)$$



Donde H es la captura anual y P es la función de producción latente definida por:

$$P_y = \frac{\alpha B_{y-d}}{\beta + B_{y-d}} - m B_{y-d} \quad (2)$$

Donde α y β son parámetros de la relación S/R determinados por el nivel de resiliencia h , el valor de B_0 y del reclutamiento virginal R_0 determinado por:

$$R_0 = m B_0 = (1 - e^{-M}) B_0 \quad (3)$$

d es el retardo entre reclutas y desovantes (supuesto de un año) y m es la proporción de muertos por causas naturales definido por:

$$m = (1 - e^{-M}) \quad (4)$$

El modelo consideró incertidumbre en los estados poblacionales incluyendo error de proceso en el modelo de reclutamiento (Ec. 5), mortalidad natural (M) y steepness (h)

$$R_y = \frac{\alpha B_{y-d}}{\beta + B_{y-d}} e^\varepsilon \quad (5)$$

$$\varepsilon \sim N(0, 0.1) \quad (6)$$

$$M \sim N(2, 0.1) \quad (7)$$

$$h \sim \text{beta}(15.1, 4.3) \quad (8)$$



La distribución de probabilidades de h se supone tipo *Beta* cuyos parámetros definen intervalo de confianza al 95% entre 0.6 y 0.9 (Canales et al, 2018). Para fines de condicionamiento inicial del modelo de proyección, el modelo requiere de una estimación de B_0 , para lo cual se diseñó un procedimiento donde y para un determinado set de parámetros biológicos (M y h), se realiza la estimación del valor de B_0 el cual condicionado a la historias de las capturas 1990-2019, establece que la biomasa residual estimada el año 2019 corresponde exactamente a un determinado nivel de agotamiento $\varphi = 0.4 - 0.5$. El proceso se repitió 1000 veces y en cada iteración, la estimación de B_0 consideró la minimización de la función objetivo:

$$fo = (B_{2019} - \varphi B_0)^2 \quad (9)$$

2.3 Simulación de estrategias de explotación

Se implementó un Modelo Operativo (MO) con las mismas ecuaciones de estado definidas entre Ecs 1-8 empleando el rango de valores de la biomasa 2019 obtenido en 2.1. La población y la pesquería se proyectaron 10 años en el futuro. Este modelo simuló los efectos de la pesca como resultado de reglas de decisión empíricas basadas en control de capturas y esfuerzo de pesca. El esfuerzo de pesca relativo fue calculado como la razón entre la captura y la biomasa estimada en el modelo de análisis ajustado a la información del período 1996-2019 (Figura 2).

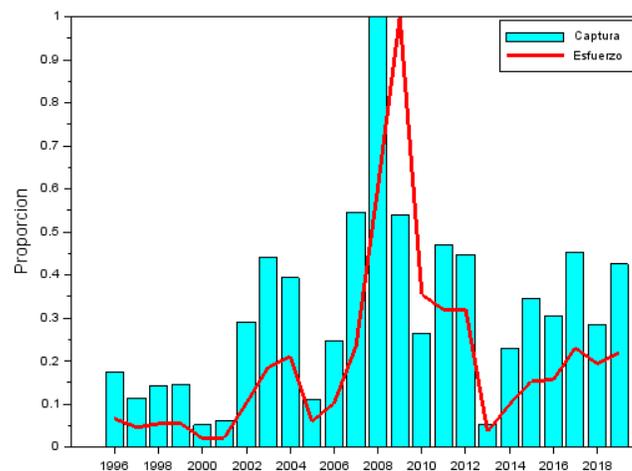


Figura 2: Capturas y estimación del esfuerzo de pesca del pulpo X Región.



A. Control de capturas

Se analizaron tres escenarios de reglas de control de capturas. Como valores de referencia se consideraron tres escenarios de capturas $C_{ref}=500$ ton (75% del promedio histórico), 650 ton (promedio últimos 5 años) y 800 ton (25% por sobre el promedio). Del mismo modo se consideró un rendimiento de pesca por faena promedio de $CPUE_{ref} = 35$ kg considerado como objetivo de manejo, el cual se supone representa la biomasa al 40% de la biomasa virginal B_0 (Figura 3). La regla evaluada corresponde a:

$$H_y = \begin{cases} C_{ref} \frac{CPUE_y}{CPUE_{ref}} & \text{si } CPUE_y < CPUE_{ref} \\ C_{ref} & \text{si } CPUE_y \geq CPUE_{ref} \end{cases} \quad (10)$$

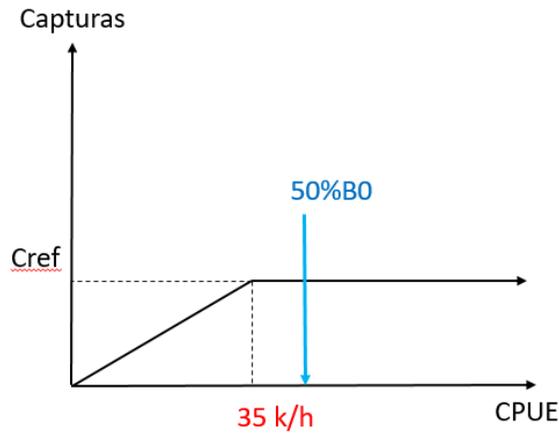


Figura 3: Regla de decisión de captura para el pulpo del sur. En rojo se destaca el valor de CPUE de referencia

Si bien la regla de control se establece niveles de capturas, se estima que el mejor control efectivo corresponde a la corrección del esfuerzo de pesca promedio 2015-2019. Tanto en el modelo establecido en 2.2 como en el MO y en cada iteración, el esfuerzo de pesca resultante es calculado como

$$E_y = \frac{H_y}{q B_y} \quad (11)$$

donde q es el coeficiente de capturabilidad calculado como la razón entre la $CPUE_{ref}$ y el 40% B_0 .



B. Control de esfuerzo

Se analizaron tres escenarios de reglas de control de capturas. Como valores de referencia se consideraron cuatro escenarios de esfuerzo en relación al esfuerzo promedio 2015-2019; E_{ref} = 50% del valor promedio, valor promedio, y niveles del 20% y 50% mayor al valor promedio. Al igual que la regla de captura, se consideró un rendimiento de pesca por faena promedio de $CPUE_{ref} = 35$ kg considerado como objetivo de manejo, el cual podría ser obtenido cuando la biomasa alcanza el 40% de la biomasa B_0 (Figura 4). La regla evaluada corresponde a:

$$E_y = \begin{cases} E_{ref} \frac{CPUE_y}{CPUE_{ref}} & \text{si } CPUE_y < CPUE_{ref} \\ E_{ref} & \text{si } CPUE_y \geq CPUE_{ref} \end{cases} \quad (12)$$

y la captura anual resultante calculada como

$$H_y = q E_y B_y \quad (13)$$

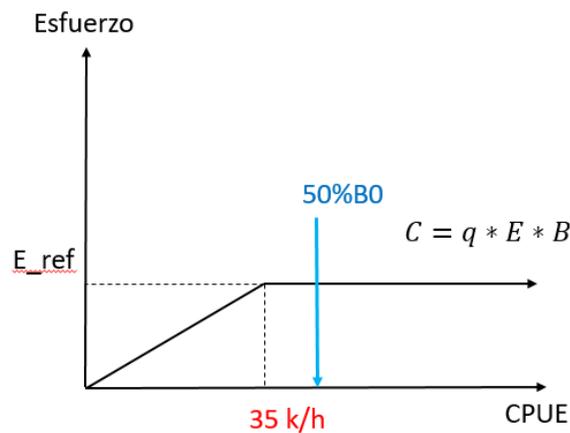


Figura 4: Regla de decisión de esfuerzo de pesca para el pulpo del sur. En rojo se destaca el valor de CPUE de referencia



2.4 Indicadores de desempeño

Como indicadores de desempeño de cada regla definida según valor de referencia, se consideró el valor promedio de los últimos 5 años de proyección de diferentes variables de interés:

- Proporción φ de la biomasa respecto de B_0
- CPUE promedio
- Captura promedio
- Variabilidad del esfuerzo y las capturas
- Probabilidad de que la CPUE caiga por debajo de $CPUE_{ref}$



3. Resultados

3.1 Condicionamiento inicial

Los resultados del condicionamiento del modelo operativo estuvieron determinados por el supuesto de agotamiento poblacional 2018. Los resultados muestran que cuando se supone que el stock en este año estaba reducido al 50% ($\varphi = 0.5$), solo el 23.6% de las réplicas fueron aceptadas como viables (Figura 5). La viabilidad consideró escenarios en los cuales ninguna de las biomazas calculadas fuese menor a cero particularmente en los años de menor abundancia (2009-2010). En estas condiciones, la población al 2019 se estima habría alcanzado el 65% de B_0 la biomasa virginal $B_0=2,3$ mil t (Figura 5 y Figura 6). Del mismo modo y cuando se supuso $\varphi = 0.4$, los escenarios aceptados como viables disminuyeron de manera considerable al 4.2%. En estas condiciones, la biomasa 2019 alcanzaría 58% de B_0 y el valor de B_0 disminuye a 2,0 mil t (Figura 7 y Figura 8). Independientemente de los casos considerados, los resultados muestran que capturas por sobre mil toneladas anuales podrían generar reducciones poblacionales por debajo de valores de referencia y por ende generar estados de sobreexplotación.

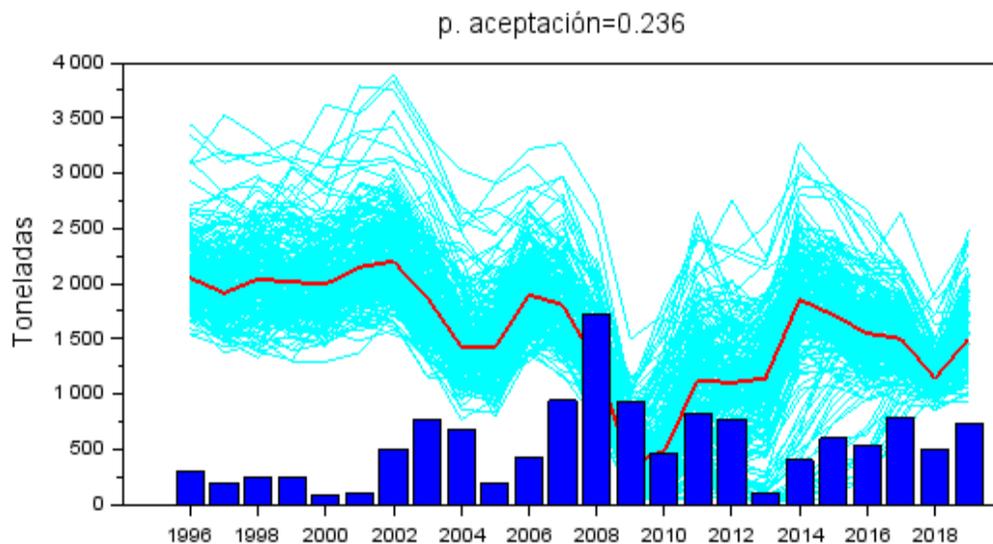


Figura 5: Trayectorias poblacionales posibles del stock de pulpo del sur (líneas celestes) suponiendo que el agotamiento poblacional al 2018 fue de $\varphi = 0.5$. La línea roja representa la mediana de los escenarios. Las barras de color azul son las capturas. El título del gráfico entrega la proporción de escenarios aceptados.



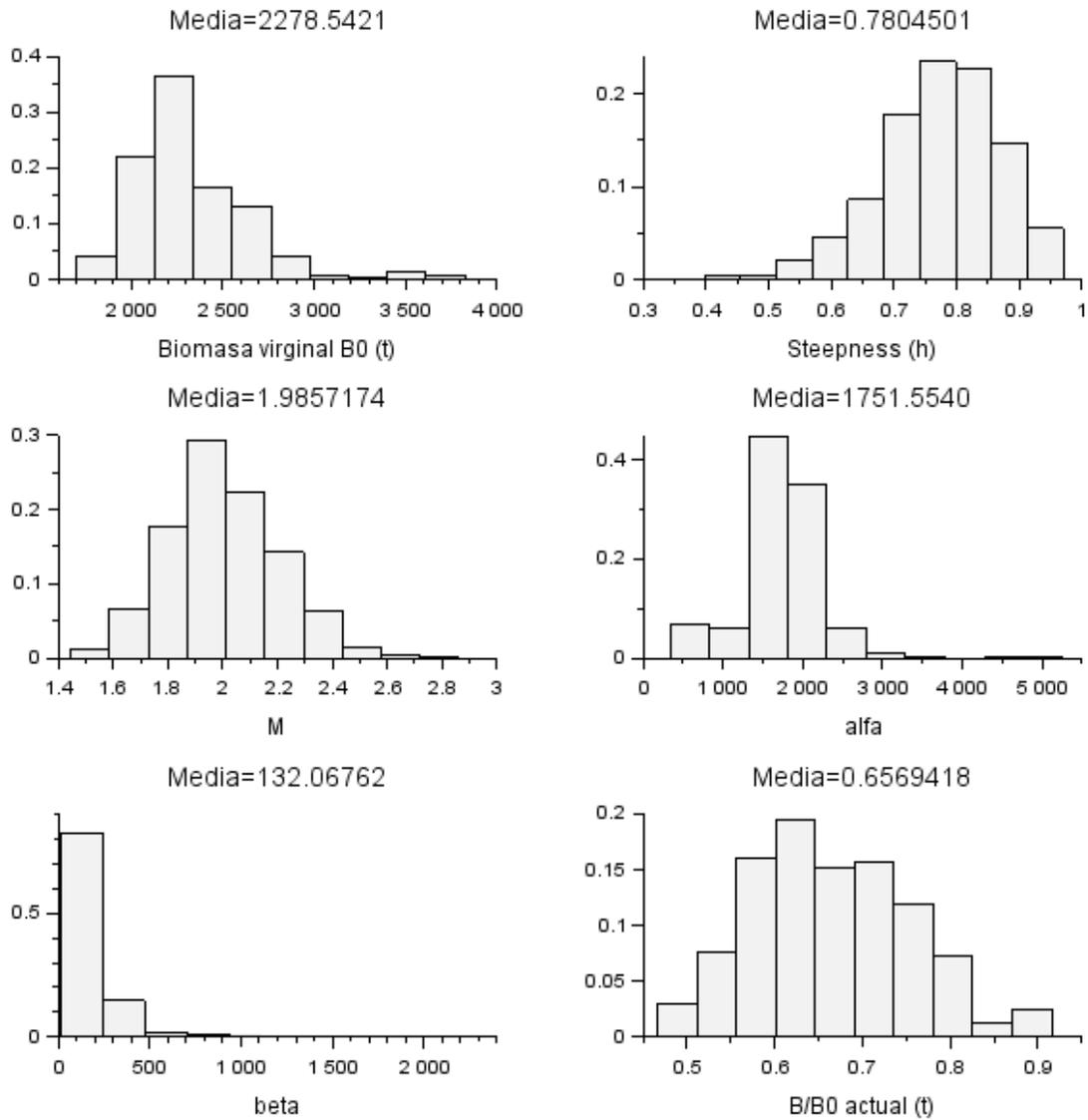


Figura 6: Distribuciones de variables de interés generadas de las trayectorias viables cuando el agotamiento poblacional al 2018 fue supuesto $\phi = 0.5$.



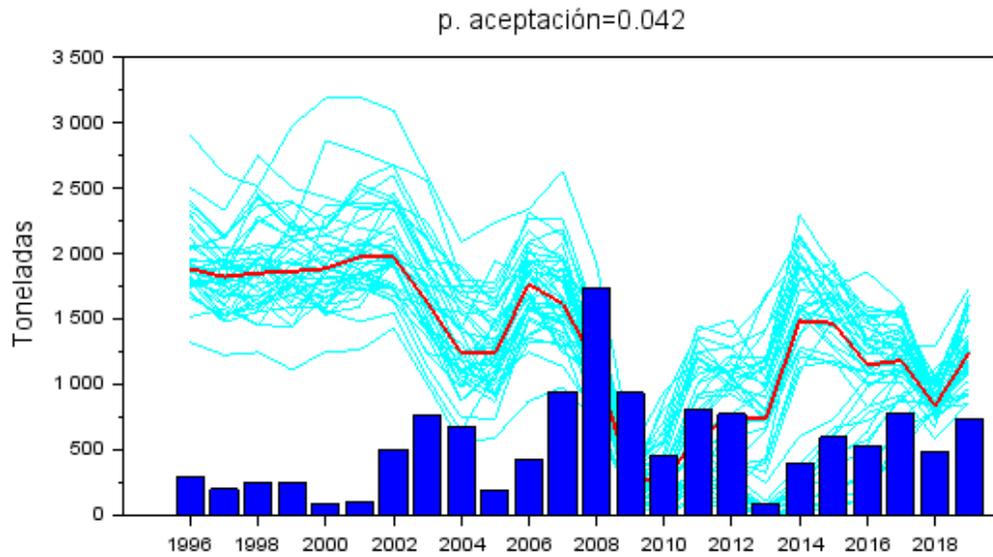


Figura 7: Trayectorias poblacionales posibles del stock de pulpo del sur (líneas celestes) suponiendo que el agotamiento poblacional al 2018 fue de $\phi = 0.4$. La línea roja representa la mediana de los escenarios. Las barras de color azul son las capturas. El título del gráfico entrega la proporción de escenarios aceptados.



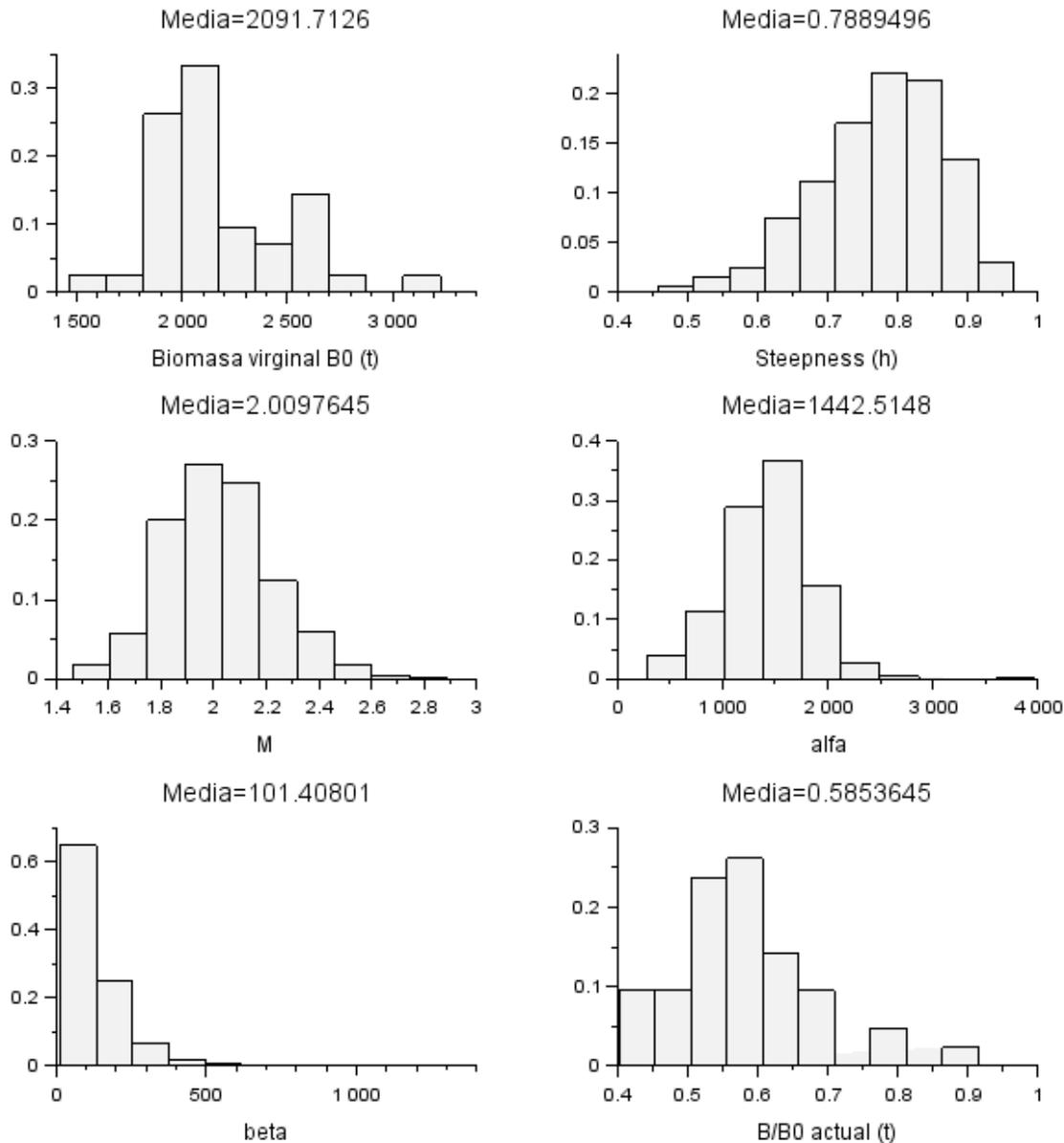


Figura 8: Distribuciones de variables de interés generadas de las trayectorias viables cuando el agotamiento poblacional del pulpo al 2018 fue supuesto $\phi = 0.4$.

3.2 Estrategias de control de capturas

Los análisis muestran que, si la regla de control considera una captura máxima de 500 toneladas anuales como referencia y disminuciones conforme la variación de la CPUE, en el largo plazo la biomasa podría alcanzar en promedio el 57% de B_0 y la CPUE un nivel en torno a 48 kg/faena, lo cual resulta notablemente mayor al valor considerado objetivo. Las proyecciones muestran en pocos casos niveles de CPUE de la pesquería por debajo de los 35 kg/faena, lo cual se traduce en un riesgo cercano al 16% de caer bajo este referente. En estas condiciones, el esfuerzo de pesca



resultante debería disminuir al 90% del esfuerzo de pesca promedio de los años más recientes, generando capturas en torno a 480 toneladas anuales (Figura 9).

Por otro lado, si la captura de referencia es aumentada a 650 toneladas anuales, la proporción de biomasa llegaría al 50% de B_0 y la CPUE a un nivel en torno a 42 kg/faena aún por sobre el valor considerado objetivo. Las proyecciones indican que un mayor número casos posibles la CPUE de la pesquería caería por debajo de los 35 kg/faena, aumentando el riesgo de no cumplir con el objetivo de manejo al 28%. En este caso, el esfuerzo de pesca podría ser incrementado en un 29% respecto del esfuerzo de pesca promedio de los años más recientes. Con esto las capturas podrían oscilar en torno a las 608 toneladas anuales (Figura 10). En el extremo, si la captura de referencia fuese de 800 toneladas anuales, la proporción de biomasa llegaría al 44% de B_0 y la CPUE alcanzando en promedio el valor de referencia objetivo de 35 kg/faena. Si fuese este el caso, las proyecciones señalan que el riesgo de no cumplir con el objetivo de manejo alcanzaría el 48% y el esfuerzo de pesca se incrementaría en un 72% respecto del esfuerzo de pesca promedio. Las capturas bordearían las 706 toneladas anuales (Figura 11).

3.3 Estrategias de Control de esfuerzo

En un escenario de control de esfuerzo, los resultados indican que, si el esfuerzo de referencia se reduce en un 50%, en el largo plazo la biomasa podría alcanzar en promedio el 65 de B_0 y la CPUE un nivel en torno a 57 kg/faena. Las proyecciones muestran escasos casos de niveles de CPUE de la pesquería por debajo de los 35 kg/faena, traducido en un riesgo cercano al 7% de caer bajo el nivel de referencia. En este escenario, las capturas deberían disminuir en torno a 330 toneladas anuales (Figura 12). En el caso que el esfuerzo de referencia fuese igual al promedio de años recientes, la proporción de biomasa llegaría al 54% de B_0 y la CPUE a un nivel en torno a 47 kg/faena. Con esto, el riesgo de no cumplir con el objetivo de manejo llegaría al 15% y las capturas podrían oscilar en torno a las 535 toneladas anuales (Figura 13). En el extremo, aumentando en un 50% el esfuerzo de referencia, la proporción de biomasa llegaría al 47% de B_0 y la CPUE 40 kg/faena, aun por sobre el criterio de referencia. En este caso, las proyecciones señalan que el riesgo de no cumplir con el objetivo de manejo alcanzaría el 30% y las capturas bordearían las 660 toneladas anuales (Figura 14).



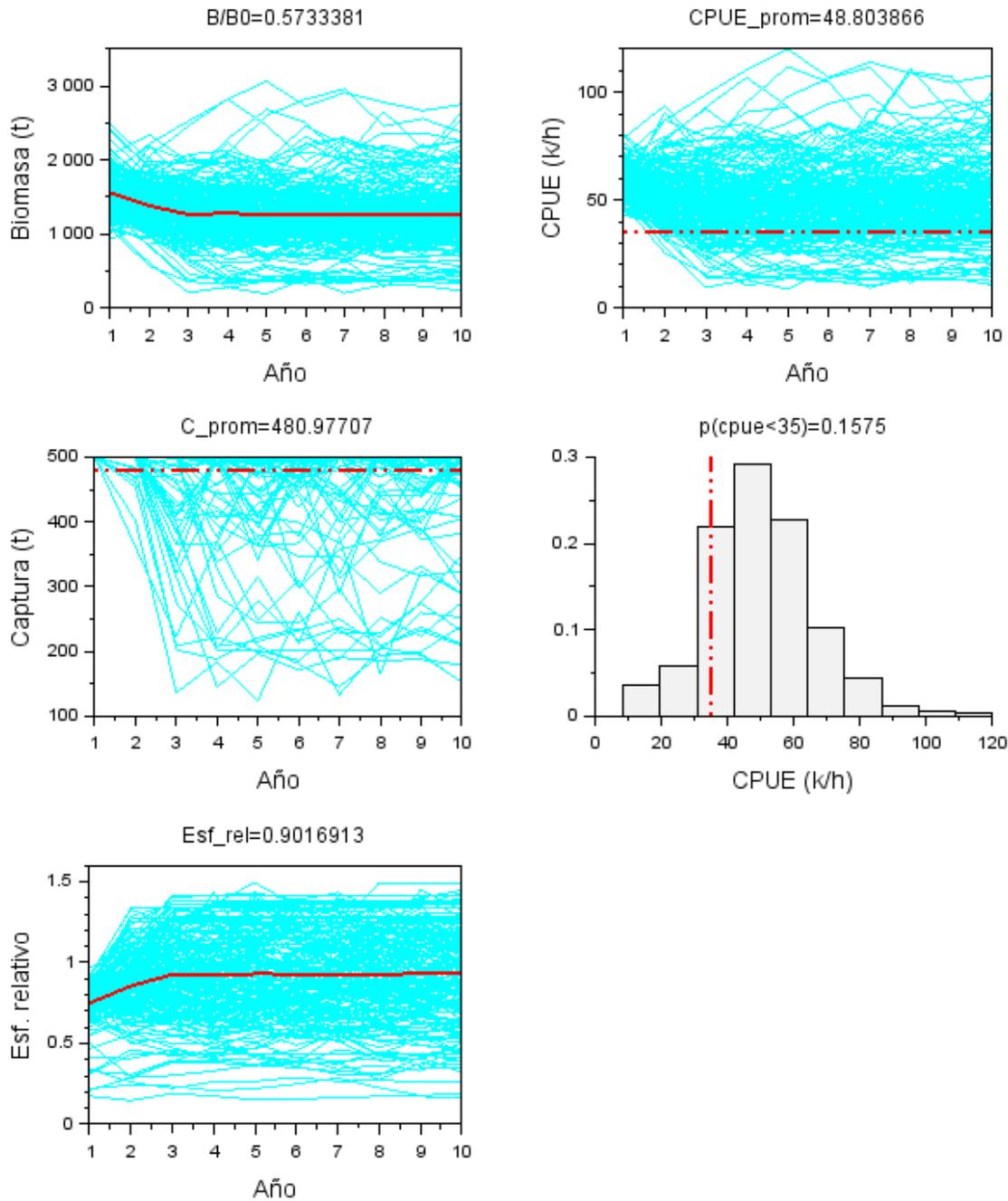


Figura 9: Proyección de la biomasa, CPUE, capturas y esfuerzo de pesca relativo de pulpo considerando una regla de control de captura basada en un máximo de 500 toneladas anuales. Las líneas celestes corresponden a los escenarios posibles. Se entrega la distribución de valores posible de la CPUE y el riesgo de que esta sea menor al valor de referencia de 35 k/faena.



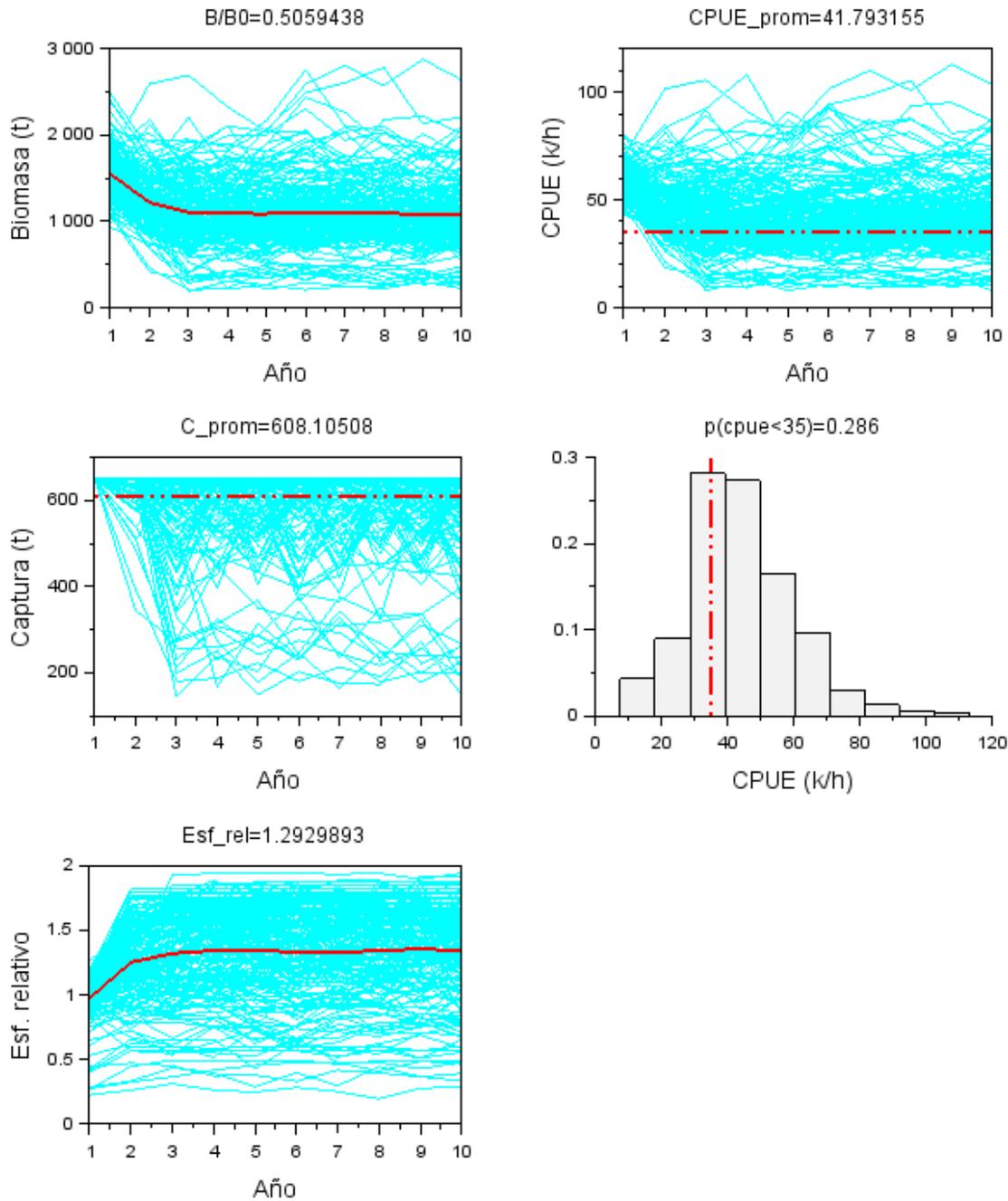


Figura 10: Proyección de la biomasa, CPUE, capturas y esfuerzo de pesca relativo de pulpo considerando una regla de control de captura basada en un máximo de 650 toneladas anuales. Las líneas celestes corresponden a los escenarios posibles. Se entrega la distribución de valores posible de la CPUE y el riesgo de que esta sea menor al valor de referencia de 35 k/faena.



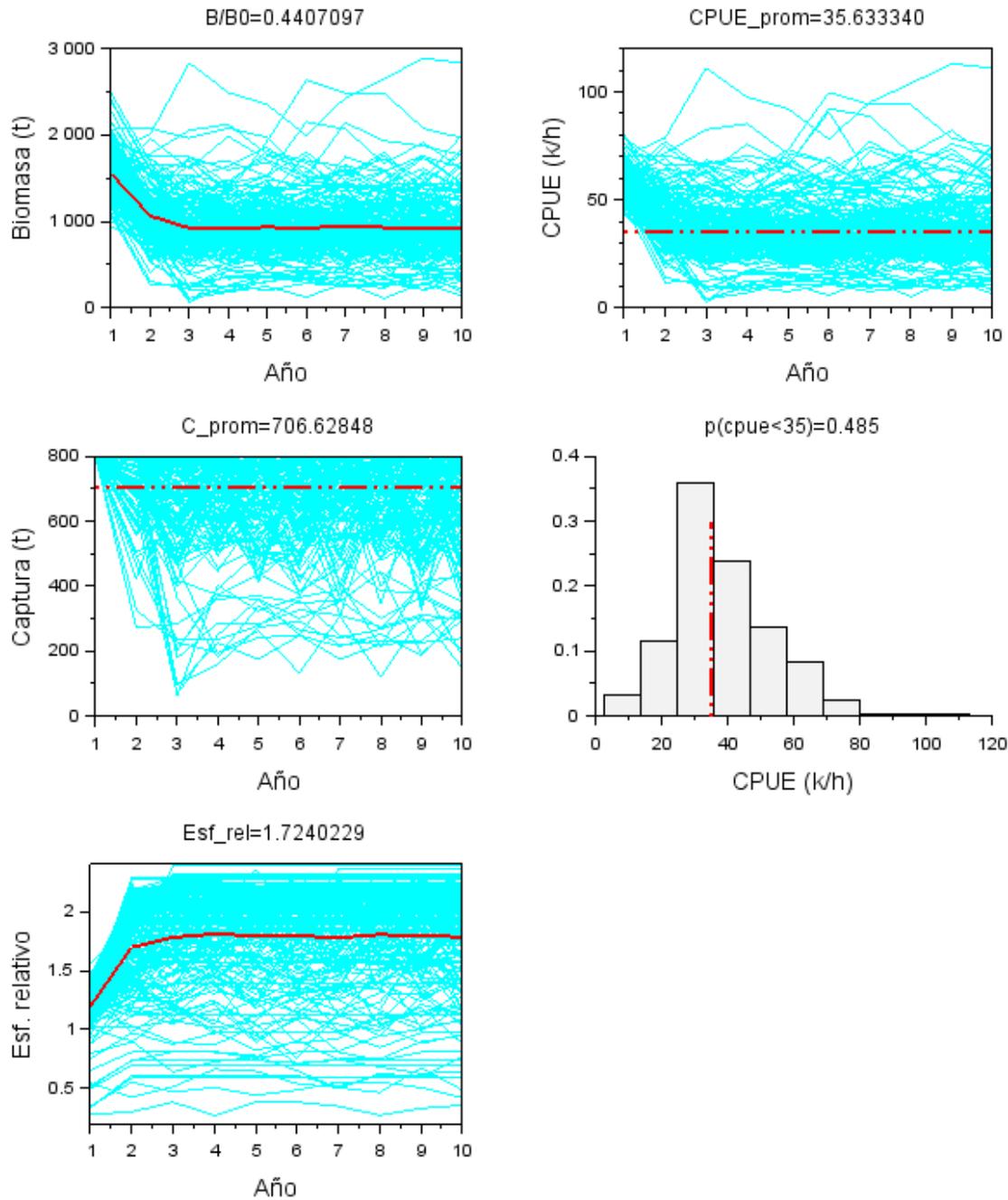


Figura 11: Proyección de la biomasa, CPUE, capturas y esfuerzo de pesca relativo de pulpo considerando una regla de control de captura basada en un máximo de 800 toneladas anuales. Las líneas celestes corresponden a los escenarios posibles. Se entrega la distribución de valores posible de la CPUE y el riesgo de que esta sea menor al valor de referencia de 35 k/faena.



3.4 Variables de desempeño

El resumen de las estrategias se refleja en las diferentes variables de desempeño. Un análisis de relaciones del riesgo de reducción de la CPUE y variaciones de la CPUE promedio respecto del esfuerzo de pesca y niveles de capturas regionales, muestra que aumentos en el esfuerzo de pesca actual (Esfuerzo=1) incrementan exponencialmente (>20%) el riesgo de disminuir el rendimiento de pesca por debajo de 35 kg/faena. Del mismo modo, los actuales niveles de capturas promedio (715 t) generarían riesgos del 25% de observar caída en los rendimientos de pesca por debajo de su referencia en el largo plazo (Figura 15 y Figura 16). La estrategia basada en control de capturas generaría menor variabilidad para la pesquería y aumentos proporcionales con el esfuerzo de pesca, mientras que una estrategia basada en el control de esfuerzo genera notable mayor variabilidad en la pesquería y menor riesgo de disminución del rendimiento de pesca (Figura 16). No obstante, esto, la estrategia basada en esfuerzo puede generar el mismo nivel de capturas, pero a menor riesgo de disminución del rendimiento de pesca.

En la estrategia basada en control de capturas, la captura efectiva resulta menor al valor de referencia debido a la activación de la regla de control. Los análisis son realizados en base a las capturas de Chiloé, pero extrapolados a nivel regional. A mayor nivel de captura de referencia, mayor es la variabilidad de las capturas anuales y mayor es la diferencia respecto de la captura efectiva (Tabla 1). Aumentos del esfuerzo de pesca nominal en un 50% (f4) producen el aumento efectivo del 40% en el esfuerzo y capturas de similar nivel respecto de la regla de capturas c3. Sin embargo, en esta última regla tanto el esfuerzo de pesca, su variabilidad interanual, así como el riesgo de reducción del rendimiento de pesca resultan mayores al de la regla f4.

Los análisis en general muestran que independientemente de las estrategias analizadas, la biomasa y rendimiento de pesca en el largo plazo no disminuirían por debajo de sus referencias debido al procedimiento de manejo evaluado. En el escenario menos optimista, la biomasa podría llegar al 44% B_0 cuando el rendimiento alcanza 38 kg/faena (Tabla 1). Al respecto, la relación entre CPUE y la razón B/B_0 permite estimar el valor equivalente de escape de biomasa virginal respecto del rendimiento de pesca de referencia. Por extrapolación lineal ($\%B_0=0.0112*CPUE + 0.0189$), se estima que un valor de 35 kg/faena corresponden a una biomasa de referencia del 41% de la biomasa virginal, muy próxima al supuesto inicial 40% B_0 .



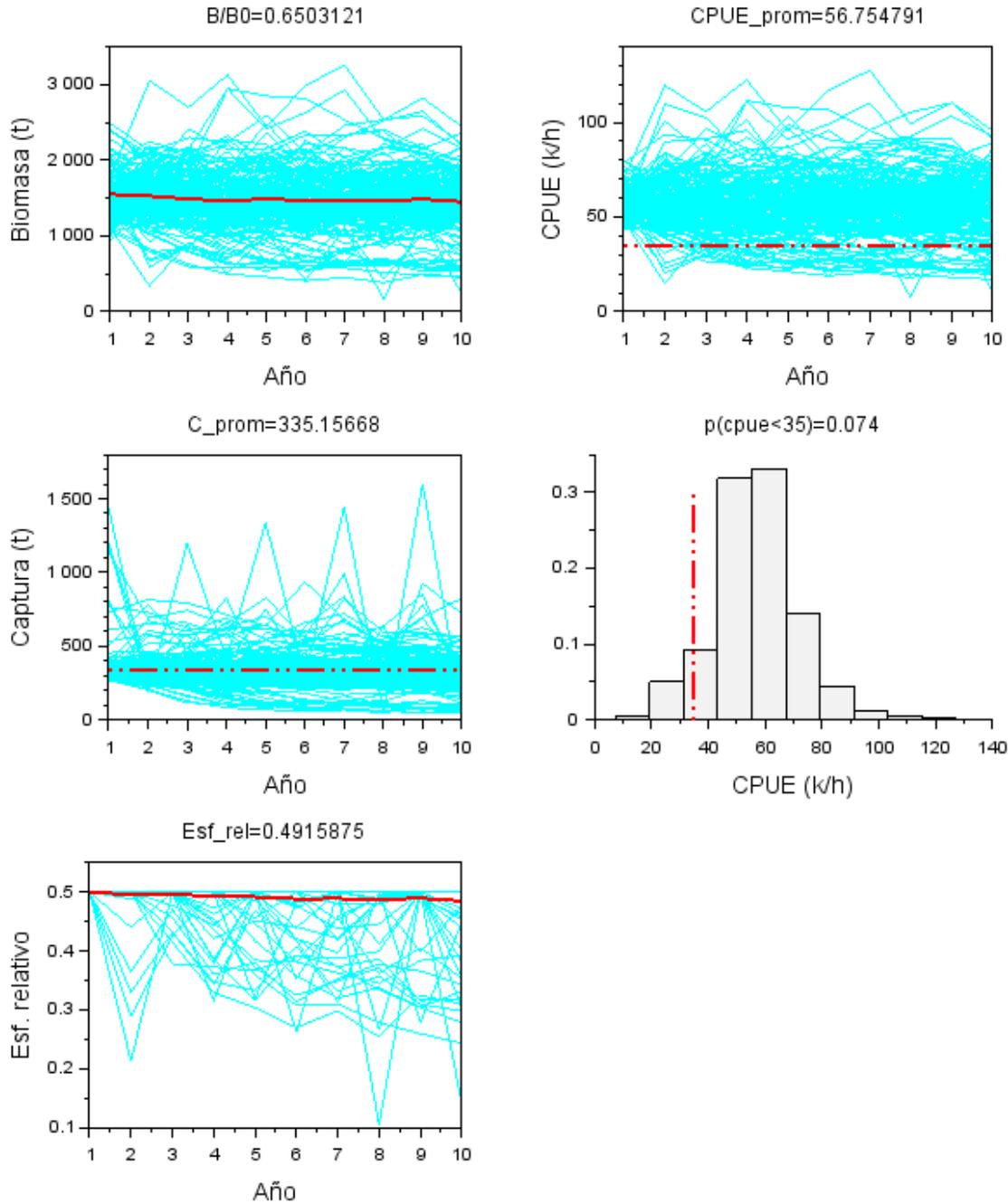


Figura 12: Proyección de la biomasa, CPUE, capturas y esfuerzo de pesca relativo de pulpo considerando una regla de control considerando la reducción del 50% del esfuerzo de pesca promedio. Las líneas celestes corresponden a los escenarios posibles. Se entrega la distribución de valores posible de la CPUE y el riesgo de que esta sea menor al valor de referencia de 35 k/faena



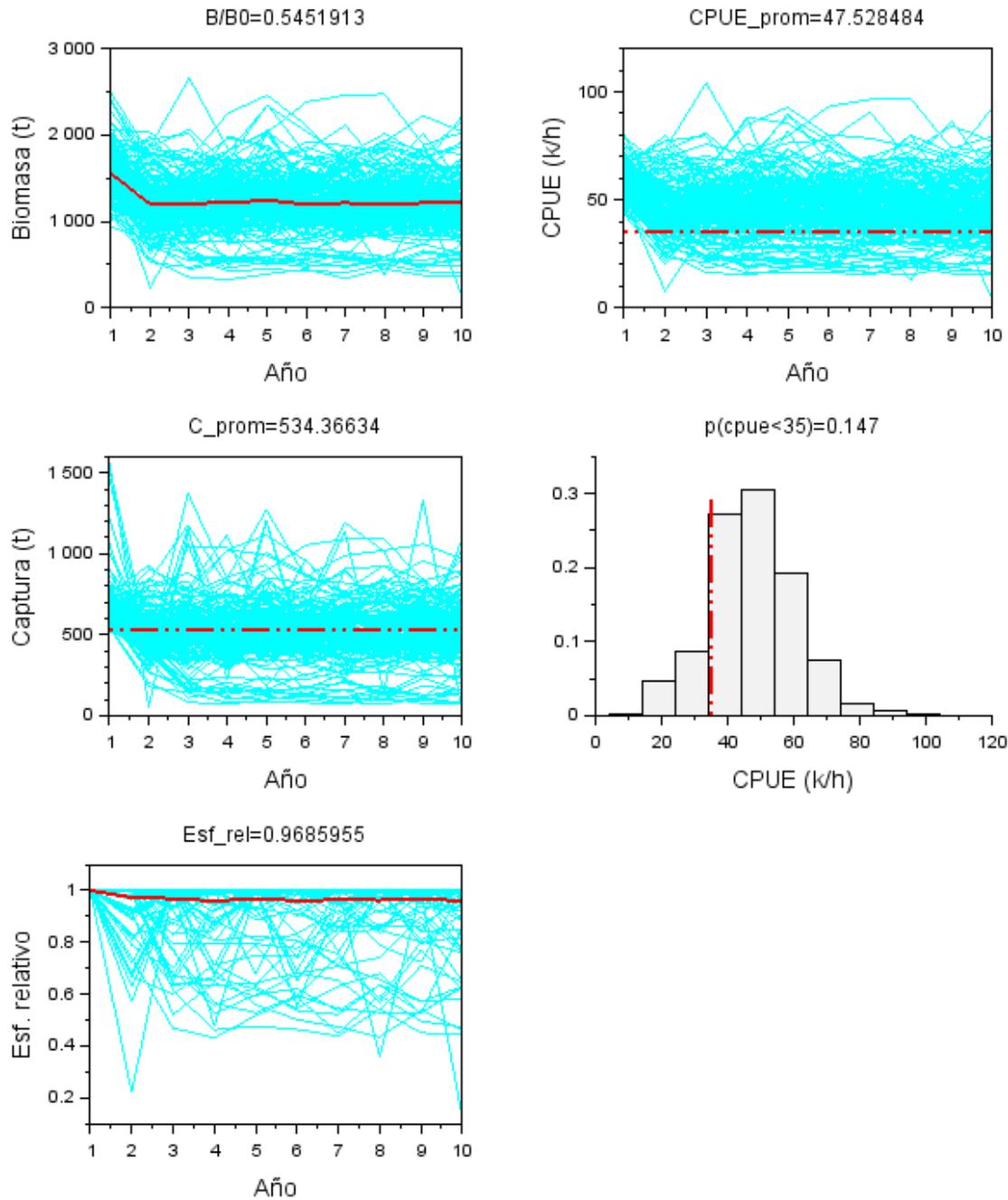


Figura 13: Proyección de la biomasa, CPUE, capturas y esfuerzo de pesca relativo de pulpo considerando una regla de control considerando la mantención del esfuerzo de pesca promedio. Las líneas celestes corresponden a los escenarios posibles. Se entrega la distribución de valores posible de la CPUE y el riesgo de que esta sea menor al valor de referencia de 35 k/faena



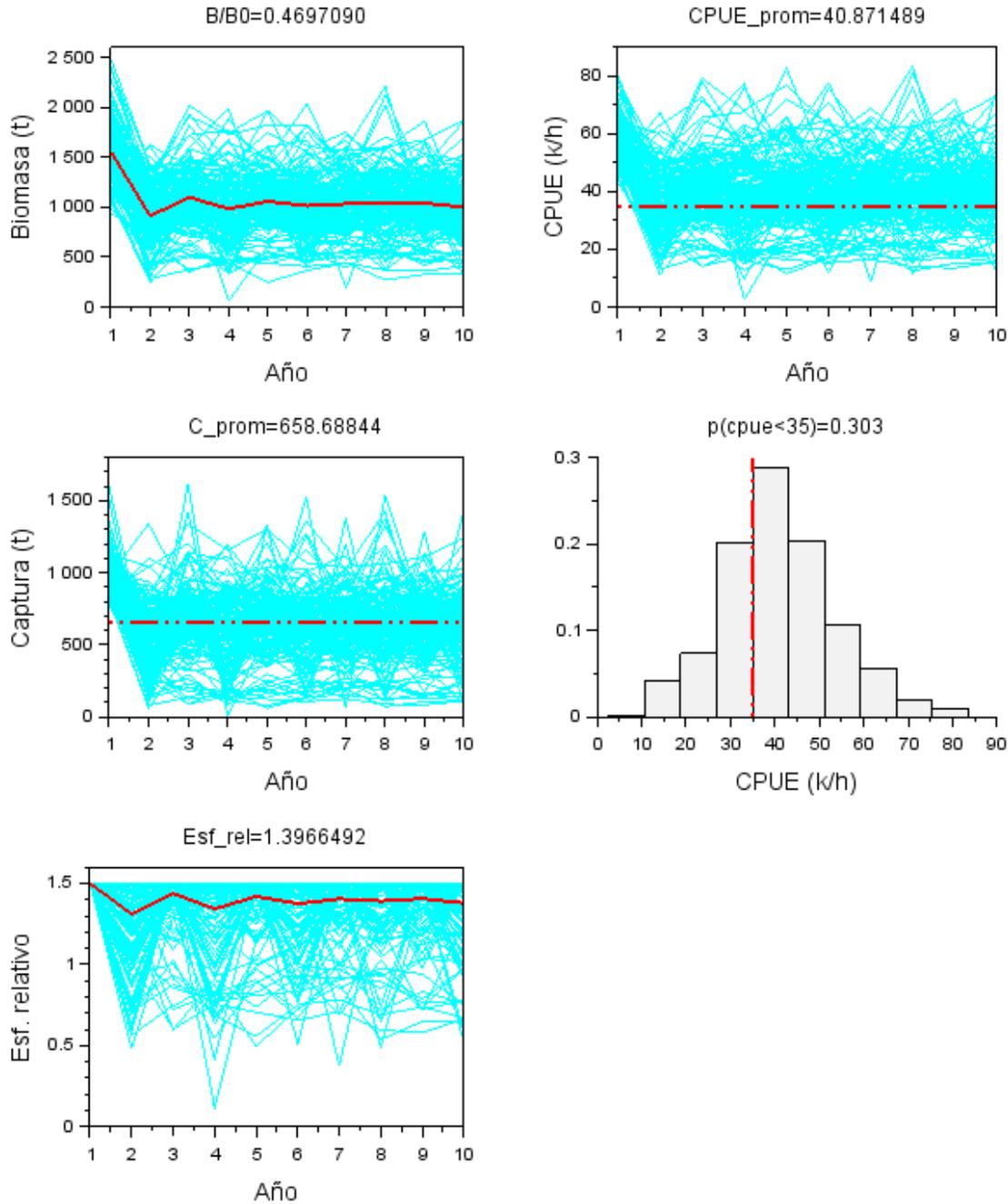


Figura 14_: Proyección de la biomasa, CPUE, capturas y esfuerzo de pesca relativo de pulpo considerando una regla de control considerando el aumento del 50% del esfuerzo de pesca promedio. Las líneas celestes corresponden a los escenarios posibles. Se entrega la distribución de valores posible de la CPUE y el riesgo de que esta sea menor al valor de referencia de 35 k/faena



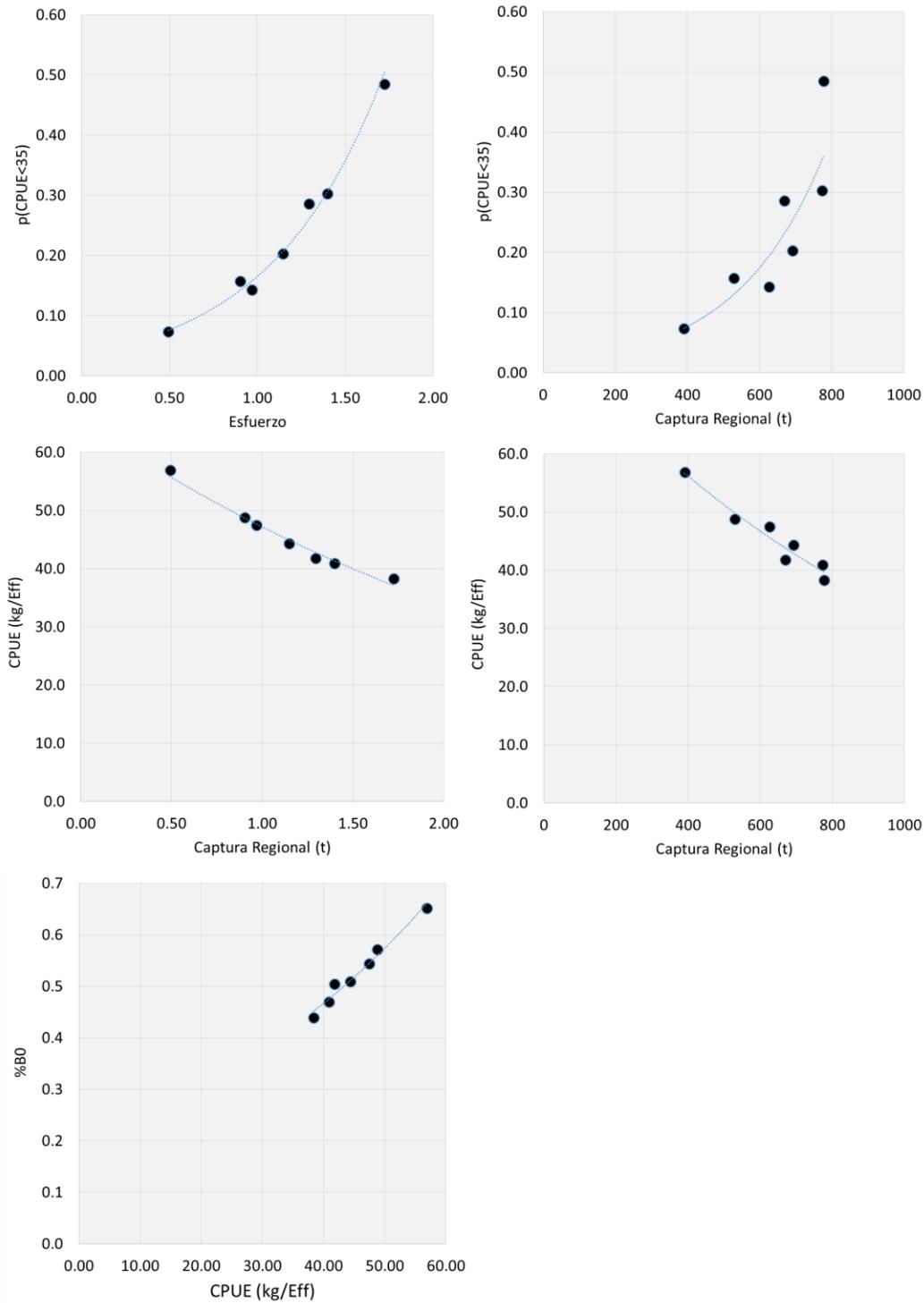


Figura 15 Relaciones del riesgo de reducción de la CPUE por debajo de 35 kg/faena, CPUE promedio y %B0 respecto del esfuerzo de pesca y niveles de capturas regionales de pulpo X Región.



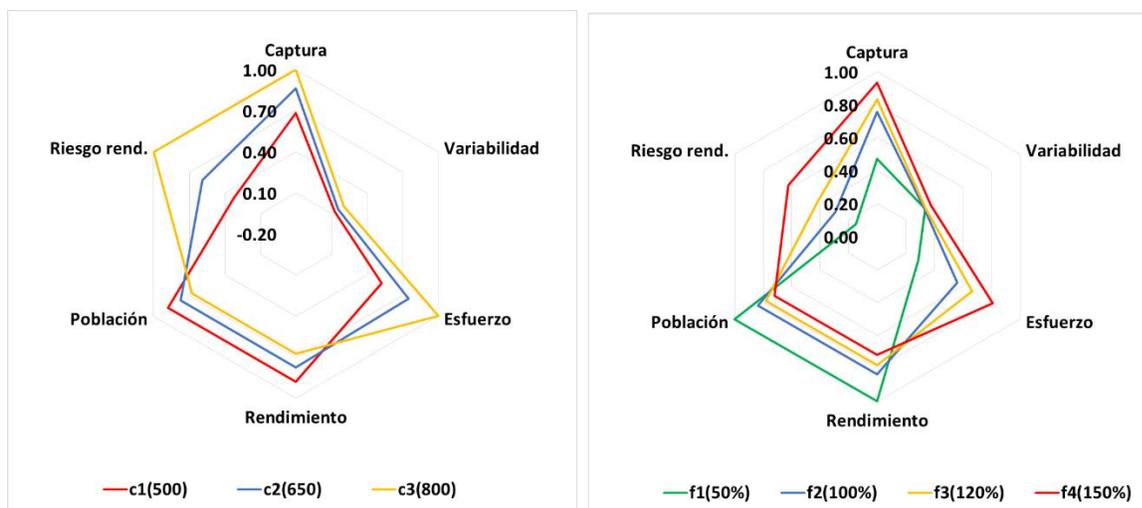


Figura 16: Diagramas de radar de las variables de desempeño de distintas estrategias de explotación de pulpo X Región.

Tabla 1: Variables de desempeño de distintas estrategias de explotación de pulpo X Región. En negrilla se destacan los mayores valores de cada variable.

Estrategia	Captura			Esfuerzo			
	c1	c2	c3	f1	f2	f3	f4
Referencia Chiloe	500	650	800	0.5	1.0	1.2	1.5
Captura Chiloe	481	608	707	333	533	589	659
Captura Regional	529	669	777	391	626	692	773
variacion_capt	13%	16%	20%	34%	33%	34%	38%
Esfuerzo	0.90	1.29	1.72	0.49	0.97	1.15	1.40
variacion_eff	30%	28%	26%	7%	11%	12%	15%
CPUE	48.80	41.80	38.32	56.88	47.44	44.35	40.87
B/B0	0.57	0.50	0.44	0.65	0.54	0.51	0.47
p(cpue<35)	0.16	0.29	0.49	0.07	0.14	0.20	0.30



4. Conclusiones

A partir del análisis realizado y de todas las fuentes de incertidumbre consideradas, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- Capturas de referencia iguales al promedio, generan un riesgo del 28% de reducir el rendimiento por debajo de 35 k/faena, y mantiene a la población por sobre 50% B_0 (saludable)
- Capturas de referencia máximas para Chiloé igual o mayor a 800 t/año generaría incrementos por sobre el 70% en el esfuerzo de pesca y capturas regionales de 770 t/año. Esta estrategia reduciría a la población en torno al 44% B_0 , e incrementaría el riesgo de reducir el rendimiento al 49%
- Una estrategia basada en la mantención del esfuerzo actual, generaría capturas regionales promedio próximas a 630 t/año y riesgos de reducción del rendimiento del 14%. Sin embargo, generaría mayor variación de las capturas (>30%).
- Dependiendo del nivel de riesgo, si el esfuerzo de pesca es aumentado hasta en un 20%, la captura promedio bordearía las 700 t/año, mantendría a la población cercana al 50% B_0 y el riesgo de reducir los rendimientos de pesca llegaría al 20%.
- El incremento del 50% en el esfuerzo de pesca reducirían a la población al 47% B_0 e incrementaría el riesgo al 30% de reducir el rendimiento de pesca por debajo de su referencia. Esta estrategia generaría una captura regional en torno a 770 toneladas anuales.
- Un rendimiento de pesca de 35 k/faena corresponden al 41% de B_0 y por ende es un referente adecuado para el manejo de este recurso.
- Se recomienda establecer estrategias basadas en control de esfuerzo por ser más precautorias (menor riesgo de reducir rendimientos), no obstante, se genera mayor variabilidad en las capturas interanuales



5. Referencias

Barahona, N., A. Aguilera, A. Olgúin, and V. Pezo. 2010. Caracterización biológica pesquera de las actividades extractivas del recurso pulpo en la X región. Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso.

Molinet C, R. Roa-Ureta, C. M. Canales, J. Henríquez, M. Díaz, C. Godoy, N. Muñoz, D. Subiabre, M. Castillo, N. Adasme y N. Sanchez. 2018. Caracterización de la pesquería y evaluación de stock del recurso Pulpo del Sur en la X región. Informe Final. Proyecto FIPA 2016-41. Universidad Austral de Chile. 394 p.

Canales, C. M, C. Hurtado, C. Techeira, 2018. Implementing a model for data-poor fisheries based on steepness of the stock-recruitment relationship, natural mortality and local perception of population depletion. The case of the kelp *Lessonia berteroana* on coasts of north-central Chile. Fisheries Research. 179 (2018).

Roldán, A. 2020. Programa de Seguimiento de las Pesquerías Bentónicas bajo Planes de Manejo, 2019. Objetivo específico 4.2.1. Plan de manejo pulpo Región de Los Lagos. Informe Final. Instituto de Fomento Pesquero. 2020.

