

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO  
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES  
ESCUELA CIENCIAS DEL MAR**

**Asignación de mortalidad por pesca para una pesquería  
multiflotas: el caso del jurel (*Trachurus murphyi*) en el  
Pacífico Sur Oriental**

**Proyecto para optar al título de Ingeniero Pesquero  
por  
Joaquín Joel Felipe Cavieres Gaete**

**Valparaíso  
2013**

**Comisión del Proyecto de Título:**

Profesor Guía : M.Sc. Cristian Canales Ramírez

Profesor : Dra. María Ángela Barbieri Bellolio

Profesor : Dr. Eleuterio Yáñez Rodríguez

## **AUTORIZACIÓN DE USO**

Al presentar este proyecto como último requisito para la obtención del título de Ingeniero Pesquero, autorizo a la biblioteca de la Escuela de Ciencias del Mar de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, para que disponga libremente de ella. Autorizo además reproducciones parciales o totales de este proyecto sólo con fines académicos.

---

Joaquín Joel Felipe Cavieres Gaete

## **DEDICATORIA**

*A mi padre Juan Cavieres, pilar fundamental  
en el recorrido de mi camino y en la materialización de este sueño.*

## AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a M.Sc. Cristian Canales R. por haberme dado la posibilidad de trabajar en el proyecto de título, guiarme en los análisis diseñados y la disponibilidad que siempre tuvo para responder mis dudas. Las respuestas entregadas, el tiempo dedicado a la resolución de las interrogantes surgidas y su capacidad como profesional, me permitieron cumplir los objetivos planteados en el inicio de este proceso.

A la Dra. María Ángela Barbieri B. por las constantes ayudas brindadas y su completa disposición para corregir los errores en la elaboración de este documento.

Al Dr. Eleuterio Yáñez R. por el apoyo entregado y su amabilidad para responder preguntas relacionadas con los análisis desarrollados en este documento.

A los profesores de la escuela de Ciencias del Mar por la enseñanza ofrecida durante este largo periodo de mi instancia en la universidad, a los funcionarios de la escuela, a los compañeros que siempre estuvieron presentes y manifestaron su apoyo en momentos cruciales.

A mi pareja quien ha estado conmigo siempre y me dio fuerzas para terminar con éxito este proceso. Por ser quien eres, el futuro vislumbra grandes alegrías para tu persona.

Finalmente a mi familia, no existen palabras para demostrar la gratitud hacia ellos, y solo queda expresarles lo feliz que me siento al cumplir su sueño. El camino fue largo, lleno de obstáculos y caídas, pero el objetivo está cumplido y pertenece a nosotros.

# CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
Portada de presentación	
Comisión de proyecto de título.....	i
Autorización de uso .....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos .....	iv
CONTENIDO.....	v
Índice de figuras .....	vii
Índice de tablas .....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT .....	x
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
2.1.    Objetivo General.....	3
2.2.    Objetivos Específicos .....	3
<b>3. ANTECEDENTES.....</b>	<b>4</b>
3.1.    Sobre el recurso y su distribución.....	4
3.2.    Ciclo de Vida .....	5
3.3.    Pesquería del jurel.....	6
3.4.    Desembarques por macro – región en Chile.....	11
<i>Zona Norte XV a IV Región.</i> .....	11
<i>Zona centro - sur de V a X Región</i> .....	11
3.5.    Capturas en alta mar de la flota chilena.....	12
3.6.    Distribución espacial de las capturas de Chile.....	13

<b>4. ESTADO DE LA POBLACIÓN .....</b>	<b>15</b>
4.1. Mortalidad por pesca (F) .....	15
4.2. Distribución espacial de la mortalidad por pesca .....	15
4.3. Reclutamiento y biomasa desovante.....	17
4.4. Reducción de la biomasa virginal.....	18
4.5. Puntos biológicos de referencia (PBR) para el jurel.....	19
4.6. Resumen del estado del jurel.....	19
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>20</b>
5.1. Modelo biológico pesquero predictivo .....	20
5.2. Ecuaciones del modelo en equilibrio en base a la edad .....	21
5.3. Supervivencia en número .....	22
5.4. Biomasa total .....	22
5.5. Biomasa desovante .....	23
5.6. Biomasa desovante virginal.....	23
5.7. Captura en peso por flota.....	23
5.8. Capturas totales del jurel en el largo plazo.....	24
<b>6. FORMULACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO DE OPTIMIZACIÓN.....</b>	<b>25</b>
6.1. Escenarios propuestos para el modelo .....	27
<b>7. RESULTADOS.....</b>	<b>29</b>
<b>8. DISCUSIÓN.....</b>	<b>34</b>
<b>9. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>36</b>
<b>10. REFERENCIAS .....</b>	<b>38</b>
<b>11. ANEXOS .....</b>	<b>42</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Morfología del jurel ( <i>Trachurus murphyi</i> ) .....	4
Figura 2: Distribución geográfica del stock del jurel en el Pacífico Sur Oriental .....	5
Figura 3: Modelo conceptual de la estructura espacial del stock de jurel en el Pacífico Sur .....	6
Figura 4: Captura total de Jurel al 2011 en el Pacífico Sur Oriental. ....	7
Figura 5: Capturas históricas flota norte de Chile (f1) .....	11
Figura 6: Capturas históricas flota del centro – sur de Chile (f2).....	12
Figura 7: Capturas de jurel entre el 2000 y 2011 en el Pacífico Sur y participación de Chile en la captura global (%). ....	13
Figura 8: Captura nacional de jurel dentro y fuera de la ZEE, 2002 – 2011. ....	13
Figura 9: Distribución espacio-temporal de las capturas de jurel industrial 2008 – 2011. ....	14
Figura 10: Evolución de mortalidad por pesca para cada flota, período 1970 – 2012. ....	15
Figura 11: Distribución de patrones de explotación o “selectividades” de las flotas a la edad. ....	16
Figura 12: Mapa distribución de selectividades por flota en el Pacífico Sur. ....	17
Figura 13: Reclutamiento de individuos (en millones) de jurel en el tiempo. ....	17
Figura 14: Biomasa desovante en el tiempo. ....	18
Figura 15: Reducción de la biomasa desovante virginal del jurel, 1970 – 2012. ....	18
Figura 16: Variaciones de la biomasa desovante por recluta en el largo plazo a distintos valores de F.....	34



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Capturas por flota del recurso jurel. ....	9
Tabla 2: Pesos medios a la edad, madurez y patrones de explotación. ....	21
Tabla 3: Escenarios propuestos modelo de optimización.....	28
Tabla 4: Resultados escenario base (mortalidad por pesca año 2012) .....	29
Tabla 5: Resultados escenario 1 .....	30
Tabla 6: Resultados escenario 2 .....	30
Tabla 7: Resultados escenario 3 .....	31
Tabla 8: Resultados escenario 4 .....	31
Tabla 9: Resultados escenario 5 .....	32
Tabla 10: Resultados escenario 6 .....	33
Tabla 11: Tabla resumen resultados modelo de optimización. ....	33

## RESUMEN

En el presente trabajo se formula un modelo de optimización como herramienta de planificación para la gestión del jurel (*Trachurus murphyi*) en el Pacífico Sur Oriental, principalmente en la asignación de mortalidad por pesca para una pesquería multiflotas que opera anualmente en aguas nacionales e internacionales.

El jurel es una especie tranzonal sujeta a una presión por pesca de cuatro flotas y cuya población actualmente se encuentra fuertemente sobreexplotada. La biomasa del recurso ha descendido considerablemente en las últimas décadas debido a la caída de los reclutamientos y la sobrepesca del recurso por parte de las flotas nacionales y extranjeras.

El modelo propuesto pretende maximizar las capturas en el largo plazo integrando en la problemática las actividades de extracción de cuatro flotas sobre el mismo recurso. Esto se realizó analizando datos históricos de captura y la participación de cada una de estas flotas en la pesquería. El estudio trató la dinámica del recurso considerando la estructura de edades y el reclutamiento de los ejemplares al stock explotable. Para lograr la sustentabilidad del recurso y su pesquería en el tiempo, se impusieron restricciones de borde relacionadas con la mortalidad por pesca y la biomasa de la población. Se analizaron distintos escenarios donde el stock pueda recuperarse en el largo plazo sin afectar en mayor medida el sistema productivo y económico en el cual se desarrolla esta pesquería. Los resultados entregados por el modelo muestran que la flota internacional es la que presenta los mejores patrones de explotación considerando la biología del recurso. Además, es la flota que recibe un mayor nivel de mortalidad por pesca en los escenarios propuestos.

**Palabras clave:** jurel, mortalidad por pesca, biomasa desovante, capturas, modelo optimización.

## ABSTRACT

In this work, optimization model is formulated as a planning tool in the management of a marine resource in the Oriental South Pacific Ocean, especially in the allocation of fishing mortality for fishery which operating multifleet in national and international waters.

The jack mackerel, is a transzonal resource, and is subject to fishing pressure of four fleets and which is currently heavily exploited. The resource biomass has declined significantly in recent decades due to indiscriminate extraction of the resource by domestic and foreign fleets.

The proposed model seeks to maximize catches in a long time for fleets integrating the problem activities fisheries extraction on the resource. This was done by analyzing data of historical capture and participation of each of these fleets in the fishery. The study addressed the resource dynamics considering the age structure and recruitment of the copies to the exploitable stock. To achieve sustainability of the resource and the fishery over time, border restrictions were related to fishing mortality and stock biomass. Analyzed were different scenarios where the stock will recover in the long term without affecting, further the productive and economic system in this fishery which develops. The results provided by the model show that the international fleet is the one with the best operating patterns considering the biology of the resource. In addition, the fleet is receiving a higher level of fishing mortality in the proposed scenarios.

**Keywords:** jack mackerel, fishing mortality, spawning biomass, catch, optimization model.

## 1. INTRODUCCIÓN

El jurel es una especie tranzonal y es una de las pesquerías más importantes de nuestro País en términos de volúmenes y capturas. En el año 1995 se llegaron a capturar cerca de 4 millones de toneladas (Subpesca, 2011) y su comercialización tanto para el consumo directo como para la elaboración de harina de pescado generó importantes ganancias económicas y sociales. Esta especie ha sido objetivo de la flota cerquera del centro sur de Chile y complementaria en la pesquería pelágica del norte, cuya especie objetivo es la anchoveta. Además, este recurso es capturado por Perú y Ecuador dentro de su ZEE y otra flota internacional frente a las costas de Chile central fuera de la ZEE (Japón, Rusia, Cuba, China, Islas Faroe, Belice y la Unión Europea) (Serra, *et al* 2012).

Desde el año 1997 el recurso presentó signos de sobreexplotación lo cual llevó a las autoridades chilenas a imponer vedas de capturas en distintas escalas de tiempo para la flota centro sur del país. En el año 2001 se instauró en el marco regulatorio de las pesquerías la ley LGPA (Ley General de Pesca y Acuicultura, N° 19.713) que pretendió controlar los niveles de esfuerzo de pesca y la puesta en marcha de la ley LMCA (límite máximo de captura por armador). Luego de diversas modificaciones en el transcurso del tiempo a la LGPA (ley N° 20.560 año 2012) las capturas asignadas para establecer el LMCA fueron sustentadas en base a evaluaciones de stock cuyo objetivo principal es la estimación poblacional de los recursos hidrobiológicos, ejecutar planes de manejo e incitar a una mayor investigación de los recursos con el fin de mejorar la administración de las pesquerías.

El problema asociado con la extracción del jurel es que, al ser una especie tranzonal y su distribución abarca una gran parte del Océano Pacífico Sur Oriental, es sometido a una presión de pesca ejercida por las flotas chilenas y extranjeras, estas últimas sin mayor regulación ni consideración sobre la biología y crecimiento del stock poblacional.

El año 2006 se inicio la formación de la Organización Regional de Pesca del Pacífico Sur (ORP – PS), la cual tiene como una de sus principales funciones el implementar medidas de ordenamiento vinculantes sobre las principales pesquerías en el Pacífico Sur. De acuerdo a los signos de sobreexplotación presentados por esta pesquería y con el fin de generar una correcta regulación de toda actividad pesquera tranzonal en alta mar, el año 2010 se realiza la primera evaluación de stock en conjunto con los países que explotan el recurso, la cual sustenta las bases para un manejo pesquero dentro y fuera de la ZEE de Chile (ORP – PS, 2012).

En los últimos años los desembarques han tenido una baja sostenida y actualmente el tamaño del stock desovante es menor al nivel considerado como crítico (Subpesca, 2012), y las posibilidades de recuperación son escasas en el corto plazo. Serra y Canales (2010), señalan que el stock de jurel se encuentra fuera de límites biológicos seguros, con tendencia

creciente de la mortalidad por pesca, un decreciente potencial reproductivo y muy bajos reclutamientos. Ante estas aseveraciones se puede concluir que el recurso jurel está en “crisis” y que su futuro es incierto. Además de esto, existe el problema de asignación de cuotas de capturas no resuelto para las diferentes flotas que extraen el recurso.

Frente al escenario actual el presente trabajo busca establecer un modelo de asignación de mortalidad por pesca entre flotas, que tenga consideración especial en la biología de la especie y permita al stock su recuperación y sustentabilidad en el largo plazo (esto cuando la biomasa alcance el 30% - 40% de la biomasa virginal). Los valores de mortalidad por pesca y los volúmenes de capturas asignadas, restringidas por indicadores de reducción poblacional, permitirán establecer una tasa de explotación ideal a las flotas para que en el largo plazo la pesquería del jurel sea sustentable en el tiempo.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

Establecer una asignación de mortalidad por pesca para cada flota que opera sobre la pesquería del jurel en el Pacífico Sur Oriental, con el objeto de recuperar el recurso en un horizonte de largo plazo, asegurando la sustentabilidad de la especie y bajo un enfoque de maximización de las capturas en el largo plazo.

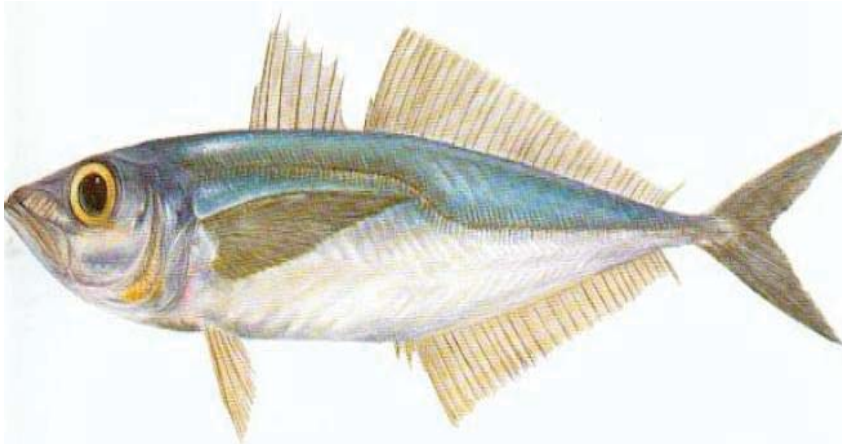
### **2.2 Objetivos Específicos**

- Proponer una metodología para la asignación de mortalidad por pesca en un escenario de multiflotas.
- Determinar una mortalidad por pesca para cada flota que opera en la extracción del recurso jurel, considerando restricciones biológicas y de recuperación poblacional.
- Determinar niveles de volúmenes de captura entre flotas, con el fin de generar condiciones para que el recurso pueda recuperarse en el largo plazo, logrando la sustentabilidad de la actividad pesquera.

### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1. Sobre el recurso y su distribución

El jurel (figura 1) es una especie pelágica tranzonal<sup>1</sup> con una amplia distribución en el Pacífico Suroriental (figura 2). Su distribución se extiende principalmente desde el sur del Ecuador hasta el extremo sur de Chile, cruza el océano Pacífico a lo largo de la convergencia subtropical (app.40° S) alcanzando hasta aguas de Nueva Zelanda y Tasmania (Serra, 1991; Elizarov *et al.*, 1993). Se alimenta de zooplancton, principalmente de eufasidos y tiene una longevidad de 16 años. La edad de reclutamiento ocurre al primer año (ORP-PS, 2012)



**Figura 1:** Morfología del jurel (*Trachurus murphyi*)

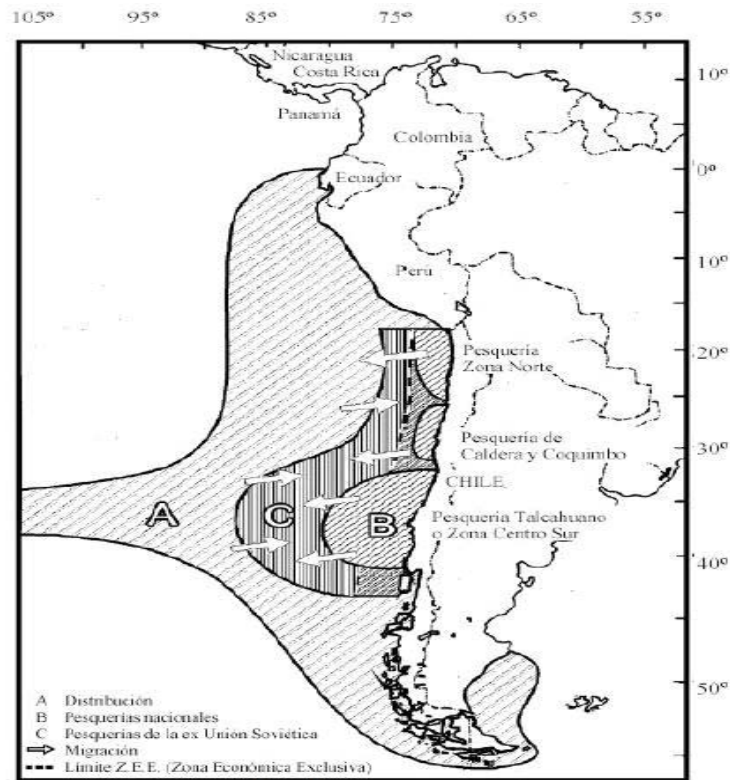
Su distribución batimétrica va desde los 10 m hasta los 180 m, llegando en ocasiones hasta los 300 m de profundidad (Pastor, 1994). Tiene un marcado comportamiento nictimeral, distribuyéndose durante el día entre los 50 y 130 m de profundidad y durante la noche entre los 10 y 40 m de profundidad (Subpesca, 2012).

Serra (1991) postula la existencia de una sola unidad de stock de jurel frente a Chile sobre la base de patrones de abundancia, distribución del tamaño en las capturas y otros antecedentes biológico-pesqueros. En la actualidad se plantean distintas hipótesis de la existencia de 2 o más stock poblacional en el Pacífico Sur Oriental, no obstante, recientemente en el marco de la ORP-PS se ha asumido como hipótesis de trabajo que la unidad poblacional se extiende a todo el Pacífico Sur Oriental.

---

<sup>1</sup>Tranzonal: Grupo de organismos comercialmente explotables, distribuidos más allá o que emigran a través de la frontera marítima entre dos o más jurisdicciones nacionales, o la frontera marítima de una jurisdicción nacional y la alta mar adyacente, cuya explotación puede ordenarse de forma eficaz sólo mediante la cooperación entre los estados interesados (FAO).

En Chile la principal unidad de pesquería se extiende latitudinalmente entre los límites 32° 10' y 42° 00' S (de la V a la X Región), concentrándose en la VIII Región la actividad extractiva de mayor importancia. Secundariamente se encuentra la unidad de pesquería de la zona norte que comprende principalmente desde la XV hasta la IV Región.



**Figura 2:** Distribución geográfica del stock del jurel en el Pacífico Sur Oriental  
Fuente: Serra, 1991

### 3.2. Ciclo de Vida

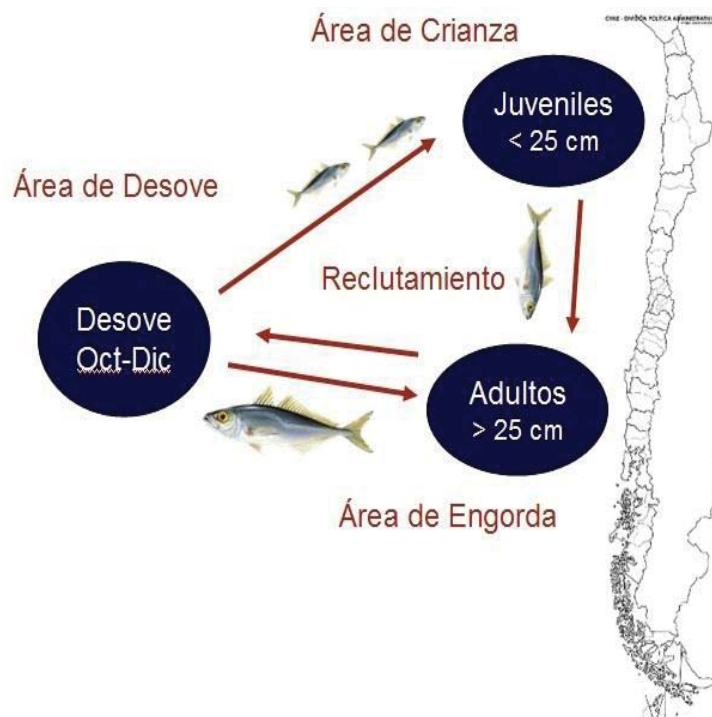
El periodo de desove ocurre a mar abierto y se concentra preferentemente en los meses de noviembre y diciembre, donde los ejemplares maduros realizan de 3 a 6 tandas de desove (Grechina *et al.*, 1998) a partir de las cuales los huevos y larvas permanecen en el área de reproducción.

Después de la etapa de crecimiento, los juveniles de aproximadamente 16 cm de longitud de horquilla (lh), comienzan su proceso de migración desde el Oeste hacia el Este para concentrarse preferentemente en aguas de la zona norte de Chile dentro y fuera de la zona económica exclusiva (ZEE) (Arcos *et al.*, 2001). La figura 3 muestra que, luego de pasar la



etapa de crecimiento en esta zona, el stock viaja a la zona centro de Chile donde se produce el reclutamiento al stock desovante.

Este marcado patrón de la edad respecto de las zonas en que se encuentre el recurso, determina en definitiva los distintos niveles de selectividad o mortalidad por pesca edad-específicos para cada flota.



**Figura 3:** Modelo conceptual de la estructura espacial del stock de jurel en el Pacífico Sur  
Fuente: Arcos *et al.*, 2001

### 3.3. Pesquería del jurel

Las pesquerías del jurel están comprendidas respectivamente por 4 flotas que capturan el recurso en el Pacífico Sur Oriental, estas son:

**Flota 1:** Flota de cerco de la zona del norte de Chile (XV – IV Región)

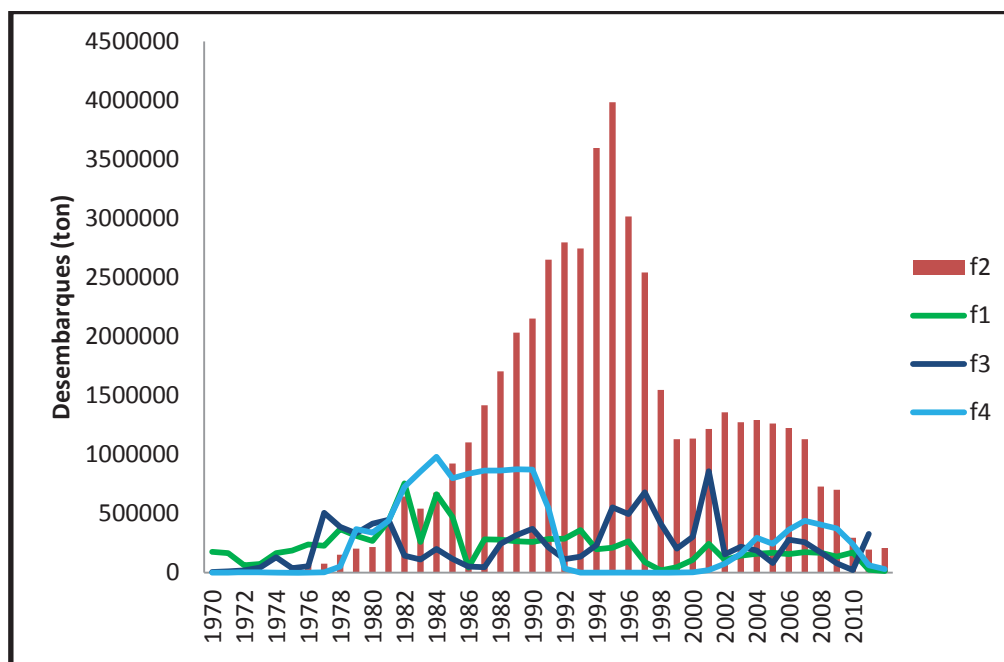
**Flota 2:** Flota de cerco de la zona centro sur de Chile (V – X Región)

**Flota 3:** Flota de extremo del norte, dentro y fuera de la ZEE peruana y dentro de la ZEE del sur de Ecuador

**Flota 4:** Flota internacional de arrastre de media agua en la zona oceánica afuera de la ZEE de Chile

A modo de entender mejor la nomenclatura de las flotas y siguiendo las definiciones dadas por la ORP-PS, de ahora en adelante la flota del norte de Chile será nombrada **f1**, la flota del centro sur de Chile **f2**, la flota del extremo norte **f3** y la flota internacional **f4**.

En la Figura 4 se observa que f2 fue aumentando las capturas del recurso en el tiempo logrando extraer cerca de 4 millones de toneladas en el año 1995. Las extracciones luego de ese periodo ha sido a la baja. Por su parte, f1 ha mantenido un nivel de capturas similar durante todo el tiempo, siendo su máximo en el año 1982 con 756.484 toneladas. El año 2011 se reportaron sólo 23.945 toneladas (ORP-PS, 2012). Cabe señalar que la pesquería del jurel en la zona norte (f1) originalmente constituía la fauna acompañante de los principales recursos objetivos (anchoveta y sardina española). Sólo en 1982 y 1984 alcanza niveles significativos en esta zona, posteriormente declina y continúa con los bajos niveles de desembarques mostrados en la figura.



**Figura 4:** Captura total de Jurel al 2011 en el Pacífico Sur Oriental.  
Fuente: Instituto Fomento Pesquero (IFOP)

Las caídas en los desembarques desde el año 1995, principalmente en f2, se debió al sobre-esfuerzo aplicado sobre la pesquería, la disminución de la talla media de captura del jurel en toda las zonas de pesca y al aumento sostenido del porcentaje de jurel bajo la talla mínima legal de extracción detectados en 1997 (Agüero *et al.*, 2007).

Desde el año 1979 hasta el año 1991 frente a las costas del centro de Chile, fuera de la ZEE, operaron buques pertenecientes a países de la ex URSS y de Cuba. Las flotas internacionales reanudaron sus operaciones frente a esta zona el año 2001, ya que China adquiere la mayor parte de los buques pertenecientes a la ex Unión Soviética que estaban en puertos sin realizar actividades extractivas. Los buques arrastreros vuelven a operar frente a la zona central de Chile fuera de la ZEE, siendo una flota importante que incide sobre la mortalidad por pesca de la especie. Embarcaciones de Belice, Perú, China, Unión Europea, Islas Faroe, Korea, Cuba y Vanuatu concentran sus actividades de pesca en alta mar fuera de la ZEE. (ORP-PS, 2012). Ecuador también registró desembarques en su zona, las que son incluidas en la flota 3.

**Tabla 1:** Capturas por flota del recurso jurel.  
Fuente: ORP-PS, 2012

Año	Flota 1	Flota 2	Flota 3				Subtotal Flota 3
	Norte de Chile	Centro sur de Chile	Perú	Ecuador	USSR	Cuba	
1980	266.697	215.528	123.380	0	252.078	38.841	414.299
1981	435.061	440.935	37.875	0	371.981	35.783	445.639
1982	756.484	643.821	50.013	0	84.122	9.589	143.724
1983	259.128	541.696	76.825	0	31.769	2.096	110.690
1984	663.695	677.910	184.333	0	15.781	560	200.674
1985	471.599	923.042	87.466	0	26.089	1.067	114.622
1986	42.536	1.103.200	49.863	0	1.100	66	51.029
1987	280.594	1.416.781	46.304	0	0	0	46.304
1988	278.701	1.703.037	118.076	0	120.476	5.676	244.228
1989	265.861	2.031.058	140.720	35.108	137.033	3.386	316.247
1990	258.233	2.150.956	191.139	4.144	168.636	6.904	370.823
1991	282.817	2.649.828	136.337	45.313	30.094	1.703	213.447
1992	285.387	2.796.812	96.660	15.022	0	0	111.682
1993	359.947	2.745.099	130.681	2.673	0	0	133.354
1994	197.414	3.596.904	196.771	36.575	0	0	233.346
1995	211.594	3.984.244	376.600	174.393	0	0	550.993
1996	264.631	3.017.165	438.736	56.782	0	0	495.518
1997	88.276	2.541.981	649.751	30.302	0	0	680.053
1998	19.278	1.546.704	386.946	25.900	0	0	412.846
1999	44.582	1.130.488	184.679	19.072	0	0	203.751
2000	107.769	1.135.082	296.579	7.122	0	0	303.701
2001	244.019	1.216.754	723.733	134.011	0	0	857.744
2002	108.727	1.357.185	154.219	604	0	0	154.823
2003	142.016	1.272.302	217.734	0	0	0	217.734
2004	158.656	1.292.943	187.369	0	0	0	187.369
2005	168.383	1.262.051	80.663	0	0	0	80.663
2006	155.256	1.224.685	277.568	0	0	0	277.568
2007	172.701	1.130.083	254.426	927	0	0	255.353
2008	167.258	728.850	169.537	0	0	0	169.537
2009	134.022	700.905	74.694	19.834	0	0	76.629
2010	169.010	295.681	17.559	4.613	0	0	22.172
2011	23.945	194.532	257.241	69.153	0	0	326.394
2012	12.000	208.403	168.779	104	0	0	168.883

**Tabla 1:** Capturas por flota del recurso jurel (Continuación)

Fuente: ORP-PS, 2012

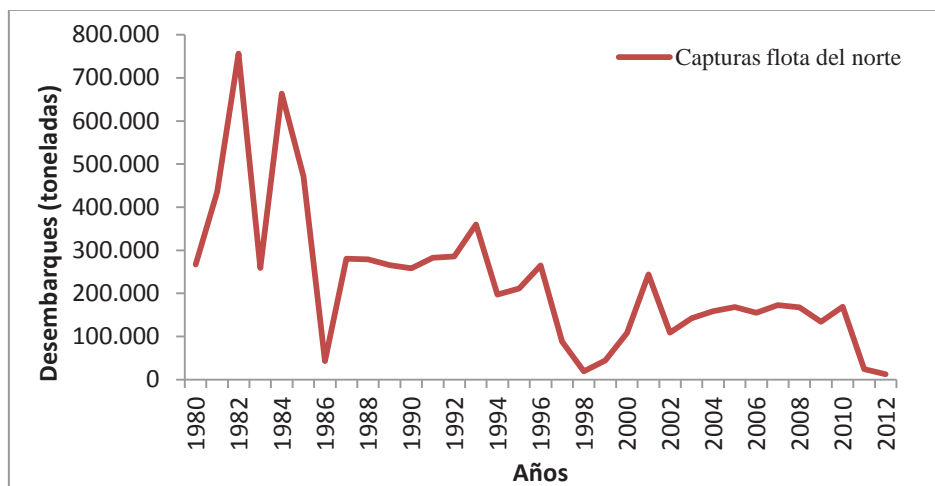
Año	Flota 4										Subtotal Flota 4	Total Regional
	Belize	Perú	Japón	China	EU	Faroe I.	Korea	Russia /USSR	Cuba	Vanuatu		
1980	0	0	0	0	0	0	0	292.892	45.130	0	338.022	1.234.546
1981	0	0	29	0	0	0	0	399.649	38.444	0	438.122	1.759.757
1982	0	0	0	0	0	0	0	651.776	74.292	0	726.068	2.270.097
1983	0	0	1.694	0	0	0	0	799.884	52.779	0	854.357	1.765.871
1984	0	0	3.871	0	0	0	0	942.479	33.448	0	979.798	2.522.077
1985	0	0	5.229	0	0	0	0	762.903	31.191	0	799.323	2.308.586
1986	0	0	6.835	0	0	0	0	783.900	46.767	0	837.502	2.034.267
1987	0	0	8.815	0	0	0	0	818.628	35.980	0	863.423	2.607.102
1988	0	0	6.871	0	0	0	0	817.812	38.533	0	863.216	3.089.182
1989	0	0	701	0	0	0	0	854.020	21.100	0	875.821	3.488.987
1990	0	0	157	0	0	0	0	837.609	34.293	0	872.059	3.652.071
1991	0	0	0	0	0	0	0	514.534	29.125	0	543.659	3.689.751
1992	0	0	0	0	0	0	0	32.000	3.196	0	35.196	3.229.077
1993	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.238.400
1994	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.027.664
1995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.746.831
1996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.777.314
1997	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.310.310
1998	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.978.828
1999	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	7	1.378.828
2000	0	0	0	2.318	0	0	0	0	0	0	2.318	1.548.870
2001	0	0	0	20.090	0	0	0	0	0	0	20.090	2.338.607
2002	0	0	0	76.261	0	0	0	0	0	0	76.261	1.696.996
2003	0	0	0	94.690	0	0	2.010	7.540	0	53.959	158.199	1.790.251
2004	0	0	0	131.020	0	0	7.438	62.300	0	94.685	295.443	1.934.411
2005	867	0	0	143.000	6.179	0	9.126	7.040	0	77.356	243.568	1.754.665
2006	481	0	0	160.000	62.137	0	10.474	0	0	129.535	362.627	2.020.136
2007	12.585	0	0	140.582	123.511	38.700	10.940	0	0	112.501	438.819	1.996.956
2008	15.245	0	0	143.182	106.665	22.919	12.600	4.800	0	100.066	405.477	1.471.122
2009	5.681	13.326	0	117.963	111.921	20.213	13.759	9.113	0	79.942	371.918	1.283.474
2010	2.240	40.516	0	63.606	67.749	11.643	8.183	0	0	45.908	239.845	726.708
2011	0	674	0	32.862	2.248	0	9.253	8.229	8	7.672	60.946	605.817
2012	0	2.996	0	10.797	0	0	5.492	0	0	8.746	28.031	417.317

### 3.4. Desembarques por macro – región en Chile

#### *Zona Norte XV a IV Región.*

El desembarque industrial en la zona norte alcanzó las 12.444 toneladas a noviembre del año 2012, un 60% menor al mismo período del año 2011. Durante el 2011 y el 2012, casi la totalidad del jurel desembarcado en esta unidad de pesquería fue capturado en calidad de fauna acompañante en la pesquería de la anchoveta (Subpesca, 2012).

En la zona de la III y IV región, las capturas industriales se inician durante el primer cuatrimestre del año. Luego de este periodo la flota industrial se desplaza hacia fuera de la ZEE a capturar el recurso, donde se encuentran volúmenes de stock mucho más atractivos comercialmente a excepción de los últimos años donde gran parte de la capturas se han realizado dentro de la ZEE (Subpesca, 2012). En la figura 5 se observa como ha sido el comportamiento de las capturas en los últimos 10 años.

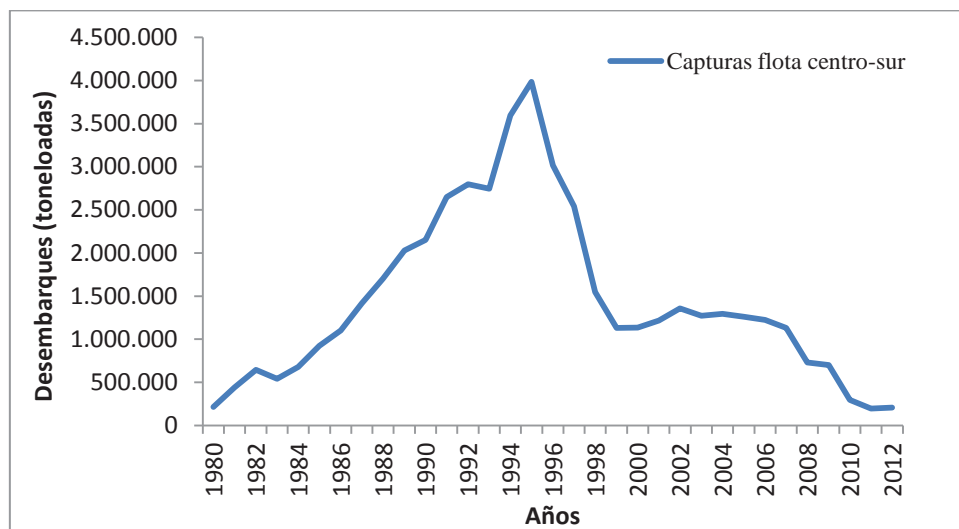


**Figura 5:** Capturas históricas flota norte de Chile (f1)  
Fuente: ORP-PS, 2012

#### *Zona centro - sur de V a X Región*

En el año 1990 la pesquería pelágica de la zona centro-sur pasó a ocupar el primer lugar a nivel nacional. Dicha situación se asocia principalmente a la mayor abundancia y disponibilidad de jurel y a un importante crecimiento del esfuerzo de pesca de la flota de cerco industrial, la que presentó una importante transformación tecnológica (Córdova *et al.*, 2004). El año 1995 se lograron desembarques de jurel a nivel nacional cercanas a las 4 millones de toneladas, tendencia que cambió en los años siguientes. En enero del 2001 se publica la Ley

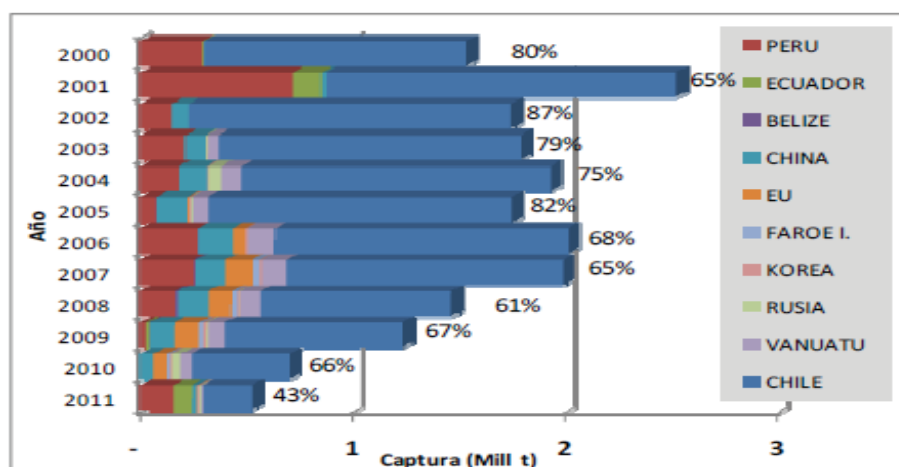
19.713 que establece el Límite Máximo de Captura por Armador (LMCA). La aplicación del LMCA propuso una nueva forma de administración de las pesquerías; lo que tuvo como implicancia un importante cambio en la dinámica operacional de la flota (Córdova *et al.*, 2004). Hasta el mes de noviembre del año 2012 los desembarques alcanzaron 177.781 toneladas (Figura 6), un 12% mayor al mismo período del 2011 (ORP-PS, 2012).



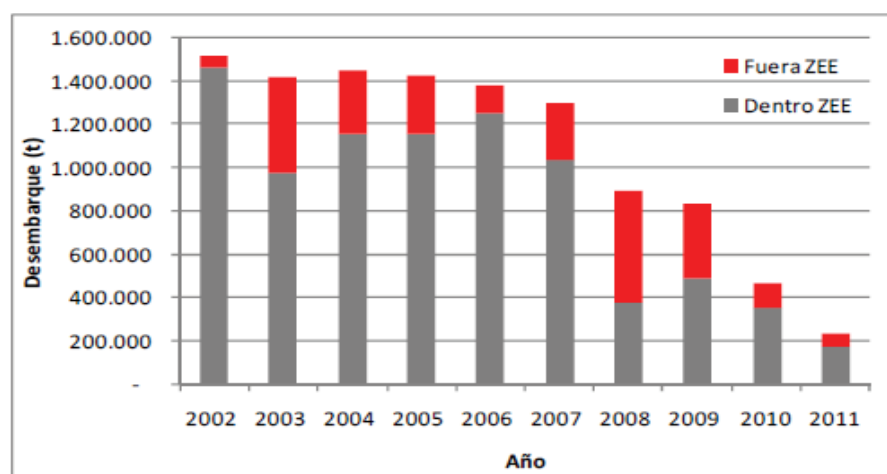
**Figura 6:** Capturas históricas flota del centro – sur de Chile (f2)  
Fuente: ORP-PS, 2012

### 3.5. Capturas en alta mar de la flota chilena

Las capturas en altamar de las flotas chilenas (fuera de la ZEE) aumentaron durante los últimos años, donde incluso los buques han tenido que realizar actividades extractivas fuera de la ZEE, alcanzando en ocasiones los 1.400 mn de la costa (Aranis *et al.*, 2010). Durante los años 2008 y 2009 la actividad pesquera se concentró fuera de la ZEE debido a la baja abundancia del recurso en zonas costeras, llegándose a capturar 580 mil toneladas el año 2008 (58% de la captura a nivel nacional). La figura 7 muestra que a pesar de la dramática disminución de los desembarques, Chile es el principal país que ha explotado el recurso entre los años 2002 y 2011, llegando a extraer 2,5 millones de toneladas de jurel en alta mar, lo que representa el 23% del total capturado en el Pacífico Sur en ese mismo período (Subpesca, 2012). Desde el año 2007 sólo se cuentan como capturas las logradas por las flotas nacionales, ya que desde ese año las cuotas no se han completado y el desempeño de la pesquería nacional al 2012 sugiere que no se van a completar las cuotas debido a la escasez del recurso (Canales, 2012). La captura acumulada en alta mar al año 2012 es de 4.138 toneladas, lo que representa sólo el 1,9% de la captura total permisible y una disminución significativa con respecto al año 2011 de un -92%. (Figura 8).



**Figura 7:** Capturas de jurel entre el 2000 y 2011 en el Pacífico Sur y participación de Chile en la captura global (%).  
Fuente: ORP-PS, 2012



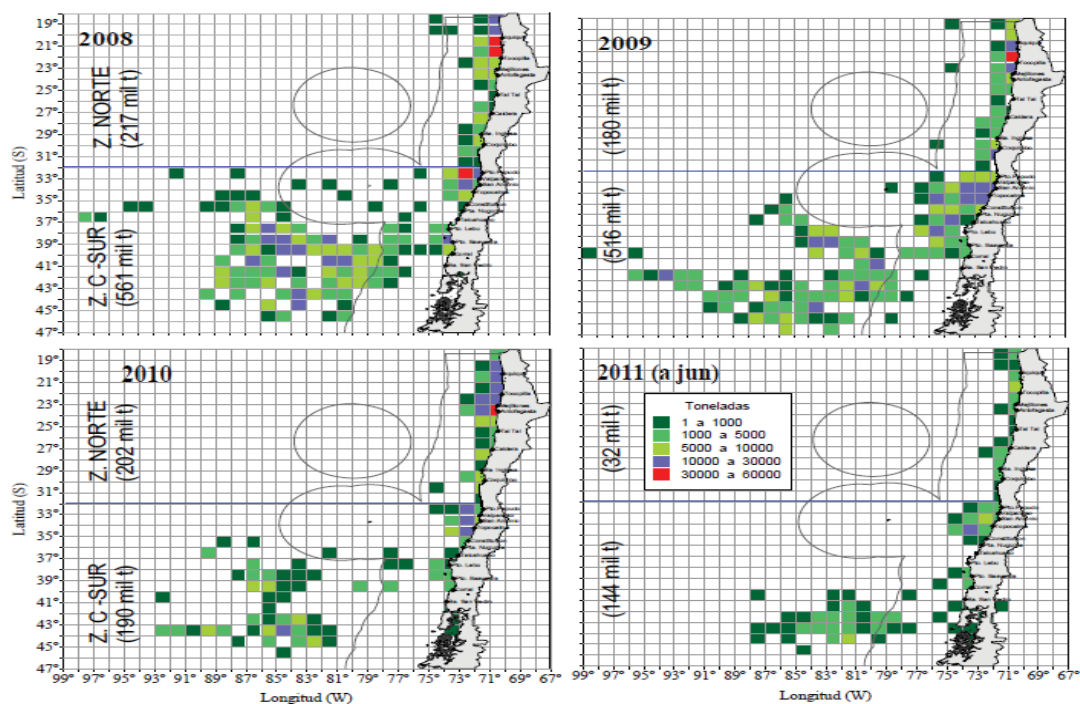
**Figura 8:** Captura nacional de jurel dentro y fuera de la ZEE, 2002 – 2011.  
Fuente: Servicio Nacional de Pesca, 2011

### 3.6. Distribución espacial de las capturas de Chile

En la figura 9 se muestra la distribución espacial de las capturas en la zona norte, la cual ha seguido el mismo patrón de los años anteriores, que tiene como característica principal la extracción del recurso en zonas cercanas a las primeras 50 mn de la costa (Subpesca, 2012). La flota del centro sur de Chile también ha presentado el mismo patrón observado en años anteriores, dentro de las primeras 100 mn de la ZEE durante enero y marzo y en el segundo



semestre la flota sigue el comportamiento migratorio del jurel hacia el noreste de aguas oceánicas para luego regresar a la ZEE (Subpesca, 2012).



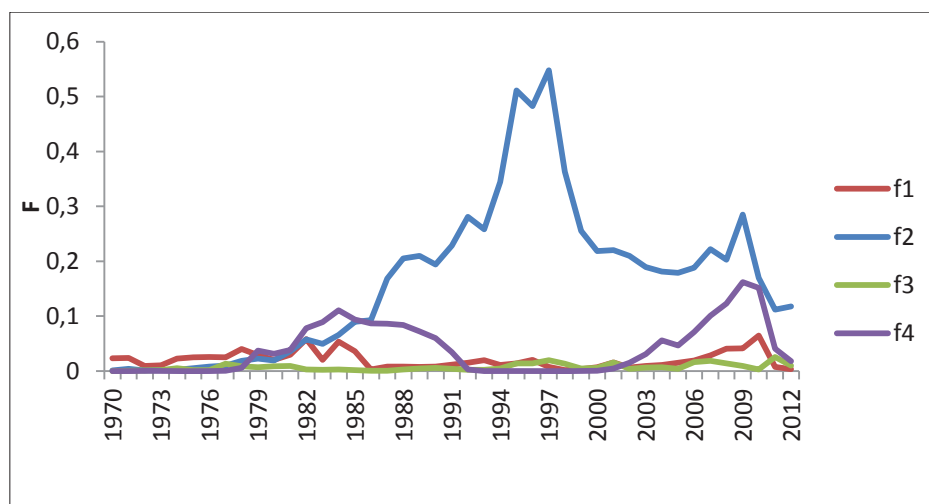
**Figura 9:** Distribución espacio-temporal de las capturas de jurel industrial 2008 – 2011.  
Fuente: Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), 2012.

## 4. ESTADO DE LA POBLACIÓN

El grupo de ciencias de la ORP-PS, considera en la evaluación del recurso jurel, sólo una unidad de stock a nivel regional. Los resultados a continuación fueron obtenidos en la 11ª Reunión del Grupo de Ciencias, Sub-Grupo Jurel de la ORP-PS, realizada en Lima en Octubre del año 2012.

### 4.1. Mortalidad por pesca (F)

La mortalidad por pesca presentó un incremento entre los años 2000 y 2009, donde f2 es la que tiene los más altos niveles durante estos años. Luego del año 2009 la mortalidad por pesca disminuye considerablemente hasta el año 2012, producto de las bajas capturas de jurel y el parcial aumento de los reclutamientos (ORP – PS, 2012).



**Figura 10:** Evolución de mortalidad por pesca para cada flota, período 1970 – 2012.

Fuente: ORP-PS, 2012

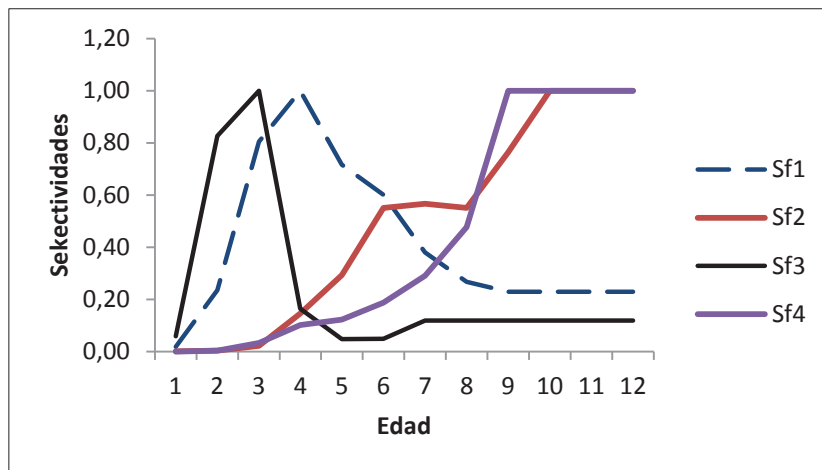
### 4.2. Distribución espacial de la mortalidad por pesca

La flota que opera en el norte de Chile (f1) concentra sus actividades de extracción sobre ejemplares de jurel con una edad no mayor a los 4 años (ORP-PS, 2012). La distribución de las mortalidades por pesca sobre los grupos etarios del stock del jurel conocida también como “patrón de explotación” o “selectividad”, muestra que en la zona norte hay una baja abundancia de ejemplares adultos, en el cual predominan los ejemplares más jóvenes (Figura

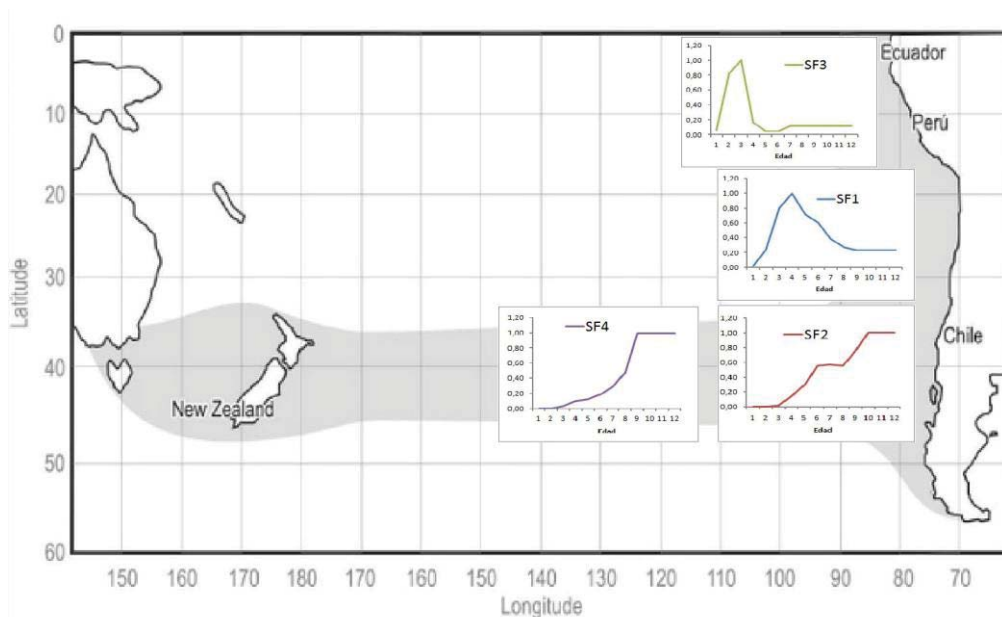
11). Por el contrario, f2 ejerce una presión por pesca sobre los ejemplares mas adultos, capturando individuos preferentemente desde la edad 6 hacia adelante (Subpesca, 2012).

La operaciones de extracción de f3 se concentran preferentemente sobre la edad 3 teniendo un patrón de explotación similar al de f1. Esto se debe a que ambas flotas capturan el recurso en la etapa juvenil, el cual va a alimentarse a las costas ricas en nutrientes (zonas de surgencia) ubicadas en el norte grande de Chile y frente a las costas de Perú (ORP-PS, 2012).

Finalmente, la flota f4 tiene un patrón de explotación similar al de la flota f2, pero ésta captura ejemplares con edades mayores a 9+. La figura 12 muestra un mapa conceptual con las distribuciones por flota en el Pacífico Sur.



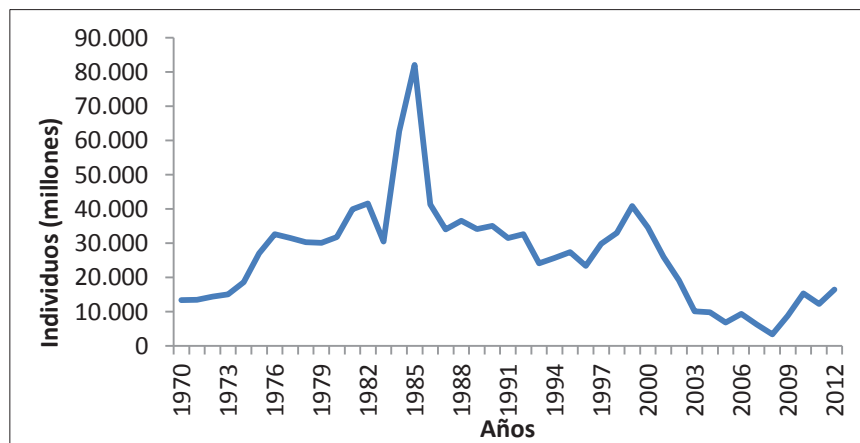
**Figura 11:** Distribución de patrones de explotación o “selectividades” de las flotas a la edad.  
Fuente : ORP-PS, 2012



**Figura 12:** Mapa distribución de selectividades por flota en el Pacífico Sur.  
Fuente: ORP-PS, 2012

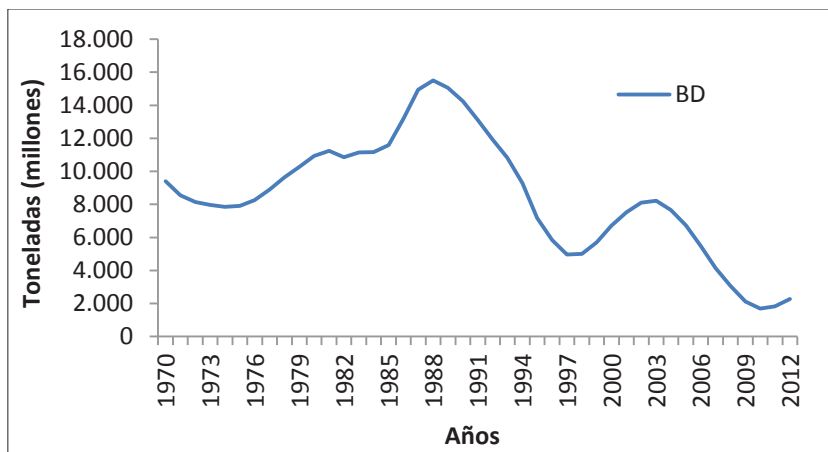
#### 4.3. Reclutamiento y biomasa desovante

El reclutamiento ha mostrado una tendencia decreciente a través del tiempo, observándose dos escalas bien marcadas entre los años 1976 - 1999 y entre el 2003 - 2012. En ese tiempo se presentaron dos niveles de reclutamiento con valores extremadamente altos (1985 y 1999), lo que permitieron el máximo de biomasa desovante los años 1988 y 2003 respectivamente. El año 2010 se presentó un leve aumento de reclutas a la pequería debido a la alta presencia de ejemplares jóvenes (edad 2) en la zona norte de Chile (ORP-PS, 2012).



**Figura 13:** Reclutamiento de individuos (en millones) de jurel en el tiempo.  
Fuente: ORP-PS, 2012

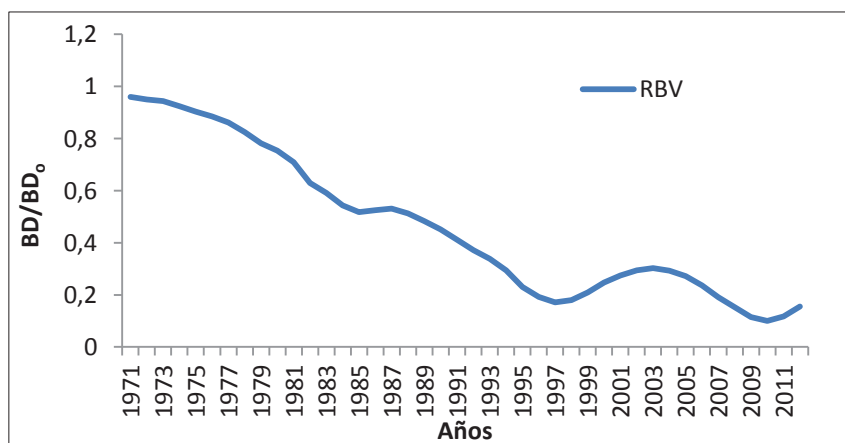
La biomasa desovante del recurso presentó un número máximo el año 1988 para luego decaer sostenidamente hasta el año 2003. A partir de ese período la biomasa desovante tuvo una tendencia a la baja hasta presentar su mínimo histórico el año 2010 (ORP-PS, 2012)



**Figura 14:** Biomasa desovante en el tiempo.  
Fuente: ORP-PS, 2012

#### 4.4. Reducción de la biomasa virginal

La razón de la biomasa desovante respecto de la biomasa virginal presentó una leve recuperación en el año 2005 alcanzando valores cercanos al 20%. Posteriormente mantuvo una tendencia decreciente los años más recientes, alcanzando niveles del 5% de biomasa desovante de lo que habría sin mortalidad por pesca. La figura 15 muestra la grave condición actual en la se encuentra el jurel considerando como referente un límite del 20% (Comité Científico Nacional del Jurel (CCJ), 2012).



**Figura 15:** Reducción de la biomasa desovante virginal del jurel, 1970 – 2012.  
Fuente: ORP-PS, 2012.

#### **4.5. Puntos biológicos de referencia (PBR) para el jurel**

De acuerdo a los resultados obtenidos por el Comité Científico Nacional del Jurel (CCJ) el 2012, se indicó que la sobrepesca ocurre cuando la razón de la mortalidad por pesca respecto de la que produce el máximo rendimiento sostenido (MRS) es  $F / F_{mrs} > 1,39$  y la sobreexplotación ocurre cuando la reducción del stock es  $BD / BDo < 0,22$ . De igual modo, como referentes de manejo se recomendó alcanzar niveles donde  $F / F_{mrs} < 0,6$  y  $BD / BD_{mrs} > 0,38$  (Subpesca, 2012).

#### **4.6. Resumen del estado del jurel**

El recurso se encuentra en un estado de sobreexplotación si se considera como límite de reducción el 20% de la biomasa desovante y con un importante riesgo de sobrepesca debido a que la reducción de la mortalidad por pesca ha sido insuficiente y se mantiene sobre  $F_{mrs}$  (Canales, 2012). La mortalidad por pesca excede tres veces la mortalidad natural y los reclutamientos han disminuido desde el año 2003, lo que entrega una perspectiva pesimista sobre las perspectivas del recurso (Canales, 2012). Debido a lo anterior, el CCJ ha recomendado disminuir la mortalidad por pesca para el año 2013 con respecto a los niveles del año 2012, esto con el objetivo de alcanzar el 40% de la biomasa desovante virginal (CCJ, 2012).

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

La aproximación metodológica está en el campo de la Investigación Operativa, donde se establece un modelo de la dinámica del recurso bajo una condición de equilibrio, sujeto a la explotación de cuatro flotas pesqueras. La función objetivo corresponde a la maximización de las capturas en el equilibrio de largo plazo con restricciones de borde biológicas y operativas.

### 5.1. Modelo biológico pesquero predictivo

Para predecir las capturas y la biomasa en el largo plazo se utilizó como modelo el de “análisis por recluta”. Este es un modelo biopesquero simple, el cual ofrece versatilidad y facilidad en la manipulación de los valores para la obtención de resultados en el largo plazo, por lo que es empleado ampliamente en el campo de la bioeconomía de los recursos marinos.

La información de entrada al modelo de análisis está relacionada con:

- Valores de patrones de explotación o selectividades para cada flota que opera en el Pacífico Sur Oriental.
- Madurez a la edad
- Reclutamiento de la especie.
- Pesos medios a la edad.
- Tasa de mortalidad natural.

Como observación final cabe mencionar que la metodología utilizada se basó en dos supuestos:

1. Este modelo supone una condición de equilibrio en la cual tanto el reclutamiento como la mortalidad por pesca (por grupo de edad) son constantes en el tiempo.
2. El análisis se hace en base a la existencia de un solo stock poblacional de jurel en el Pacífico Sur Oriental.

Los datos están actualizados al año 2012 y fueron obtenidos en la 11<sup>a</sup> reunión de la ORP-PS.

**Tabla 2:** Pesos medios a la edad, madurez y patrones de explotación.  
Fuente: ORP – PS, 2012

Edad	Peso (Kg)	Madurez	$S^{f1}$	$S^{f2}$	$S^{f3}$	$S^{f4}$
1	0,051	0,072	0,02	0,00	0,06	0,00
2	0,088	0,312	0,24	0,00	0,83	0,00
3	0,134	0,725	0,80	0,02	1,00	0,03
4	0,195	0,939	1,00	0,15	0,16	0,10
5	0,261	0,989	0,72	0,29	0,05	0,12
6	0,328	0,998	0,60	0,55	0,05	0,19
7	0,418	1,000	0,38	0,57	0,12	0,29
8	0,534	1,000	0,27	0,55	0,12	0,48
9	0,681	1,000	0,23	0,76	0,12	1,00
10	0,843	1,000	0,23	1,00	0,12	1,00
11	1,070	1,000	0,23	1,00	0,12	1,00
12	1,459	1,000	0,23	1,00	0,12	1,00

$S^f$  es la Selectividad o patrón de explotación de cada flota en el año 2012

## 5.2. Ecuaciones del modelo en equilibrio en base a la edad

Edad:  $i = (1, 2, 3, \dots, 12)$

Flotas:  $f = (1, 2, 3, 4)$

- La mortalidad por pesca a la edad para cada flota se expresa como:

$$F^{f(i)} = F^{f_{ref}} * S^{f(i)} \quad (1)$$

- La tasa de mortalidad instantánea  $Z_{(i)}$ , depende de la mortalidad natural ( $M = 0,23$ ), la mortalidad por pesca ( $F^{f(i)}$ ) por flota y la selectividad ( $S^{f(i)}$ )

$$Z_{(i)} = M + \sum_{f=1}^4 F^{f(i)} \quad (2)$$



**Donde:**

$Z_{(i)}$  = Mortalidad total a la edad

$M$  = Mortalidad Natural (0,23)

$F^f_{(i)}$  = Mortalidad por pesca a la edad para cada flota

$F^f_{ref}$  = Mortalidad por pesca de referencia para cada flota.

$S^f_{(i)}$  = Selectividad a la edad para cada flota

### 5.3. Supervivencia en número

A medida que transcurre el tiempo, la supervivencia en una clase anual va disminuyendo debido a la mortalidad que afecta a cada ser vivo. Esta mortalidad es de forma natural y está relacionada con la falta de alimento, muerte por depredadores, cambios en el medio ambiente, etc. Lo cierto es que existe una fracción de la población que va muriendo en él tiempo y a la vez existe otra parte de los individuos sobreviven.

El análisis es independiente del reclutamiento (número de individuos a edad 1) por lo que su valor al iniciar un periodo se toma igual a 1,0 y su dinámica a través de las edades se resume de la siguiente forma:

$$N_{(i)} = \begin{cases} N_0 = 1 & i = 1 \\ N_{(i-1)} * e^{(-Z_{(i-1)})} & 2 \leq a \leq 12 \end{cases} \quad (3)$$

### 5.4. Biomasa total

La biomasa o peso total de la población ( $B$ ) es igual al número de sobrevivientes  $N_{(i)}$  multiplicado por el peso ( $W_{(i)}$ ) que tiene cada individuo a esa edad. Se expresa en kg.

$$B = \sum_{i=1}^{12} N_{(i)} * W_{(i)} \quad (4)$$

### 5.5. Biomasa desovante

La fecundidad entre los individuos de una misma población se encuentra estrechamente relacionada con la edad o el tamaño de los mismos, estableciéndose en muchos casos que la fecundidad es directamente proporcional al peso total del pez. Por esto, es válido expresar que la fecundidad de la población como la biomasa total desovante. Esta depende de la mortalidad total y se estima a mitad de noviembre como:

$$BD = \sum_{i=1}^{12} N_{(i)} * O_{(i)} * W_{(i)} * e^{(-0,875 * Z_{(i)})} \quad (5)$$

Donde O y W son la madurez sexual y el peso promedio a la edad (kg) respectivamente. El valor 0,875 es la fracción del año donde ocurre el desove y se obtiene al dividir el número 10,5 (mitad de noviembre) por 12 (meses del año). La biomasa desovante se expresa como kg/recluta.

### 5.6. Biomasa desovante virginal

La biomasa desovante virginal corresponde a la biomasa que existiría si no hubiera mortalidad por pesca y la reducción poblacional, bajo ese escenario, la sobrevivencia se explica sólo por la muerte natural del recurso. La biomasa desovante virginal se expresa como kg/recluta.

$$BD_0 = \sum_{i=1}^{12} N_{(i)} * O_{(i)} * W_{(i)} * e^{(-0,875 * M)} \quad (6)$$

### 5.7. Captura en peso por flota

Las capturas en peso tienen una estrecha relación con la edad de los individuos, ya que de acuerdo a estos, los rendimientos aumentan considerablemente. Las capturas en peso por flota es igual a la sumatoria de capturas de los individuos multiplicado por su peso a la edad y por el reclutamiento promedio. Las capturas se expresan en kg.

$$Y^f = \sum_{i=1}^{12} (N_{(i)} * F^f_{(i)} * (1 - e^{-Z_{(i)}}) * W_{(i)}) / Z_{(i)} \quad (7)$$

Donde  $Y^f$  = Capturas en peso por flota (kg)

$W_{(i)}$  = Peso a la edad (kg)

$N_{(i)}$  = Abundancia en número a la edad

$Z_{(i)}$  = Mortalidad total a la edad

$F^f_{(i)}$  = Mortalidad por pesca para cada flota

### 5.8. Capturas totales del jurel en el largo plazo

Para efectos de cálculos de capturas permisibles en el largo plazo y a partir de datos entregados por IFOP, el reclutamiento de la población se considera como el promedio de los años (2006 – 2010). Este valor corresponde a  $R = 8.641$  millones de ejemplares de edad 1.

Las capturas totales corresponden a la sumatoria de los desembarques de las cuatro flotas que explotan el recurso jurel en el Pacífico Sur. Estos volúmenes de desembarques están condicionados al nivel de reclutamiento del recurso.

$$Y^T = R * \sum_{f=1}^4 Y^f \quad (8)$$

Donde  $Y^T$  = Capturas totales de las cuatro flotas.

$R$  = Reclutamiento (8.641 millones de individuos)

$Y^f$  = Capturas por flotas

## 6. FORMULACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO DE OPTIMIZACIÓN

Ya definido el problema, la siguiente etapa es la formulación de un modelo matemático que permite trabajar de acuerdo a la dinámica poblacional del recurso bajo diversas condiciones de explotación. El modelo está basado en la dinámica en equilibrio del largo plazo.

Como se mencionó anteriormente, se considera el supuesto de un sólo stock del jurel en el Pacífico Sur Oriental y el modelo contempla como datos relevantes el valor del reclutamiento promedio de los últimos 5 años ( $R$ ), la cantidad de individuos en cada periodo  $N_{(i)}$ , la mortalidad por pesca a la edad ( $F_{(i)}$ ), la tasa de mortalidad natural ( $M$ ), la biomasa desovante ( $BD$ ), el peso medio a la edad ( $W_{(i)}$ ), la madurez sexual a la edad ( $O_{(i)}$ ), los patrones de explotación de cada flota ( $S_{(i)}$ ) y la época del año en que se produce el desove. El objetivo principal es que el modelo propuesto es que entregue resultados concretos en cuanto referentes para la asignación de mortalidad por pesca y volúmenes de captura a las distintas flotas que capturan el jurel en el Pacífico Sur.

### VARIABLES DE CONTROL

$$\begin{aligned} F_{ref}^f &= \text{Mortalidad por pesca de referencia para cada flota } (f) \\ f &= 1, 2, 3, 4 \end{aligned}$$

### VARIABLES DE ESTADO

$$\begin{aligned} Y^f &= \text{Capturas en peso por flota } (f) \\ Y^T &= \text{Desembarques totales} \\ S_{(i)}^f &= \text{Selectividad o patrón de explotación a la edad para cada flota} \\ F_{(i)}^f &= \text{Mortalidad por pesca a la edad} \\ Z_{(i)} &= \text{Mortalidad total a la edad para cada flota} \\ P^1 &= \text{Proporción capturas } f1 \text{ de las capturas chilenas} \\ P^f &= \text{Proporción de capturas para cada flota en el largo plazo.} \\ P^{f1+f2} &= \text{Proporción de capturas chilenas respecto de las capturas totales} \end{aligned}$$

La función objetivo del modelo se expresa en términos de la maximización de la suma de las capturas en peso para las cuatro flotas que explotan el recurso jurel en el Océano Pacífico Sur Oriental, la que se observa en la ecuación 8.

$$\mathbf{MAX Y} = \sum_{f=1}^4 \mathbf{Y}^f \quad (8)$$

Donde:  $f = 1, 2, 3, 4$

S.a

$$1) \quad \mathbf{F}_{ref}^f \geq 0$$

$$2) \quad \mathbf{BD} / \mathbf{BD}_0 \geq \delta \quad 0 < \delta < 1$$

$$3) \quad \mathbf{P}^1 = \mathbf{Y}^{f1} / (\mathbf{Y}^{f1} + \mathbf{Y}^{f2})$$

$$4) \quad \mathbf{P}^f = \mathbf{Y}^f / \sum_{f=1}^4 \mathbf{Y}^f$$

$$5) \quad \mathbf{P}^{f1+f2} = \sum_{f=1}^2 \mathbf{Y}^f / \sum_{f=1}^4 \mathbf{Y}^f$$

**Donde:**

- 1) Restricción de no negatividad dinámica de la mortalidad por pesca para cada flota.
- 2) Escape mínimo de biomasa desovante (reducción de la biomasa desovante virginal)
- 3) Proporción de capturas del norte de (f1) respecto a las capturas totales
- 4) Proporción de capturas en el largo plazo para cada flota
- 5) Proporción de capturas de Chile proyectadas al largo plazo

**6.1. Escenarios propuestos para el modelo**

Con el objeto de integrar distintas variables y niveles de incertidumbre ante la situación actual del jurel, se trabajó bajo distintos escenarios derivados del estado del recurso. Estos están relacionados principalmente con los desembarques históricos, participaciones históricas de las flotas en la actividad extractiva y un escape de biomasa desovante mínimo relacionado con sus PBR. Los escenarios se describen a continuación:

Escenario base: Considera solo la proyección de las condiciones actuales de mortalidad por pesca en equilibrio, y se evalúa el desempeño de la biomasa y capturas en el largo plazo.

Escenario 1: Se aplica la restricción del 30% del escape de la biomasa desovante.

Escenario 2: Se evalúa con la restricción del 30% de escape de la biomasa desovante asignándole el 10% de las capturas totales chilenas a f1.

Escenario 3: Se aumenta la restricción del 30% al 40% de escape de la biomasa desovante manteniendo la asignación del 10% de las capturas totales chilenas a f1.

Escenario 4: Se mantiene la restricción del 40% de escape de la biomasa desovante manteniendo la asignación del 10% de las capturas totales chilenas a f1. Se integrara la restricción del 80% de la proporción de las capturas totales históricas a las flotas chilenas (f1 y f2)

Escenario 5: Se mantiene la restricción del 40% de escape de la BD manteniendo la asignación del 10% de las capturas totales chilenas a f1. La restricción del 80% de la proporción de las capturas totales históricas a las flotas chilenas (f1 y f2) bajara a un 60%.

Escenario 6: Se mantiene la misma proporción de mortalidad por pesca por flota identificada en el escenario base, pero se aplica la restricción de mantener un escape del 40% de la BD. La asignación de mortalidad por pesca base corresponde a un 3% para f1, 77% para f2, 9% para f3 y 11% para f4.

De acuerdo a lo anterior, los escenarios propuestos quedan resumidos en la siguiente tabla:

**Tabla 3:** Escenarios propuestos modelo de optimización.

<b>Escenario</b>	<b>F</b>	<b><math>\delta</math></b>	<b>P<sup>1</sup></b>	<b>P<sup>f1+f2</sup></b>	<b>P<sup>f</sup></b>
Base	-	-	-	-	-
1	$\geq 0$	0,3	-	-	-
2	$\geq 0$	0,3	0,1	-	-
3	$\geq 0$	0,4	0,1	-	-
4	$\geq 0$	0,4	0,1	0,8	
5	$\geq 0$	0,4	0,1	0,6	
6	$\geq 0$	0,4	-	-	= Base

## 7. RESULTADOS

La proyección del escenario base (tabla 4) genera una captura total de 695.014 toneladas con una biomasa desovante en el largo plazo del 50% respecto de la virginal. Estos valores fueron obtenidos de acuerdo a los niveles actuales de mortalidad por pesca. Las celdas de color azul representan las asignaciones de mortalidad por pesca para cada flota.

**Tabla 4:** Resultados escenario base (mortalidad por pesca año 2012)

Edad	0,01	0,24	0,04	0,04	BDr	Y <sup>f1</sup>	Y <sup>f2</sup>	Y <sup>f3</sup>	Y <sup>f4</sup>	Y <sup>T</sup>
	f1	f2	f3	f4						
1	0,000	0,000	0,002	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,002	0,001	0,035	0,000	0,017	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002
3	0,006	0,005	0,042	0,001	0,046	0,000	0,000	0,003	0,000	0,004
4	0,008	0,035	0,007	0,004	0,065	0,001	0,003	0,001	0,000	0,004
5	0,006	0,070	0,002	0,005	0,067	0,000	0,005	0,000	0,000	0,006
6	0,005	0,132	0,002	0,008	0,059	0,000	0,009	0,000	0,001	0,010
7	0,003	0,135	0,005	0,012	0,051	0,000	0,008	0,000	0,001	0,009
8	0,002	0,132	0,005	0,020	0,045	0,000	0,007	0,000	0,001	0,008
9	0,002	0,183	0,005	0,042	0,036	0,000	0,008	0,000	0,002	0,010
10	0,002	0,239	0,005	0,042	0,027	0,000	0,008	0,000	0,001	0,009
11	0,002	0,239	0,005	0,042	0,020	0,000	0,006	0,000	0,001	0,007
12	0,002	0,239	0,005	0,042	0,026	0,000	0,008	0,000	0,001	0,009
					0,463	21,299	535,339	63,212	75,164	695,014

En el escenario 1 (tabla 5), donde se integra la restricción de mantener un escape del 30% de la biomasa desovante, la asignación de mortalidad por pesca otorgada por el modelo fue preferentemente hacia f2 y f4. En este escenario el modelo actuó de manera “libre”, ya que dicha asignación solo se hizo en base a mantener un nivel de escape aceptable en el largo plazo y sin otra restricción.



**Tabla 5: Resultados escenario 1**

	0,00	0,70	0,00	0,35						
<b>Edad</b>	<b>f1</b>	<b>f2</b>	<b>f3</b>	<b>f4</b>	<b>BDr</b>	$Y^{f1}$	$Y^{f2}$	$Y^{f3}$	$Y^{f4}$	$Y^T$
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,000	0,002	0,000	0,001	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,015	0,000	0,011	0,049	0,000	0,001	0,000	0,001	0,002
4	0,000	0,102	0,000	0,035	0,065	0,000	0,008	0,000	0,003	0,011
5	0,000	0,205	0,000	0,043	0,057	0,000	0,014	0,000	0,003	0,017
6	0,000	0,386	0,000	0,065	0,038	0,000	0,019	0,000	0,003	0,022
7	0,000	0,397	0,000	0,101	0,023	0,000	0,012	0,000	0,003	0,016
8	0,000	0,386	0,000	0,165	0,014	0,000	0,007	0,000	0,003	0,010
9	0,000	0,535	0,000	0,346	0,006	0,000	0,005	0,000	0,003	0,008
10	0,000	0,701	0,000	0,346	0,002	0,000	0,003	0,000	0,001	0,004
11	0,000	0,701	0,000	0,346	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001
12	0,000	0,701	0,000	0,346	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
					0,276	0,000	620,689	0,000	185,534	806,223

Las asignaciones de mortalidad por pesca en el escenario 2 y 3 fueron en su totalidad para f4, esto quiere decir que a ese nivel de escape de biomasa desovante, y como ya fuera mencionado, el mejor patrón de explotación relacionado con la sustentabilidad del recurso lo tiene la flota internacional (f4). Las capturas en estos escenarios (tabla 6 y 7) alcanzaron las 804.700 y 812.400 toneladas y las diferencias se explican solo por el aumento del escape de biomasa desovante del 30% (escenario 2) al 40% (escenario 3).

**Tabla 6: Resultados escenario 2**

	0,000	0,000	0,000	1,596						
<b>Edad</b>	<b>f1</b>	<b>f2</b>	<b>f3</b>	<b>F4</b>	<b>BDr</b>	$Y^{f1}$	$Y^{f2}$	$Y^{f3}$	$Y^{f4}$	$Y^T$
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,000	0,000	0,000	0,005	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000	0,053	0,048	0,000	0,000	0,000	0,004	0,004
4	0,000	0,000	0,000	0,162	0,061	0,000	0,000	0,000	0,012	0,012
5	0,000	0,000	0,000	0,196	0,057	0,000	0,000	0,000	0,013	0,013
6	0,000	0,000	0,000	0,299	0,043	0,000	0,000	0,000	0,016	0,016
7	0,000	0,000	0,000	0,463	0,028	0,000	0,000	0,000	0,017	0,017
8	0,000	0,000	0,000	0,762	0,014	0,000	0,000	0,000	0,016	0,016
9	0,000	0,000	0,000	1,596	0,003	0,000	0,000	0,000	0,011	0,011
10	0,000	0,000	0,000	1,596	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002
11	0,000	0,000	0,000	1,596	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12	0,000	0,000	0,000	1,596	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
					0,276	0,021	0,191	0,000	804,685	804,897

**Tabla 7: Resultados escenario 3**

	0,000	0,000	0,000	0,864						
Edad	f1	f2	f3	f4	BDr	Y <sup>f1</sup>	Y <sup>f2</sup>	Y <sup>f3</sup>	Y <sup>f4</sup>	Y <sup>T</sup>
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,000	0,000	0,000	0,003	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000	0,028	0,049	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002
4	0,000	0,000	0,000	0,088	0,067	0,000	0,000	0,000	0,007	0,007
5	0,000	0,000	0,000	0,106	0,068	0,000	0,000	0,000	0,008	0,008
6	0,000	0,000	0,000	0,162	0,059	0,000	0,000	0,000	0,011	0,011
7	0,000	0,000	0,000	0,251	0,047	0,000	0,000	0,000	0,014	0,014
8	0,000	0,000	0,000	0,412	0,032	0,000	0,000	0,000	0,017	0,017
9	0,000	0,000	0,000	0,864	0,015	0,000	0,000	0,000	0,020	0,020
10	0,000	0,000	0,000	0,864	0,006	0,000	0,000	0,000	0,008	0,008
11	0,000	0,000	0,000	0,864	0,003	0,000	0,000	0,000	0,004	0,004
12	0,000	0,000	0,000	0,864	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002
					0,368	0,002	0,015	0,000	812,387	812,404

El escenario 4 (tabla 8) asigna una mortalidad por pesca a f1, f2 y f4, dejando fuera a f3. Las restricciones propuestas tenían que ver con un 40% de los escapes de biomasa desovante, asignar una cantidad de capturas a f1 y que las capturas totales alcanzadas en el largo plazo sean un 80% para las flotas chilenas (tal como ha ocurrido durante los últimos años). En este caso f2 concentra el mayor volumen de capturas de jurel seguido por f4 y f1. La biomasa desovante alcanza el 40%.

**Tabla 8: Resultados escenario 4**

	0,025	0,378	0,000	0,146						
Edad	f1	f2	f3	f4	BDr	Y <sup>f1</sup>	Y <sup>f2</sup>	Y <sup>f3</sup>	Y <sup>f4</sup>	Y <sup>T</sup>
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,006	0,001	0,000	0,000	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	0,020	0,008	0,000	0,005	0,048	0,001	0,001	0,000	0,000	0,002
4	0,025	0,055	0,000	0,015	0,066	0,002	0,004	0,000	0,001	0,008
5	0,018	0,111	0,000	0,018	0,065	0,001	0,008	0,000	0,001	0,011
6	0,015	0,208	0,000	0,027	0,051	0,001	0,013	0,000	0,002	0,016
7	0,010	0,214	0,000	0,042	0,040	0,000	0,010	0,000	0,002	0,013
8	0,007	0,208	0,000	0,069	0,031	0,000	0,008	0,000	0,003	0,011
9	0,006	0,289	0,000	0,146	0,020	0,000	0,008	0,000	0,004	0,012
10	0,006	0,378	0,000	0,146	0,012	0,000	0,006	0,000	0,002	0,009
11	0,006	0,378	0,000	0,146	0,007	0,000	0,004	0,000	0,001	0,005
12	0,006	0,378	0,000	0,146	0,007	0,000	0,003	0,000	0,001	0,005
					0,368	62,955	566,594	0,000	157,388	786,937

En el escenario 5 (tabla 9) se utilizaron las mismas restricciones que en el escenario 4, solo que esta vez la proporción de las capturas chilenas bajó de un 80% a un 60%. El modelo fijó (al igual que en caso anterior) una asignación de mortalidad por pesca a f1, f2 y f4, llegando a una captura total en el largo plazo de 795.300 toneladas. Haciendo una comparación con el escenario 4, la mortalidad por pesca aumentó para f1 y disminuyó en f2, en cambio f4 tuvo el doble de asignación (al igual que las capturas). El escape de biomasa desovante alcanzó el 40% en el largo plazo. Cabe destacar que una restricción en las capturas de las flotas chilenas aumentarían las capturas totales en el largo plazo.

**Tabla 9:** Resultados escenario 5

	0,019	0,291	0,000	0,304						
<b>Edad</b>	<b>f1</b>	<b>f2</b>	<b>f3</b>	<b>f4</b>	<b>BDr</b>	$Y^{f1}$	$Y^{f2}$	$Y^{f3}$	$Y^{f4}$	$Y^T$
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,004	0,001	0,000	0,001	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	0,015	0,006	0,000	0,010	0,048	0,001	0,000	0,000	0,001	0,002
4	0,019	0,043	0,000	0,031	0,067	0,002	0,003	0,000	0,002	0,007
5	0,014	0,085	0,000	0,037	0,066	0,001	0,007	0,000	0,003	0,010
6	0,011	0,160	0,000	0,057	0,053	0,001	0,010	0,000	0,004	0,015
7	0,007	0,165	0,000	0,088	0,042	0,000	0,008	0,000	0,004	0,013
8	0,005	0,160	0,000	0,145	0,031	0,000	0,006	0,000	0,006	0,012
9	0,004	0,223	0,000	0,304	0,019	0,000	0,006	0,000	0,008	0,014
10	0,004	0,291	0,000	0,304	0,010	0,000	0,004	0,000	0,004	0,009
11	0,004	0,291	0,000	0,304	0,006	0,000	0,002	0,000	0,002	0,005
12	0,004	0,291	0,000	0,304	0,005	0,000	0,002	0,000	0,002	0,004
					0,368	47,720	429,482	0,000	318,136	795,338

Finalmente, en el escenario 6 (tabla 10) la proporción de capturas alcanzadas por el modelo se igualaron a la proporción de capturas proyectadas en el escenario base. Esto se hace para hacer más realista el ejercicio y comparar las proporciones actuales de capturas con las proyectadas en el largo plazo. Bajo estas condiciones la asignación de mortalidad por pesca fue fijada en las cuatro flotas, siendo f2 la que tuvo un mayor nivel de asignación y f4 en una menor medida. Las capturas proyectadas por el modelo alcanzan las 760.100 toneladas, siendo f2 la que concentra un mayor volumen con 585.500 toneladas, casi el 77% a nivel regional. El escape de biomasa desovante alcanzó el 40%.

**Tabla 10:** Resultados escenario 6

	0,010	0,374	0,050	0,070						
Edad	F1	F2	F3	F4	BDr	Y <sup>f1</sup>	Y <sup>f2</sup>	Y <sup>f3</sup>	Y <sup>f4</sup>	Y <sup>T</sup>
1	0,000	0,000	0,003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,002	0,001	0,041	0,000	0,017	0,000	0,000	0,003	0,000	0,003
3	0,008	0,008	0,050	0,002	0,045	0,001	0,001	0,003	0,000	0,005
4	0,010	0,055	0,008	0,007	0,062	0,001	0,004	0,001	0,001	0,006
5	0,007	0,110	0,002	0,009	0,062	0,000	0,008	0,000	0,001	0,009
6	0,006	0,206	0,002	0,013	0,050	0,000	0,012	0,000	0,001	0,014
7	0,004	0,212	0,006	0,020	0,040	0,000	0,010	0,000	0,001	0,012
8	0,003	0,206	0,006	0,034	0,032	0,000	0,008	0,000	0,001	0,010
9	0,002	0,286	0,006	0,070	0,023	0,000	0,008	0,000	0,002	0,010
10	0,002	0,374	0,006	0,070	0,014	0,000	0,007	0,000	0,001	0,009
11	0,002	0,374	0,006	0,070	0,009	0,000	0,005	0,000	0,001	0,005
12	0,002	0,374	0,006	0,070	0,010	0,000	0,005	0,000	0,001	0,006
					0,368	23,294	585,488	69,134	82,205	760,121

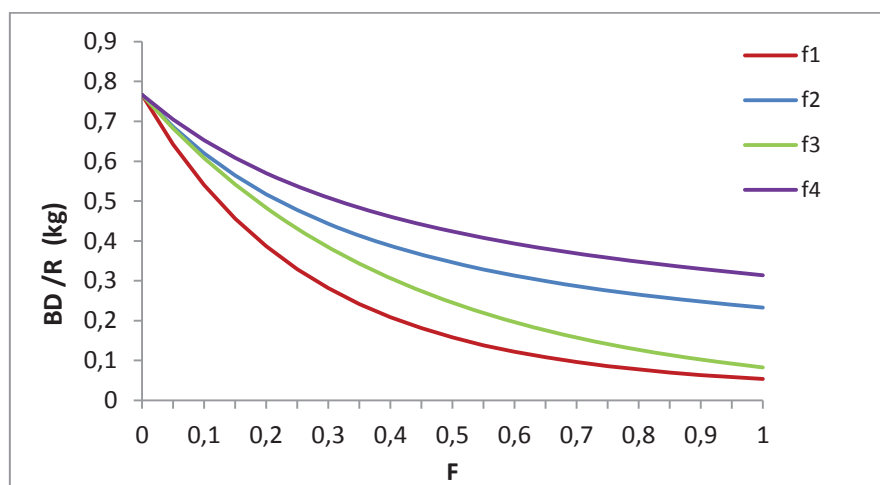
El escenario ideal corresponde aquel donde la captura es máxima (Escenario 3, 812,4 mil toneladas) y se genera si toda la explotación se realizara siguiendo el patrón de selectividad de la flota f4. Se destaca que esta flota siempre tiene participación para todos los casos analizados, no así la flota f3 que el modelo de optimización elimina del análisis en la mayoría de los casos. Los resultados muestran que la variabilidad de las capturas totales de las cuatro flotas está en el rango de 695.000 y 812.400 toneladas (tabla 11).

**Tabla 11:** Tabla resumen resultados modelo de optimización. Las capturas (Y) están en miles de toneladas

Escenarios	f1	f2	f3	f4	Y <sup>f1</sup>	Y <sup>f2</sup>	Y <sup>f3</sup>	Y <sup>f4</sup>	Y <sup>T</sup>	BD/BD <sub>0</sub>	P <sup>i</sup>	P <sup>f1+f2</sup>
Base	0,01	0,24	0,04	0,04	21,30	535,3	63,2	75,2	695,0	50%	-	80%
1	0,00	0,70	0,00	0,35	0,00	620,7	0,0	185,5	806,2	30%	0%	77%
2	0,00	0,00	0,00	1,60	0,02	0,2	0,0	804,7	804,9	30%	10%	0%
3	0,00	0,00	0,00	0,86	0,00	0,0	0,0	812,4	812,4	40%	10%	0%
4	0,03	0,38	0,00	0,15	62,95	566,6	0,0	157,4	786,9	40%	10%	80%
5	0,02	0,29	0,00	0,30	47,72	429,5	0,0	318,1	795,3	40%	10%	60%
6	0,01	0,37	0,05	0,07	23,29	585,5	69,1	82,2	760,1	40%	4%	80%

## 8. DISCUSIÓN

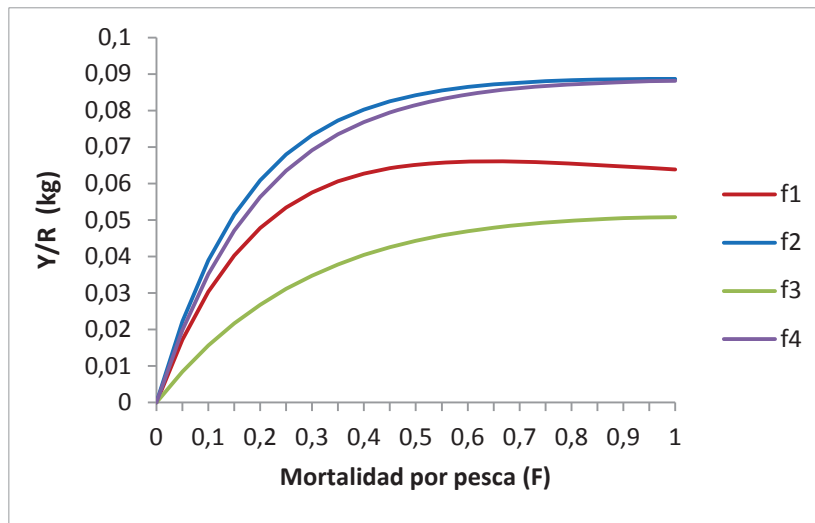
De acuerdo con los resultados alcanzados, se puede decir que las flotas con mayor impacto sobre la biomasa desovante del recurso serían la flota de la zona norte de Chile (f1) y la flota del Perú-Ecuador (f3). Un aumento en el nivel de mortalidad por pesca para estas flotas generaría una mayor reducción poblacional, y esto se debe ya que f1 y f3 capturan preferentemente ejemplares juveniles (bajo la talla mínima de captura). Se tiene conocimiento que la biomasa desovante disminuye a medida que se incrementa la mortalidad por pesca, pero esta disminución está estrechamente relacionada con las mortalidades de cada flota y sus patrones de explotación. En términos comparativos, se observa entonces que la mortalidad por pesca de f1 genera una mayor disminución del stock respecto de f4 para un mismo nivel de mortalidad por pesca (figura 16).



**Figura 16:** Variaciones de la biomasa desovante por recluta en el largo plazo a distintos valores de F.

Fuente: elaboración propia a partir de datos de IFOP.

Si bien los resultados nos permiten visualizar como la mortalidad por pesca de f1 y f3 afectan en mayor medida a la biomasa desovante en el largo plazo, un segundo análisis nos muestra que estas mismas flotas tienen un rendimiento por recluta menor respecto de las flotas (f2 y f4) las que generan menor impacto en la población. Lo anterior se explica dado que f1 y f3 ejercen una mayor presión de pesca sobre los ejemplares juveniles del stock del jurel y desaprovechan el crecimiento en peso individual. El máximo rendimiento lo obtiene f2 y el menor rendimiento lo tiene f3. La figura 17 muestra los rendimientos por recluta para cada flota.



**Figura 17:** Rendimientos por recluta para cada flota.  
Fuente: elaboración propia a partir de datos de IFOP

Cabe la pena destacar que en estudios recientes (IFOP, 2012), se concluyó que los actuales niveles de captura en la zona norte de Chile (f1) no tienen efecto alguno sobre el patrón de explotación general de la pesquería dado su bajo y controlado nivel de mortalidad por pesca. Además, en el informe se indica que este nivel de capturas sobre los ejemplares juveniles no tendría efecto significativo en las proyecciones de las biomazas desovantes futuras (Comité Científico Jurel, 2012).

De acuerdo a los resultados obtenidos, vale la pena preguntarse si resulta conveniente dejar sin capturar a f1 y f3 (situación óptima entregada por el modelo) para alcanzar los máximos niveles de captura en el largo plazo y atendiendo las consideraciones biológicas del recurso. Los resultados muestran que, respecto de la condición base, se perdería el 10% de ganancia en biomasa desovante virginal (del 50% se baja al 40%, Escenario 3) pero el costo para la industria pesquera en general puede ser muy elevado. De igual forma, de mantenerse la actual distribución de desembarques y para un mismo objetivo de manejo (p.ej. 40% de escape de biomasa desovante), la pérdida de un porcentaje de capturas ideales (óptimas) en el largo plazo, es mucho menor al costo económico y social que significaría dejar sin capturar a f1 y f3 (escenario 3 versus escenario 6).

Para finalizar, el análisis sobre la problemática de la asignación de mortalidad por pesca para las cuatro flotas parece haber entregado respuestas coherentes, las que seguramente podrán servir como referentes a la hora de establecer criterios de asignación espacial para las capturas futuras del jurel.

## 9. CONCLUSIÓN

Los resultados del presente trabajo han permitido establecer que el modelo de optimización estructurado a la edad bajo un reclutamiento constante, permite generar una asignación de mortalidad por pesca ideal teniendo en cuenta la sustentabilidad del stock desovante en el largo plazo. Sin desconocer su variabilidad, el supuesto de reclutamiento constante significa que el valor esperado en el largo plazo estará representado por el promedio de este parámetro poblacional.

En los diferentes escenarios propuestos se concluye que las flotas que generarían un mayor impacto sobre el stock del jurel serían la flota del norte de Chile (f1) y la flota de Perú y Ecuador (f3). La explicación está en el hecho que estas flotas ejercen una presión de pesca preferentemente sobre ejemplares juveniles, e impactando posteriormente en el reclutamiento al stock desovante.

Por otro lado, la mayor de asignación de mortalidad por pesca en los diferentes escenarios fue para la flota internacional que captura en aguas internacionales fuera de la ZEE de Chile (f4), configurándola como la flota ideal, lo cual se explica por un patrón de explotación orientado a ejemplares de mayor edad del stock del jurel (7 a 12 años), propiciando el reclutamiento de los ejemplares juveniles al stock desovante. La extensión del análisis corrobora el planteamiento de que las flotas f1y f3 son las que comprometen la sustentabilidad de la población del jurel del Pacífico Sur. La solución a lo anterior pasa por tener una mayor restricción en sus niveles de mortalidad por pesca.

Bajo el supuesto que en los próximos años el reclutamiento se mantenga en torno al promedio de los últimos años, las proyecciones de captura podría llegar a las 695 mil toneladas si se mantiene la estructura actual de mortalidad por pesca, con lo cual la biomasa desovante llegaría a niveles cercanos al 50% de la biomasa virginal. En el caso óptimo (escenario 3), la captura podría llegar a las 812 mil toneladas, pero con un gran perjuicio para la flota del norte de Chile (f1) y la flota de Perú y Ecuador (f3).

El trabajo realizado generó la posibilidad de tener una idea más clara de cuales son aquellas flotas que necesitan una mayor restricción en sus volúmenes de captura, y por tanto, en sus niveles de mortalidad por pesca.

Sin perjuicio de los resultados y conclusiones alcanzadas en este trabajo, resulta recomendable integrar dentro del modelo las variables ambientales que podrían estar explicando la dispersión y disponibilidad del jurel. Con el fin de complementar las soluciones encontradas en este trabajo, se recomienda incorporar al modelo elementos de programación estocástica sobre un escenario puntual, ya que la incertidumbre en la dinámica de la población

y el comportamiento de cada especie es variable en el tiempo y espacio dentro del ecosistema marino.



## 10. REFERENCIAS

- Adrianov, D.P 1990.** Algunos antecedentes de la reproducción el jurel (*Trachurus murphyi*) (Nichols), en las aguas peruanas. *Voprosy Iktyologii*. 25 (1) pp. 96-104.
- Albornoz, V., & C. Canales. 2002.** Planificación de la Conservación y Explotación del Langostino Colorado usando un Modelo de Optimización Estocástica No-Lineal con Recurso. *Information Tecnológica*, 13 (4), 183-190.
- Albornoz, V., & C. Canales. 2006.** Modelo de optimización para el cálculo de la cuota de captura de langostino amarillo. *Investigaciones Marinas*, Vol. 34(1) 2006. 7 pp.
- Albornoz, V., & C. Canales. 2006.** Total allowable catch for managing squat lobster fishery using stochastic nonlinear programming. *Computers & Operations Research* 33, 2113-2124.
- Albornoz, V., & C. Canales. 2008.** Manejo de pesquerías. Cuotas de captura. En A. Ramos, A. Alonso-Ayuso, G. Pérez (Eds.), *Optimización bajo Incertidumbre*. Biblioteca Comillas. Publicaciones de la Universidad Pontificia Comillas, Cap. 19. 9 pp.
- Agüero, M., M. Claverí & R. Norambuena. 2007.** Evaluación del desempeño de políticas de control del esfuerzo y sobrecapacidad extractiva en las pesquerías de la zona centro-sur de Chile: sardina, jurel, anchoveta y merluza de cola. En: M. Agüero (Ed). *Capacidad de Pesca y Manejo Pesquero en América Latina y el Caribe*, 73-109 pp.
- Arancibia, H. 2010.** Modificación de la distribución de la fracción industrial de la cuota de jurel, año 2010. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. N°82/2010, Concepción, 50 pp.
- Aranis, R., A. Gómez, L. Caballero, M. Ramírez, G. Eisele, M. González, F. Cerna, V. Bocic, G. Muñoz, A. López, C. Machuca, F. Espíndola, S. Mora, C. Mora & Z. Young. 2011.** Informe final. Asesoría integral para la toma de decisiones en pesca y acuicultura, 2010. "Pesquerías Pelágicas Centro-Sur, 2010. SUBPESCA. 213 pp.
- Araya, R. 2005.** Modelo de optimización para determinar cuotas de captura de un recurso pesquero con interacción tecnológica: el caso del Jurel. Memoria para optar al título de Ingeniero civil industrial. UTFSM (2005), Valparaíso, 77 pp.

- Arcos, D., L. Cubillos & S. Nuñez. 2001.** The jack mackerel fishery and El Niño 1997-98 effects off Chile. *Progress in Oceanography*, 49: 597-617 pp.
- Arcos, D., C. Gatica, P. Ruiz, A. Sepulveda, M. Barbieri, R. Alarcón, S. Nuñez, J. Chong, J. Córdova, H. Rebolledo & C. Gonzáles. 2004.** Condición biológica de jurel en alta mar. Informe Final. Proyecto FIP 2004 – 33: 194 pp.
- Barría, P., A. Aranís, S. Mora, G. Böhm, R. Serra, C. Martínez, V. Catasti, H. Reyes, G. Muñoz & A. Gómez. 2003.** Diagnóstico de la pesquería chilena de jurel (*Trachurus symmetricus murphy*). En: E. Yáñez (Ed.). *Actividad Pesquera y de Acuicultura en Chile.*, Escuela de Ciencias del Mar, PUCV, 123-141 pp.
- Canales, C., R. Serra, C. Martínez, A. Aranís, L. Caballero, J. Córdova, J.C. Quiroz, M. Canales, V. Bocic, A. Sepúlveda, C. Gatica, S. Nuñez, M. Aguayo, J. Giacamán, M. Arteaga, R. Alarcón, C. González & L. Cubillos. 2009.** Revisión de metodologías de evaluación del jurel a nivel subregional. Informe Final. FIP N° 2007-23: 150 pp.
- Casanova, C. 2007.** Distribución espacio temporal de la pesquería del jurel (*Trachurus murphyi*) en la zona centro sur de Chile durante los años 1995, 2000 y 2003, y su relación con cambios del ambiente. Proyecto para optar al título de Ingeniero Pesquero. PUCV (2007), Valparaíso, 76 pp.
- Córdova, J., M. A. Barbieri, H. Miranda, M. Espejo & M. Rojas. 1999.** Evaluación hidroacústica del recurso jurel en la ZEE de Chile. Informe Final FIP N°98-11, Chile, 307 pp.
- Córdova, J., M. A. Barbieri, S. Nuñez, V. Catasti, V. Valenzuela & M. Espejo. 2004.** Evaluación hidroacústica de jurel en la V y X Región. Informe Final FIP N°2003-02, 293 pp.
- Córdova, J., B. Leiva, V. Catasti, V. Bocic, S. Nuñez, S. Vásquez, M. Correa, M. Reyes, J. Angulo, J. Saavedra, V. Valenzuela, P. Rojas, C. Lang & F. Leiva. 2011.** Evaluación hidroacústica del recurso jurel entre V a IX y XIV Región, año 2010. Instituto de Fomento Pesquero, Chile. 126 pp.
- Elizarov, A. A., A. Grechina, S., B. Kotenev, & A. Kuzetsov. 1993.** Peruvian jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*, in the open waters of the South Pacific. *Journal of Ichthyology*, 33:86–104.

- Gerlotto, F., M. Gutiérrez & A. Bertrand. 2012.** Insights on population structure of the Chilean Jack Mackerel (*Trachurus murphyi*). *Aquatic Living Resources*, 25: 341–355.
- Grechina, A. S., S. Nuñez, & D. Arcos. 1998.** Biología reproductiva del jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) en el Pacífico sur. En: D. Arcos (ed.). *Biología y ecología del jurel en aguas chilenas*. Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano, 77 – 79. Hunter, J. and B Macewicz. 1985. Rates of atresia in the ovary of captive and wild northern anchovy, *Engraulis mordax*. *Fishery Bulletin*: Vol 83 N° 2. 119 – 136 pp.
- Grechina, A. 1994.** Influencia de El Niño de los años 1982-1983 en la distribución de las concentraciones comerciales del jurel. En: D. Arcos y A. Grechina (eds.). Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano, Chile, 123-127.
- Leal, E, E. Diaz, J. Saavedra. 2012.** Reproductive Timing and Maturity at Length and Age of Jack Mackerel *Trachurus murphyi*, in the Chilean Coast. South Pacific Regional Fisheries Management Organization, Lima, Perú, 12 pp.  
<http://www.southpacificrfmo.org/assets/11th-SWG-and-10th-DIWG-meetings/JM-subgroup/SWG-11-JM-07-Jack-Mackerel-Maturity-off-the-Chilean-Coast1.pdf>
- Pastor, E. 1994.** El recurso jurel (*Trachurus murphyi*) especie de alto valor comercial. *Revista de circulación mundial Pesca*, Vol. 62. 5pp.
- Sepúlveda, A., S, H. Núñez, L. Peña, A. Cubillos, T. Hernández, D. Mariela, Bucarey, A. Rojas, F. Vejar, C. González, M. Barbieri, J. Córdova, M. Espejo & S. Lillo. 2000.** Condiciones biológicas del jurel en alta mar. Proyecto FIP 99-14. Pre-informe Final. Septiembre. 144 pp.
- Serra, J.R. 1991.** Important life history aspects of the Chilean jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*. *Investigación Pesqueras (Chile)*, 36: 67-83.
- Serra, R., C. Canales & L. Caballero. 2004.** Investigación captura total permisible jurel, 2004. Informe Final. IFOP/SUBPESCA. 48 pp. + Anexo.
- Serra, R. & C. Canales. 2010.** Investigación del estatus y evaluación de estrategia de explotación sustentable en jurel 2010. Informe Final IFOP/SUBPESCA. 55 pp. + Anexo.

**Serra, R. & C. Canales 2012.** Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2012. Jurel. IFOP. 53 pp.

**South Pacific Regional Fisheries Management Organization. 2012.** 11th Meeting of the Science Working Group. SWG-11-08a, Peru 2nd National Report 2012.  
<http://www.southpacificrfmo.org/eleventh-meeting/>

**Subsecretaria de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA). 2012.** Cuota anual de captura de jurel, para las unidades de pesquería de la XV – II, III – IV, V – IX y XIV – X regiones, año 2012. Informe Técnico (R.Pesq.) N° 129/2011, Valparaíso, 75 pp.

**Subsecretaria de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA). 2012.** Revisión talla mínima de jurel en el marco de la ley 20.485 (CCJ). Informe Técnico (R.Pesq.) N° 107/2012, Valparaíso, 30 pp.

**Vallejos, R., A. Zapata, V. Albornoz & M. Tarifeño. 2009.** Join routing and dimensioning of optical burst switching networks. *Photonic Network Communications*, Vol. 17 (3), 266-276.

**Yáñez, E. 1991.** Relationships between environmental changes and fluctuating major pelagic resources exploited in Chile (1950-1988). In: Kawasaki, T., S. Tanaka, Y. Toba & A. Taniguchi (eds.). *Long term variability of pelagic fish populations and their environment*. Pergamon Press, 301-309 pp.

**Yáñez, E., M.A. Barbieri & C. Silva. 2003.** Fluctuaciones ambientales de baja frecuencia y principales pesquerías pelágicas chilenas. *In: Actividad Pesquera y de Acuicultura en Chile*. E. Yáñez (Ed.), Escuela de Ciencias del Mar, PUCV, 109-122 pp.

## 11. ANEXOS

### 11.1. Anexo 1

#### Desembarques y cuotas de la flota Chilena

**Tabla 1:** Cuota de captura y desembarques  
Fuente: Servicio Nacional de Pesca

		2005	2006	2007	2008	2009	2010
Desembarques (toneladas)	Industrial	1.393.890	1.330.906	1.254.448	853.668	789.845	385.160
	Artesanal	36.544	39.356	48.336	42.440	45.082	64.840
	<b>TOTAL</b>	<b>1.430.434</b>	<b>1.370.262</b>	<b>1.302.784</b>	<b>896.108</b>	<b>834.927</b>	<b>450.000</b>
Cuota (toneladas)	Industrial	1.338.859	1.263.500	1.444.000	1.474.400	1.263.500	1.173.250
	Artesanal	70.466	66.500	76.000	77.600	66.500	61.750
	<b>TOTAL (*)</b>	<b>1.409.325</b>	<b>1.330.000</b>	<b>1.520.000</b>	<b>1.552.000</b>	<b>1.330.000</b>	<b>1.235.000</b>

#### Antecedentes legales y medidas de regulación vigentes.

#### Unidades de la Pesquería

Las unidades de la pesquería del jurel son:

- Unidad de Pesquería XV, I y II Región
- Unidad de Pesquería III y IV Región
- Unidad de Pesquería V y IX Región
- Unidad de Pesquería X Región

#### Régimen de Acceso

Las unidades de pesquería de la XV a la X región se encuentran declaradas en plena explotación, suspendida la inscripción de pescadores y armadores artesanales en el registro artesanal.

## **Medidas de Administración**

### **Cuota de captura**

La cuota global de captura en el año 2011 es de 284.000 toneladas fraccionada en 8.520 toneladas para la pesca de investigación, 261.706 para la pesca industrial y 13.774 para la pesca artesanal (D. Ex. N°1.453 de 2010).

### **Límite Máximo de Captura por Armador y Régimen Artesanal de Extracción**

#### **Los LMCA fueron establecidos por:**

- Unidad de Pesquería XV y II Región (D. EX. N° 1.454 de 2010)
- Unidad de Pesquería de III y IV Región (D. EX. N° 1.454 de 2010)
- Unidad de Pesquería de V y IX Región (D. EX. N° 1.454 de 2010)
- Unidad de Pesquería XIV y X Región (D. EX. N° 1.454 de 2010)

La fracción artesanal de la pesquería de Jurel sometida al Régimen de Extracción Artesanal por organizaciones de pescadores artesanales es aplicada en algunas regiones de la siguiente manera:

- Pesquería Artesanal de jurel para el período enero-diciembre de 2011 para la V Región (R. Ex. N° 300 de 2011).
- Pesquería Artesanal de jurel para el período enero-diciembre de 2011 para la XIV Región (R. Ex. N° 186 de 2011).
- Pesquería Artesanal de jurel para el período enero-diciembre de 2011 para la X Región (R. Ex. N° 301 de 2011).

### **Cierre de Acceso**

En la actualidad, se mantiene cerrado el acceso por un año a las unidades de pesquería del recurso jurel en toda el área de su pesquería, I a X Regiones, mediante el D.EX. (MINECON) N° 693 del 2011. Como consecuencia de lo anterior, mediante la RES. EX.(SUBPESCA) N° 2.041 del 2011, se encuentran suspendidas transitoriamente por un año,

a contar del 30 de julio del 2011, las inscripciones en los registros artesanales categoría pescador artesanal, en la sección de la pesquería de Jurel, en las regiones I a X.

### **Vedas**

Durante el año 2012 no está sometido a veda este recurso.

### **Arte de Pesca**

Durante el año 2012 no existe ninguna restricción al arte de pesca para este recurso

### **Talla Mínima Legal**

La talla mínima legal a nivel nacional es de 26 cm de longitud horquilla (D.S N° 458/81), con un porcentaje de tolerancia para extracción, transporte, tenencia y elaboración de ejemplares no superiores al 35% medido en número de cada desembarque o de existencia en planta de elaboración o medios de transporte (Res. N° 1.633/99)

### **Porcentaje fauna acompañante**

La Subsecretaría de Pesca conforme la facultad de la Ley, ha determinado y fijado porcentajes máximos de desembarque de recursos en Plena Explotación, como fauna acompañante de otras pesquerías, con el objetivo de reducir y/o mitigar las interferencias producidas entre pesquerías y/o los descartes. De esta manera, el Decreto Exento anual que fija las cuotas globales anuales de captura de jurel, incluye la distribución de la reserva autorizada en calidad de fauna acompañante para este recurso entre la I y X Región.

### **Autorización transitoria de la actividad pesquera industrial en el área de reserva artesanal.**

La Ley General de Pesca y Acuicultura, en su artículo 47°, reserva a la pesca artesanal el ejercicio de las actividades pesqueras extractivas en una franja del mar territorial de cinco millas medidas desde las líneas de base normales, a partir del límite norte de Chile hasta el paralelo 41°28,6´L.S. y alrededor de las islas oceánicas, así como también las aguas interiores del país. Asimismo, dicho artículo establece que la Subsecretaría de Pesca, previo informe

técnico del Consejo Zonal de Pesca que corresponda, podrá autorizar en forma transitoria el ejercicio de la pesca industrial en la referida área de reserva.

En relación al arte de pesca utilizado para capturar el Jurel es el cerco. En la zona norte las dimensiones alcanzan entre las 350 y 620 brazas de relinga superior y en la zona sur puede alcanzar hasta 1.020 brazas, con malla de 2 pulgadas. La figura 1 indica someramente la acción de pesca del buque cerquero.



**Figura 1:** Embarcación tipo dedicada a la explotación y sistema de recolección (cerco)  
Fuente: Fondo de investigación pesquera (FIP)

## Productos

Los principales productos de exportación del Jurel son los congelados, harina y aceite, y recientemente la conservas como un producto de mayor valor agregado, cuya evolución se puede observar en la tabla 2.

**Tabla 2:** Evolución de la producción de jurel en Chile (toneladas)  
Fuente: Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Chile

Regiones	Producto/Año	2007	2008	2009	2010	2011	Rendimiento Promedio (%) 2011
XV - II	Aceite de Pescado	3.375	3.396	2.274	2.386	745	2,5%
	Congelados	46	405	256	211	228	100,0%
	Harina de Pescado	44.461	39.411	31.856	41.189	7.254	24,0%
	Otros <sup>1</sup>	3		1		0,5	30,0%
III - IV	Aceite de Pescado	212	609	166	200	160	0,6%
	Conservas	7.044	6.041	9.910	12.883	9.045	65,7%
	Congelados	245	393	841	1.356	45	100,0%
	Harina de Pescado	4.509	9.295	8.200	12.801	6.129	24,1%
	Otros <sup>1</sup>				61		
V- IX	Aceite de Pescado	29.043	19.724	9.399	5.463	2.427	4,9%
	Conservas	92.993	59.689	75.069	16.465	20.781	40,1%
	Congelados	142.566	62.508	118.586	36.287	59.345	84,5%
	Harina de Pescado	157.423	88.982	59.284	32.357	10.865	22,1%
	Otros	312	878	234	584	2.801	95,3%
XIV-X	Aceite de Pescado	26	1418	407	270	44	5,0%
	Conservas	310	466				
	Congelados	4	144	34			
	Harina de Pescado	3.700	3.773	1.220	960	177	20,0%
TOTAL	Aceite de Pescado	<b>32.656</b>	<b>25.147</b>	<b>12.246</b>	<b>8.319</b>	<b>3.377</b>	<b>3,2%</b>
	Conservas	<b>100.347</b>	<b>66.196</b>	<b>84.979</b>	<b>29.348</b>	<b>29.826</b>	<b>45,5%</b>
	Congelados	<b>142.861</b>	<b>63.450</b>	<b>119.717</b>	<b>37.854</b>	<b>59.618</b>	<b>84,5%</b>
	Harina de Pescado	<b>210.093</b>	<b>141.461</b>	<b>100.560</b>	<b>87.307</b>	<b>24.425</b>	<b>23,1%</b>
	Otros <sup>1</sup>	<b>315</b>	<b>878</b>	<b>235</b>	<b>645</b>	<b>2.801</b>	<b>95,3%</b>



## Comercialización y Precios

En la tabla 3 se presentan los volúmenes de exportaciones de jurel destinados al consumo humano entre los años 2007 y 2012, donde las exportaciones de conservas han ido disminuyendo drásticamente de 76.111 a 6.422 toneladas. Las exportaciones de congelados han caído desde las 158.405 hasta las 71.875 toneladas actuales (Subpesca, 2012). En la tabla 4 se aprecian los valores (en miles de US\$) y los volúmenes de exportación (toneladas) de acuerdo al tipo de harina de pescado elaborada a partir del jurel. También se observa la producción de aceite de pescado medidas en las unidades mencionadas anteriormente. Cabe señalar que para el año 2012 las cifras con preliminares hasta el mes de julio.

**Tabla 3:** Evolución de las exportaciones de jurel por línea de producción al 2012. Para el último año son cifras preliminares

Fuente: Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Chile

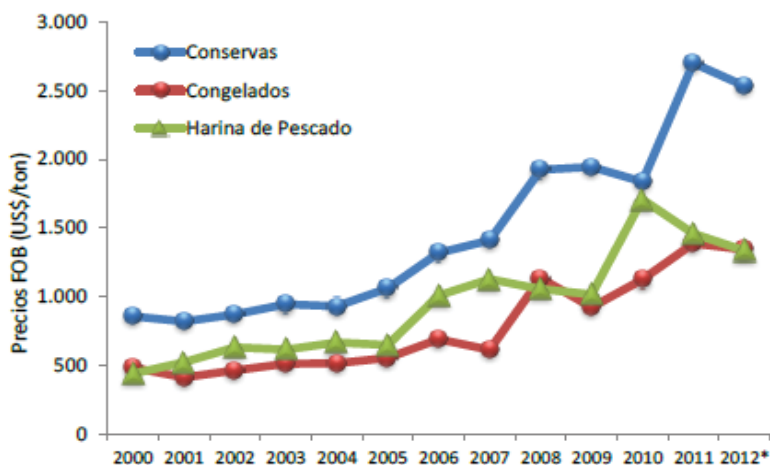
AÑO		2007	2008	2009	2010	2011	2012
Conserva	Valor (miles US\$)	107.156	83.699	82.027	46.053	31.647	16.274
	Volumen( toneladas)	76.111	43.509	42.190	25.061	11.716	6.422
Congelado	Valor (miles US\$)	96.674	65.566	99.604	48.271	78.157	96.516
	Volumen( toneladas)	158.405	57.824	108.195	42.947	56.379	71.876
Otros <sup>1</sup>	Valor (miles US\$)	1.323	2.884	3.608	5.361	1.479	182
	Volumen( toneladas)	2.278	4.450	5.522	7.866	1.817	171

**Tabla 4:** Evolución de exportaciones de harina y aceite de pescado de peces pelágicos al 2012. Para este último año los datos son preliminares

Fuente: Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Chile

AÑO		2007	2008	2009	2010	2011	2012
Sin Especificar	Valor (miles US\$)	0	367	39	831	0	0
	Volumen( toneladas)	0	360	39	539	0	0
Estándar	Valor (miles US\$)	83.758	94.307	102.799	47.940	82.203	34.245
	Volumen( toneladas)	83.589	98.477	105.249	30.773	62.336	28.088
Prime	Valor (miles US\$)	170.903	179.609	259.336	220.113	236.883	116.371
	Volumen( toneladas)	154.763	172.877	268.194	131.931	167.610	91.962
Súper Prime	Valor (miles US\$)	233.613	166.884	204.069	203.092	110.576	61.536
	Volumen( toneladas)	194.939	146.751	183.796	113.232	64.684	38.895
TOTAL HARINA	Valor (miles US\$)	<b>488.274</b>	<b>441.167</b>	<b>566.243</b>	<b>471.976</b>	<b>429.662</b>	<b>212.152</b>
	Volumen( toneladas)	<b>433.291</b>	<b>418.466</b>	<b>557.278</b>	<b>276.475</b>	<b>294.631</b>	<b>158.945</b>
Aceite	Valor (miles US\$)	14.618	55.246	25.043	26.105	32.785	21.221
	Volumen( toneladas)	17.411	40.454	39.614	24.932	19.978	12.674

Los precios han ido en aumento de acuerdo a las exportaciones de los últimos años. La figura 2 expone la evolución de precios las distintas líneas de proceso del jurel (Subpesca, 2012). Las cifras para el año 2012 son preliminares hasta el mes de julio.

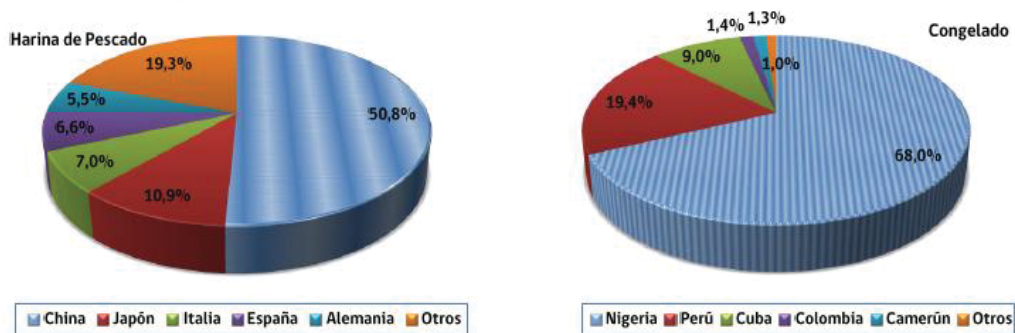


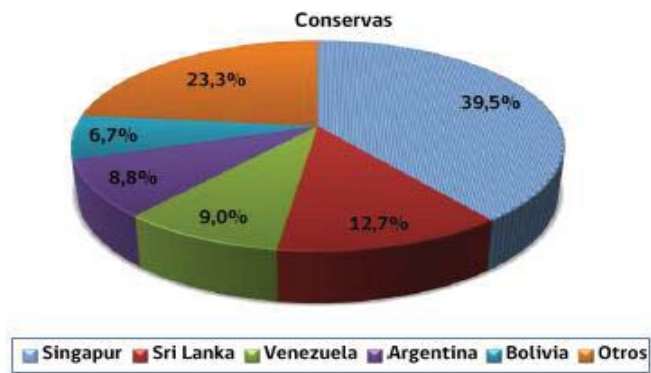
**Figura 2:** Evolución de precios de las principales líneas de producción.  
Fuente: Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Chile

### Principales mercados de destino

Las exportaciones de jurel durante el año 2011 tuvieron como destino los países asiáticos siendo el principal producto requerido los congelados (Subpesca, 2011)

#### • Principales mercados de destino



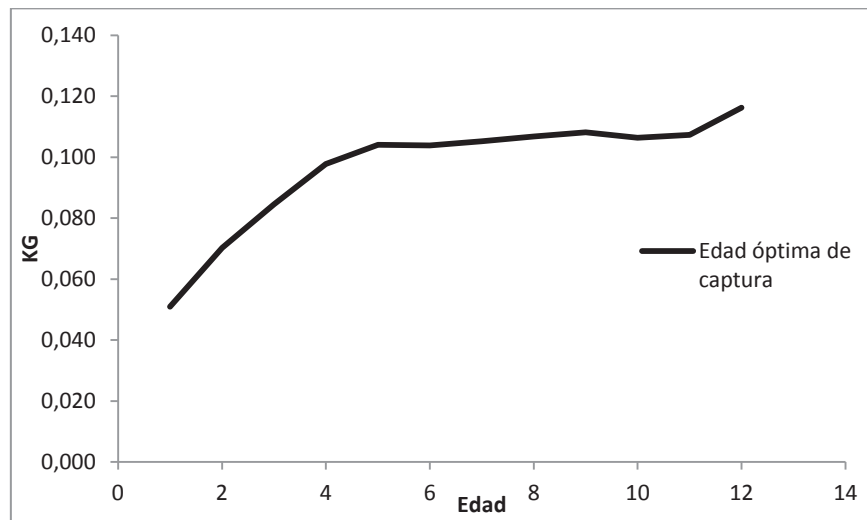


**Figura 3:** Principales destinos de exportación de jurel (2010)  
Fuente: Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Chile

## 11.2. Anexo 2

### Edad Óptima de Captura

La edad óptima de captura se encuentra entre los 9 y 12+ y se obtiene al multiplicar el número de individuos por el peso. Esta edad es cuando la biomasa del recurso es máxima en un punto cuando no existe mortalidad por pesca y podría tomarse como indicador para realizar capturas teniendo en cuenta el peso del recurso y su valor reproductivo.



**Figura1:** Edad óptima de captura para el recurso jurel.  
Fuente: ORP-PS, 2012