



# FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA

## INFORMES TECNICOS FIP

FIP - IT / 94 - 29

INFORME : EVALUACION INDIRECTA DEL STOCK DE PEZ  
FINAL : ESPADA EN LAS REGIONES I A X

UNIDAD : INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO,  
EJECUTORA : DIRECCION ZONAL V, VI, VII, VIII Y IX  
REGIONES E ISLAS OCEANICAS

Este documento ha sido inscrito en el registro  
de propiedad intelectual N° 99.085  
El nombre del Fondo de Investigación Pesquera  
no podrá ser reproducido, ni en su totalidad  
ni en partes, por cualquier método o procedimiento  
sin una autorización por escrito del Secretario  
Ejecutivo del Consejo de Investigación Pesquera.



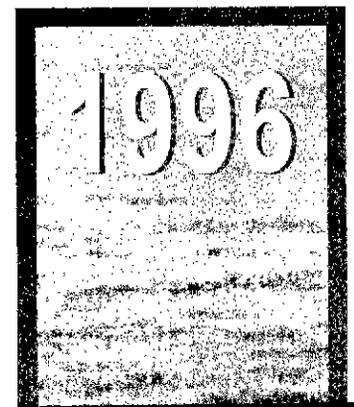
**INFORME FINAL  
FIP 94 - 29**

**EVALUACION INDIRECTA DEL  
STOCK DE PEZ ESPADA  
EN LAS REGIONES I A X.**



**FONDO DE  
INVESTIGACION  
PESQUERA**

Septiembre, 1996



**REQUIRENTE:**

CONSEJO DE INVESTIGACION PESQUERA , CIP  
Presidente del Consejo: JUAN MANUEL CRUZ SANCHEZ

**EJECUTOR:**

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO -IFOP  
Director Ejecutivo: PABLO ALVAREZ TUZA

**JEFE DE PROYECTO:**

**MARIA ANGELA BARBIERI B.**

**AUTORES:**

**INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO**

**MARIA ANGELA BARBIERI B.  
JOSE MIGUEL DONOSO P.**

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO**

**ELEUTERIO YAÑEZ R.  
VICTOR CORREA C.  
ANTONIO GONZALEZ C.**

• Septiembre de 1996 •

LIBRERIA  
UNIVERSITARIA

## RESUMEN EJECUTIVO

En este Informe Final se entregan los resultados de la evaluación indirecta de pez espada correspondientes a los parámetros de crecimiento en talla y en peso estimados para la pesquería, la estimación de la mortalidad natural, modelo global de producción, los parámetros de la relación talla-edad, los puntos biológicos de referencia, el modelo en diferencias retardadas, análisis de equilibrio, la variabilidad estimada en la proyección del stock ante tres distintas estrategias de explotación,  $F_{0.1}$ ,  $F_{máx}$  y  $F_{ref\ 94}$ , evolución de los excedentes productivos y el análisis de riesgo.

El área de estudio comprendió la zona en que operaron las embarcaciones chilenas sobre pez espada, ubicada frente al litoral de la I a la X Región ( $18^{\circ}21'S$  a  $41^{\circ}S$ ), durante el período 1987-94.

La información analizada proviene de las bases de datos de la UCV y del IFOP (del período 1987-93) y del proyecto FIPA N° 16/93 (correspondiente a 1994): desembarque anual de pez espada (industrial y artesanal), recuperados de los Anuarios Estadísticos de Pesca del SERNAP; capturas y esfuerzos de pesca (días en el mar) de lanchas artesanales, recuperados desde Gobernaciones Marítimas; nombre y eslora de las lanchas, recuperados por la UCV y el IFOP; estructura de los pesos troncos de los desembarques de 1987-94, recopilados por la UCV y el IFOP; relación longitud-peso estimada a través de datos recopilados por la UCV y el IFOP; y resultados sobre edad-talla y edad-peso de trabajos de la UCV.

Para determinar si era necesario estandarizar el esfuerzo de pesca, se realizó un análisis de varianza no paramétrico (test de Kruskal-Wallis), de manera de probar si al interior de las distintas clases de eslora, existían diferencias entre las CPUE promedio mensual obtenida por embarcaciones de igual eslora. El análisis indica que no se presentan diferencias significativas entre los rendimientos promedios mensuales. Luego, la flota puede ser considerada homogénea desde el punto de vista del poder de pesca de las embarcaciones que la componen, lo que implica que no es necesario realizar una estandarización del esfuerzo de pesca.

un 156% los excedentes productivos de la población, lo cual justificaría la drástica caída del stock.

Con respecto al análisis de equilibrio este permitió determinar los niveles de desembarques, mortalidad por pesca y biomasa crítica del recurso. Los resultados indican que dadas las actuales condiciones de explotación del stock y con el fin de evitar el colapso de la pesquería por sobrepesca por reclutamiento, la biomasa explotable no debiese ser reducida bajo las 12.000 toneladas, desprendiéndose de esta que la tasa de explotación recomendable no debiera superar el 10% (1.200 toneladas). Esto se traduce a un nivel crítico de mortalidad por pesca global igual a  $F=0,1$ , con lo que el rango plausible de CTP debe encontrarse entre los niveles de mortalidad  $F=F_{2/3}$  y  $F=F_{0,1}$ .

El modelo empleado para la proyección del stock correspondió al de diferencia retardadas, considerándose para el efecto un horizonte de 15 años bajo la estrategia de tasa de explotación constante conforme a las mortalidades por pesca globales. El análisis de riesgo fue expresado como la probabilidad de que el stock de pez espada colapse, considerando como criterio de colapso, la reducción del stock por debajo de la biomasa crítica estimada en  $B^*=12.000$  toneladas.

Bajo las diversas estrategias de explotación, donde para cada una de ellas y a partir del año 1994, se muestrearon los errores de M y R según las distribuciones de probabilidades antes indicadas. Se indica la variabilidad estimada en la proyección del stock ante tres distintas estrategias de explotación,  $F_{0,1}$ ,  $F_{máx}$  y  $F_{ref\ 94}$ .

Se indica que la proyección simulada del stock con mortalidades por pesca en torno a  $F_{0,1}$  permiten la recuperación del stock en el mediano y largo plazo, en tanto que la explotación con mortalidades por pesca mayores a  $F_{máx}$  tienden al colapso inminente de la pesquería.

La curva de colapso indica que el riesgo presenta un comportamiento logístico en relación a la mortalidad por pesca, destacándose que la región que permite reducir la probabilidad de colapso bajo un 50% equivale a una mortalidad por pesca igual a  $F=0,2$ . Bajo este criterio yacen los niveles de mortalidad  $F_{2/3}$  y  $F_{0,1}$ , en tanto que por sobre este nivel se sitúan los niveles  $F=M$ ,  $F_{máx}$ , y  $F_{1994}$  con lo cual se corrobora la necesidad de reducir la explotación a niveles en torno a  $F_{0,1}$  y con esto minimizar la probabilidad de colapso del stock.

## INDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
1. INTRODUCCION	1
2. ANTECEDENTES	4
2.1. Desembarques	4
2.2. Distribución de la flota y tamaño de los ejemplares capturados	5
2.3. Aspectos de la biología del recurso	6
3. MATERIALES Y METODOS	7
3.1. Zona y período de estudio, e información analizada	7
3.2. Propuesta metodológica	7
3.2.1. Objetivo específico a	7
3.2.2. Objetivo específico b	8
3.2.3. Objetivo específico c	10
3.2.4. Objetivo específico d	11
3.2.5. Objetivo específico e	16
4. RESULTADOS Y ANALISIS	20
4.1. Análisis del poder de pesca y estimación de la CPUE de la flota artesanal.	20
4.2. Estimación de la estructura de tallas y expansión al desembarque total.	24

## Indice de tablas

Tabla 1.	Desembarques anuales (t) de pez espada en Chile y en el Pacífico Sureste.	4
Tabla 2.	Desembarque artesanal (t) de pez espada en la V y VIII Región y contribución (%) en el total artesanal de Chile.	5
Tabla 3.	Comparación de CPUE promedios mensuales de lanchas de esloras similares.	20
Tabla 4.	Capturas, esfuerzos de pesca y CPUE de lanchas que desembarcaron en la V y VIII Región entre 1987 y 1994.	22
Tabla 5.	Desembarque total (artesanal e industrial), CPUE <sub>i</sub> (artesanal) y esfuerzo total (artesanal e industrial), de la pesquería de pez espada realizada por Chile entre 1987 y 1994.	23
Tabla 6.	Parámetros de crecimiento en talla estimados para pez espada.	28
Tabla 7.	Parámetros de crecimiento en peso estimados para pez espada	28
Tabla 8.	Valores estimados a través del ajuste de los parámetros de crecimiento de pez espada para las relaciones edad-talla y edad-peso.	29
Tabla 9.	Parámetros empleados y mortalidad natural estimada para pez espada a través de modelos bioanalógicos.	32
Tabla 10.	Mortalidades totales (Z) de pez espada obtenidos por regresión desde las estructuras de tallas de los desembarques entre 1987 y 1993.	34
Tabla 11.	Estimación de la mortalidad natural a través del método regresional.	34
Tabla 12.	Estimación de la mortalidad natural (M) de pez espada.	37
Tabla 13.	Parámetros del modelo de Fox (1975) ajustado a la pesquería de pez espada entre 1987 y 1994.	38

## Indice de Figuras

Figura 1.	Desembarques anuales de pez espada en la zona de pesca 87 del Pacífico Sureste (FAO, 1982-93) y en Chile (SERNAP, 1982-94).	2
Figura 2.	Estructura de tallas del desembarque de pez espada en Chile durante 1994.	25
Figura 3.	Valores observados y ajustados del crecimiento de pez espada a través del modelo de Von Bertalanffy: a) en tallas y b) en peso tronco.	30
Figura 4.	Estimación de la mortalidad total de pez espada en base al análisis de las estructuras de tallas medidas entre 1987 y 1993	33
Figura 5.	Regresión ajustada entre el esfuerzo de pesca y la mortalidad total de pez espada entre 1987 y 1993.	35
Figura 6.	Modelo global de producción ajustado a la pesquería de pez espada realizada por Chile entre 1987 y 1994.	40
Figura 7.	Valores observados y ajustados a través del modelo de Von Bertalanffy al inverso de talla-edad.	45
Figura 8.	Estructura de tallas de la biomasa y del desembarque de pez espada en 1994.	46
Figura 9.	Rendimiento y biomasa por recluta estimada para pez espada.	49
Figura 10.	Capturas observadas y estimadas, y biomasa del pez espada entre 1984 y 1995.	53
Figura 11.	Relación stock-recluta estimada para pez espada.	56
Figura 12.	Excedentes productivos y desembarques de pez espada entre 1984 y 1994.	58
Figura 13.	Capturas y biomasa de equilibrio de pez espada.	60
Figura 14.	Capturas y mortalidad por pesca de equilibrio de pez espada.	60

COPIA  
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

## 1. INTRODUCCION

La pesquería de pez espada (*Xiphias gladius*) en Chile, de acuerdo con los anuarios estadísticos de pesca, presenta registros de desembarque desde 1938 (Barbieri *et al.*, 1990; Yáñez *et al.*, 1994). En 1946 éstos alcanzan las 2.200 toneladas, mientras que desde 1949 y hasta 1986 son inferiores a las 1.000 toneladas anuales. Posteriormente los desembarques de Chile, que representan el 85% de los desembarques realizados en el Pacífico Sureste en el período 1987-93, aumentan notablemente alcanzando su máximo en 1991 (Fig. 1). Este aumento se relaciona con la apertura del mercado internacional, lo cual genera una importante demanda por esta especie, con buenas condiciones de precio.

Este desarrollo de la pesquería implicó un crecimiento importante de la flota artesanal, en cuanto al número y capacidad de las embarcaciones. Estas aumentaron en tamaño e incorporaron mejoras en los equipos de navegación y posicionamiento, y la red de enmalle de deriva como sistema de pesca, lo que produjo un aumento de la temporada de pesca que en gran medida estaba limitada a la pesca con arpón. Por otro lado se incorporó el empleo de imágenes satelitales de temperatura superficial del mar, favoreciendo la ubicación de zonas probables de pesca y, por ende, mejorando la capacidad de prospección de la flota artesanal (superando ocasionalmente las 200 mn de la costa) y posteriormente de la flota industrial (Yáñez *et al.*, 1994).

Sin embargo, después 1991 el desembarque total anual de pez espada en Chile disminuye significativamente (Fig. 1). Esta pesquería es realizada principalmente por el sector artesanal, alcanzando un desembarque máximo en 1989; a partir de 1986 se incorpora el sector industrial, presentando un aumento de sus desembarques hasta 1991 (Tabla 1). Cabe señalar que los desembarques industriales incluyen los realizados por la flota palangrera nacional en aguas internacionales y las de un porcentaje de lanchas inscritas como pertenecientes al sector industrial.

Actualmente la pesquería de pez espada desarrollada en Chile (desde la I a la X Región), se encuentra definida en un estado de plena explotación, bajo un régimen de manejo basado en la regulación de artes y áreas de pesca, y en el control del acceso de nuevas naves.

El Consejo del Fondo de Investigación Pesquera (FIP), tomando en cuenta el Programa de Investigación Pesquera y Acuícola remitido por la Subsecretaría de Pesca, y la necesidad de disponer de información para la Administración de la Pesquería de Pez Espada, identificó e incluyó el presente proyecto en el Programa de Investigación Pesquera y Acuícola 1994 del FIP, aprobado en su Sesión Extraordinaria N° 22 celebrada el 5 de mayo de 1994.

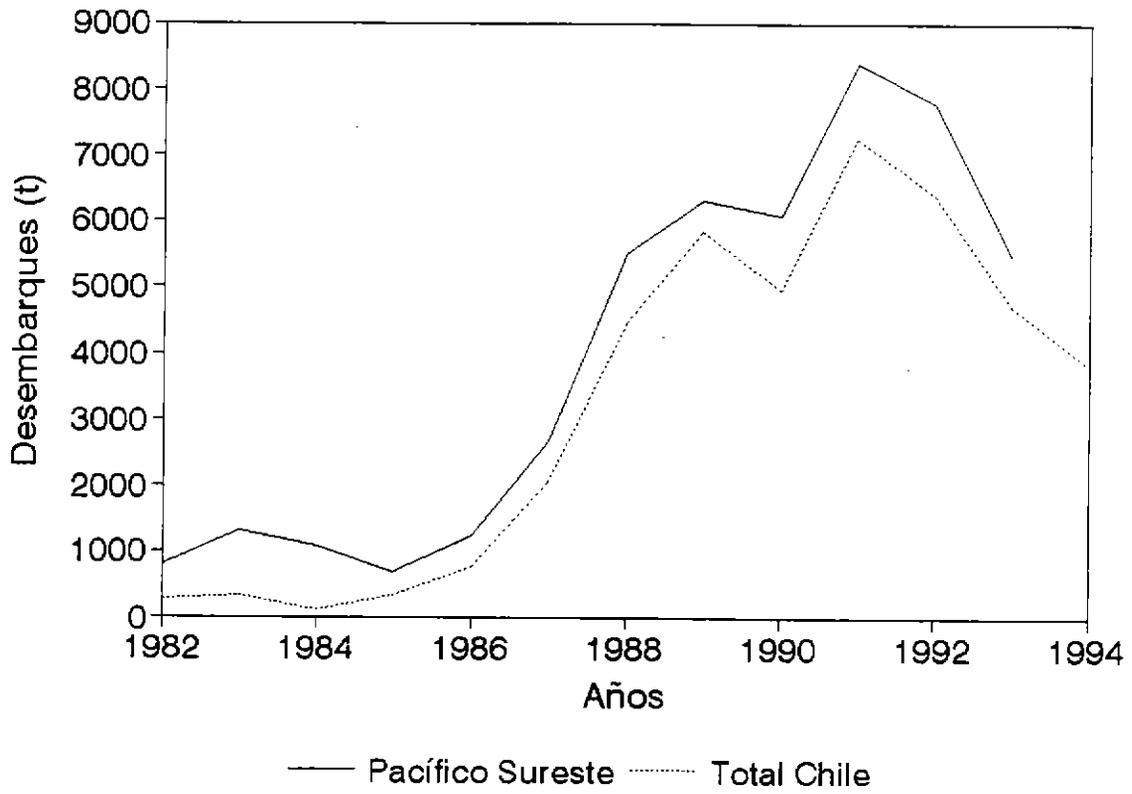


Figura 1. Desembarques anuales de pez espada en la zona de pesca 87 del Pacífico Sureste (FAO, 1982-93) y en Chile (SERNAP, 1982-94)

El proyecto contempla el logro de los siguientes objetivos:

**Objetivo general:**

"Efectuar una evaluación indirecta del stock de pez espada (*Xiphias gladius*) ubicado frente al litoral de Chile (desde la I a la X Región)"

**Objetivos específicos:**

- a. "Proponer y aplicar una metodología de evaluación indirecta para el stock de pez espada, acorde a las características de esta especie y su pesquería"
- b. "Estimar la mortalidad natural del stock de pez espada"
- c. "Estimar un índice de abundancia relativa del stock de pez espada"
- d. "Estimar la biomasa (en peso) y abundancia (en número) del stock de pez espada frente al litoral de Chile (Regiones I a la X)"
- e. "Caracterizar el estado de situación del stock de pez espada, su tasa de explotación actual y determinación de los excedentes productivos anuales"

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Desembarques

Los desembarques totales anuales de pez espada en Chile indican un sostenido crecimiento en el período 1987-91, y luego una inquietante disminución hasta 1994 (Fig. 1), la cual continua en 1995 al desembarcarse 2.594 t (SERNAP, 1995). Cabe señalar que las cifras oficiales de los desembarques totales realizados en Chile en 1991 (7.255 t) y en 1992 (6.379 t) (Fig.1), fueron corregidas (Tabla 1). Esto debido a errores constatados de sobreestimación en los valores del sector industrial publicados para 1991 (3.969 t) y 1992 (3.578 t) (Palma, com. pers.), lo cual implicaría a su vez modificaciones de las cifras publicadas por FAO para la zona 87.

**TABLA 1**

Desembarques anuales (t) de pez espada en Chile y en el Pacífico Sureste.

Años	Desembarque artesanal en Chile	Desembarque industrial en Chile	Desembarque total en Chile	Desembarque en el Pacífico Sureste
1987	1.869	190	2.059	2.662
1988	3.972	483	4.455	5.508
1989	4.741	1.083	5.824	6.318
1990	3.850	1.105	4.955	6.072
1991	3.286	2.673*	5.959	8.398*
1992	3.559	1.922*	5.481	7.777*
1993	2.733	1.979	4.712	5.481
1994	2.552	1.249	3.801	-

Fuente: SERNAP (1987-94), A. Palma (com. pers.) y FAO-Zona 87 (1987-93).

Los desembarques del sector artesanal chileno representan el 71% de los desembarques totales del país realizados entre 1987 y 1994, constituyéndose en el sector más importante de esta pesquería (Tabla 1). Se destaca el desembarque artesanal en la V Región, que representa anualmente más del 60% del total artesanal en Chile hasta 1993, superado en 1994 por el realizado en la VIII (Tabla 2).

TABLA 2

Desembarque artesanal (t) de pez espada en la V y VIII Región y contribución (%) en el total artesanal de Chile.

Años	Desembarque artesanal V Región	Desembarque artesanal VIII Región	Desembarque artesanal V y VIII Regiones
1987	1.827 (98%)	0 (0%)	1.827 (98%)
1988	3.035 (77%)	200 (4%)	3.235 (81%)
1989	3.229 (68%)	773 (16%)	4.002 (84%)
1990	2.764 (72%)	574 (15%)	3.338 (87%)
1991	2.191 (67%)	690 (21%)	2.881 (88%)
1992	2.566 (72%)	840 (24%)	3.406 (96%)
1993	1.650 (61%)	701 (25%)	2.351 (86%)
1994	799 (31%)	1.127 (44%)	1.926 (75%)

## 2.2. Distribución de la flota y tamaño de los ejemplares capturados

La flota que opera en la pesquería de pez espada está compuesta por lanchas artesanales que operan de preferencia con red de enmalle y una flota palangrera conformada por embarcaciones industriales (Yáñez *et al.*, 1994). La flota artesanal está compuesta por aproximadamente 400 embarcaciones, pero en forma simultánea operan no más de 200. En 1991 la flota industrial estuvo compuesta por 20 embarcaciones de 21 a 62 m, de las cuales 27% operaron con redes de enmalle y 72% con palangres; en 1994 operaron 14 naves industriales y en 1995 solamente 6.

La flota artesanal opera principalmente en tres zonas (norte, centro y sur del país), sobrepasando en ocasiones las 200 mn, durante 7-8 meses del año; en tanto que la flota palangrera opera en zonas oceánicas y durante todo el año (Barbieri *et al.*, 1995).

Los ejemplares capturados con red de enmalle son considerablemente más grandes que los capturados por la flota palangrera (Barbieri *et al.*, 1995). De esta manera se puede decir que la flota artesanal actúa sobre la fracción adulta y la flota palangrera sobre individuos pequeños o más jóvenes.

COPIA  
FUNDADO

### 2.3. Aspectos de la biología del recurso

El pez espada se encuentra presente en aguas tropicales, subtropicales y templadas de todos los océanos, incluyendo el mar Mediterráneo, mar de Mármara, mar Negro y mar de Azov. Esta especie se encuentra entre los 50°N y los 45°S en el Pacífico Oeste, y desde los 50°N hasta los 35°S en el Pacífico Este (Nakamura, 1985).

En Chile, el pez espada se encuentra desde Arica (18°21'S) hasta el sur de Talcahuano (37°S), tanto en aguas costeras como oceánicas. Generalmente, el recurso se encuentra en aguas superficiales con temperaturas mayores de 13°C, siendo el rango óptimo entre los 18° y 22°C en el Pacífico norte. En Chile, se captura en aguas con temperaturas superficiales del mar que van desde los 14,5°C a los 20,3°C, con un rango óptimo de 16 a 18°C (Tobella, 1970; Barbieri *et al.*, 1990).

Este recurso realiza movimientos migratorios que consisten en desplazamientos desde aguas templadas hacia aguas más frías, para alimentarse durante el verano, y regresar a las aguas templadas en el otoño para desovar (Nakamura, 1985).

Sobre la reproducción se sabe que esta especie es heterosexual y no presenta dimorfismo sexual aparente, desovando en aguas tropicales a temperaturas de 20 a 22°C. Sus hábitos alimentarios se orientan principalmente sobre agujillas, pez volador, pez luna y merluza de cola, además de calamares y pulpos. En Chile, los muestreos estomacales indican consumo de merluza de cola, jurel, camarón nylon, restos de peces óseos, calamar y jibia (Yáñez *et al.*, 1994).

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Zona y período de estudio, e información analizada

El área de estudio comprendió la zona en que operaron las embarcaciones chilenas sobre pez espada, ubicada frente al litoral de la I a la X Región (18°21'S a 41°S), durante el período 1987-94.

El trabajo contempló el análisis de la siguiente información, proveniente de las bases de datos de la UCV y del IFOP (del período 1987-93) y del proyecto FIPA N° 16/93 (correspondiente a 1994): desembarque anual de pez espada (industrial y artesanal), recuperados de los Anuarios Estadísticos de Pesca del SERNAP; capturas y esfuerzos de pesca (días en el mar) de lanchas artesanales, recuperados desde Gobernaciones Marítimas; nombre y eslora de las lanchas, recuperados por la UCV y el IFOP; estructura de los pesos troncos de los desembarques de 1987-94, recopilados por la UCV y el IFOP; relación longitud-peso estimada a través de datos recopilados por la UCV y el IFOP; y resultados sobre edad-talla y edad-peso de trabajos de la UCV.

#### 3.2. Propuesta metodológica

A continuación se señalan y describen por Objetivo Específico los procedimientos metodológicos que fueron aplicados para dar cumplimiento al Objetivo General: **"Efectuar una evaluación indirecta del stock de pez espada (*Xiphias gladius*) ubicado frente al litoral de Chile (desde la I a la X Región)".**

##### 3.2.1. Objetivo específico a: **"Proponer y aplicar una metodología de evaluación indirecta para el stock de pez espada, acorde a las características de esta especie y su pesquería"**

La metodología de evaluación del stock de pez espada que se propone y aplica se detalla en la generalidad de este capítulo, y se basa en los siguientes modelos:

- a) generalizado de producción (Pella y Tomlinson, 1969)
- b) estructurado a la talla (Jones, 1984)
- c) de diferencias retardadas (Fournier y Doonan, 1987)

### 3.2.2. Objetivo específico b: "Estimar la mortalidad natural del stock de pez espada"

El rango de valores plausibles de mortalidad natural (M), se estimaron a través de métodos bioanalógicos y desde la curva de captura estructurada a la talla.

#### a) Métodos bioanalógicos

- Modelo de Pauly (1980), supone que la mortalidad natural del recurso se relaciona con los parámetros de su función de crecimiento y la temperatura promedio del mar de la zona donde se encuentra, de la siguiente forma:

$$\ln(M) = 0,654 * \ln(K) - 0,28 * \ln(L_{\infty}) + 0,463 * \ln(^{\circ}C)$$

donde:

- K = coeficiente de crecimiento  
 $L_{\infty}$  = longitud asintótica  
 $^{\circ}C$  = temperatura promedio del mar en grados celsius

- Modelo de Taylor (1958), supone que la mortalidad natural se relaciona con los parámetros de la función de crecimiento del recurso, del siguiente modo:

$$M = \frac{2,966 * K}{2,996 + K * t_0}$$

donde  $t_0$  = edad del pez a longitud cero

- Modelo de Beverton y Holt (1956), supone que la mortalidad natural depende de la máxima longevidad del pez ( $T_{\text{máx}}$  en años), y propone que:

$$M = 5/T_{\text{máx}}$$

- Modelo de Alverson y Carney (1975), supone que la mortalidad natural se relaciona con el factor de alometría (b), K y  $T_{\text{máx}}$ , lo cual se expresa de la siguiente manera:

$$M = \frac{b \cdot K}{e^{T_{\max} \cdot K \cdot 0.25} - 1}$$

### b) Método regresional de la curva de captura

Este método se basa en que la forma del sector derecho de la curva de captura refleja los efectos de la sobrevivencia, de manera que su pendiente corresponde a la mortalidad total (Z), lo cual se formula como:

$$\frac{\ln(C(L_i - L_{i+1}))}{\Delta t} = c - Z * \frac{t(L_i) - t(L_{i-1})}{2}$$

donde:

- C(L<sub>i</sub>) = captura en número del intervalo de tallas i-ésimo  
 c = intercepto de la regresión  
 Z = mortalidad total  
 t(L<sub>i</sub>) = edad del pez a la talla L<sub>i</sub>  
 delta t = intervalo de tiempo que tarda un pez en crecer desde L<sub>i</sub> a L<sub>i+1</sub>:

$$\Delta t = \frac{1}{K} * \ln\left(\frac{L_{\infty} - L_i}{L_{\infty} - L_{i+1}}\right)$$

Luego se regresiona la mortalidad total estimada anualmente (Z<sub>i</sub>) con el correspondiente esfuerzo de pesca (f<sub>i</sub>), considerando que F<sub>i</sub> = q \* f<sub>i</sub>, para estimar el valor de M:

$$Z_i = M + q * f_i$$

### 3.2.3. Objetivo específico c: "Estimar un índice de abundancia relativa del stock de pez espada"

De acuerdo con la información disponible, el índice de abundancia relativa corresponde a la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de la flota artesanal, estimada de la siguiente forma:

$$CPUE_{mi} = \frac{1}{n} \sum_{l=1}^n C_{lmi} / \sum_{l=1}^n f_{lmi}$$

donde:

- $CPUE_{mi}$  = CPUE promedio de las lanchas que operaron durante el mes m del año i  
 $n$  = número de lanchas que operaron durante el mes m del año i  
 $l$  = l-ésima lancha  
 $C_{lmi}$  = captura de la l-ésima lancha en el mes m del año i  
 $f_{lmi}$  = esfuerzo de pesca (días en el mar) de la l-ésima lancha en el mes m del año i

Luego, la captura por unidad de esfuerzo anual ( $CPUE_i$ ) se estimó promediando las  $CPUE_{mi}$  (de marzo a agosto) del año i correspondiente:

$$CPUE_i = \frac{\sum_{m=1}^6 CPUE_{mi}}{6}$$

Previamente se analizaron eventuales diferencias en el poder de pesca de las lanchas, comparando anualmente las CPUE promedios mensuales de grupos de embarcaciones de esloras similares, a través del método no paramétrico de Kruskal-Wallis (K-W). Los métodos no paramétricos se caracterizan porque su uso no depende de una distribución determinada; además, el método K-W es aplicable a muestras de distinto tamaño.

### 3.2.4. Objetivo específico d: "Estimar la biomasa (en peso) y abundancia (en número) del stock de pez espada frente al litoral de Chile (Regiones I a la X)"

Como se mencionó anteriormente, para dar cumplimiento con este objetivo se emplearon 3 modelos de evaluación de stock:

a) el modelo generalizado de producción, que permite establecer el estado general del stock explotado, después de estimar la curva de equilibrio más adecuada y los siguientes parámetros claves que se comparan con los del último año considerado:

- captura por unidad de esfuerzo de pre-explotación ( $CPUE_{máx}$ )
- captura por unidad de esfuerzo de óptima explotación biológica ( $CPUE_{ópt}$ )
- esfuerzo de pesca de óptima explotación biológica ( $f_{ópt}$ )
- rendimiento (captura) máximo sostenido (RMS)

b) el modelo estructurado a la talla, que permite cuantificar el tamaño del stock en 1994.

c) el modelo de diferencias retardadas, que permite estimar la evolución y proyección de la biomasa en un período dado, como también los parámetros de la función stock-recluta.

#### a) Aplicación del modelo generalizado de producción

El modelo generalizado de producción se aplica a través del método PROFIT (Fox, 1975), tomando en cuenta la captura total (desembarque) anual de pez espada realizada por la flota artesanal y la industrial ( $C_i$ ), la  $CPUE_i$  estimada de la flota artesanal y el esfuerzo total anual ( $f_i$ ). Siguiendo la recomendación de Laurec y Le Guen (1981), éste último es estimado del siguiente modo:  $f_i = C_i / CPUE_i$ . Dada la poca cantidad de años considerados (8), se considera que la pesquería se ha desarrollado en condiciones de equilibrio, lo cual implica el no tomar en cuenta la opción del método en cuanto a recalcular el esfuerzo de pesca. El modelo se estima considerando entonces el ajuste de la siguiente ecuación:

$$CPUE_i = (CPUE_{oo} - q * f_i)^{\frac{1}{(m-1)}}$$

INSTITUTO  
NACIONAL DE  
ESTADÍSTICA

donde:

- $CPUE_{00}$  = intercepto que se relaciona con la capacidad de carga del medio  
 $q$  = coeficiente de capturabilidad  
 $m$  = parámetro adimensional que permite una mayor flexibilidad en el ajuste de la curva a los valores observados de  $CPUE_i$  y  $f_i$ .

Luego, la curva de producción se obtiene de la siguiente forma:

$$\hat{C}_i = (CPUE_{00} - \hat{q} * f_i)^{\frac{1}{(m-1)}} * f_i$$

Con el modelo ajustado se analiza la evolución de la pesquería durante el período analizado (1987-94), y los parámetros relevantes ( $CPUE_{m\acute{a}x}$ ;  $CPUE_{\acute{o}pt}$ ;  $f_{\acute{o}pt}$ ; RMS) se comparan con los del último año (1994), deduciéndose el estado de situación del stock y de la pesquería.

#### b) Modelo estructurado a la talla: análisis de pseudo-cohorte.

Considerando que la falta de claves talla-edad para estimar las capturas anuales en número por clase de edad ha impedido el empleo de modelos estructurados a la edad (ej. APV). Se ha evaluado el stock presente durante 1994 a través del modelo de análisis de pseudo-cohorte estructurado a la talla (Jones, 1984), suponiendo que el stock se ha explotado en condiciones de equilibrio a diferentes niveles de abundancia

Para tal efecto, se empleará la ecuación recursiva propuesta por Pope (1972) y modificada por Mac Call (1986):

$$N(L_i) = N(L_{i-1}) * e^{M * \Delta t} - \frac{C(L_i) * M * \Delta t}{1 - e^{-M * \Delta t}}$$

donde  $N(L_i)$  corresponde al número de individuos sobrevivientes que en un determinado período de tiempo (delta t), lograron llegar al intervalo de tallas  $i$ -ésimo.

Como el modelo es secuencial y recursivo, la abundancia de partida correspondiente al último intervalo de tallas ( $\lambda$ ) se obtiene de la ecuación:

$$N(L_\lambda) = \frac{C(L_\lambda * (F(L_\lambda) + M)}{F(L_\lambda) * (1 - e^{-(F(L_\lambda) + M) * \Delta_i})}$$

cuya respectiva mortalidad por pesca será estimada a través de un proceso de sintonización de promedios geométricos:

$$F(L_\lambda) = \left( \prod_{i=fr}^{\lambda-2} F(L_i) \right)^{1/n}$$

donde  $fr$  indica el intervalo de tallas en la cual los peces se encuentran completamente reclutados a la pesquería,  $n$  denota el número de intervalos de tallas considerados y  $F(L_i)$  corresponde a la mortalidad por pesca del intervalo de talla  $i$ -ésimo y es estimada:

$$F(L_i) = \frac{1}{\Delta_i} * \ln \left( \frac{N(L_i)}{N(L_{i+1})} \right) - M$$

Una vez estimadas las abundancias para los distintos intervalos de tallas, se estima la abundancia y biomasa media de la forma:

$$\bar{N} = \sum_{i=1}^{\lambda} \frac{N(L_i) - N(L_{i+1})}{Z(L_i) * \Delta_i}$$

$$\bar{B} = \sum_{i=1}^{\lambda} NM(L_i) * W(L_i)$$

donde  $W(L_i \text{ prom})$  corresponde al peso promedio de la marca de clase del intervalo de talla  $i$ -ésimo.

Considerando que este modelo evalúa la abundancia media del stock, y con el fin de determinar la abundancia y biomasa a comienzos del año, se utilizará el promedio de las composiciones de capturas de 1993-94, cuyo valor y estructura equivaldrá al total de la captura tomada el 1° de enero de 1994, y por consiguiente a la biomasa y abundancia total al inicio de este año.

### c) Modelo de diferencias retardadas

Este modelo, desarrollado por Fournier y Doonan (1987), describe la dinámica del stock en términos globales y se rige bajo las siguientes suposiciones:

- a) capturabilidad ( $q$ ) constante,
- b) vulnerabilidad al arte constante desde la edad de reclutamiento a la pesquería ( $k$ ), y
- c) reclutamiento anual.

La primera ecuación que describe la evolución del número de individuos ( $N$ ) de un stock entre años ( $t$ ), es denotada como:

$$N_t = N_{t-1} * e^{-(M+q*f_{t-1})} + R_t$$

donde  $f$  corresponde al esfuerzo de pesca y  $R_t$  es el reclutamiento del año.

Por otro lado, de la relación de crecimiento en peso entre edades ( $j$ ) sucesivas se tiene que:

$$W_j = a + \rho * W_{j-1}$$

de donde la forma de obtener la biomasa total de un año implica que:

$$B_t = \rho * \sum_{j \geq k} W_{j-1} * N_{tj} + a * N_t$$

Usando la primera ecuación y la expresión anterior con algunos arreglos algebraicos, la biomasa del stock en el año t se obtiene de la forma:

$$B_t = \rho * B_{t-1} * e^{-(M+q*f_{t-1})} + a * N_t + \rho * W_{k-1} * R_t$$

Se debe notar que este modelo se independiza de la estructura etárea del stock y encierra implícitamente un modelo stock-recluta. Al respecto, se utilizará la función desarrollada por Shepherd (1982), descrita de la forma:

$$R_t = \frac{\alpha * B_{t-k}}{1 + \left(\frac{B_{t-k}}{\beta}\right)^\gamma}$$

donde **alfa** indica el máximo reclutamiento por unidad de biomasa, **beta** es una medida de la biomasa a partir de la cual los efectos denso-dependientes comienzan a dominar, y **gama** una medida de estos efectos.

Este modelo posee la flexibilidad de ajustar una serie de curvas acorde a la dinámica del stock. De esta forma, cuando  $\gamma = 1$  se describe el modelo de Beverton y Holt (1957); si  $\gamma > 1$  se ajusta la función de Ricker (1954); y si  $\gamma < 1$  se encuentra la función de Cushing (1971).

La solución del modelo de diferencias retardadas se obtiene al estimar una serie de parámetros, a saber: biomasa y abundancia al primer año de la serie considerada ( $B_{mi}$ ,  $N_{mi}$ ),  $q$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ . Para tal efecto la función objetivo:

$$\phi = \sum_{t=ini}^{1994} (C_t^{est} - C_t^{obs})^2$$

se minimiza considerando las siguientes restricciones:

a)  $B_{1994} > C_{1994}$

b)  $B_{1994}$  = biomasa obtenida del análisis de pseudo-cohorte a la talla para 1994.

De esta manera, y con el fin de discretizar los cálculos, se supondrá que la captura es tomada en forma instantánea a comienzos de cada año, razón por la cual la mortalidad natural en la ecuación de captura tradicional será despreciada, quedando de la siguiente forma:

$$C_t^{est} = B_t * (1 - e^{-q * t})$$

### 3.2.5. Objetivo específico e: "Caracterizar el estado de situación del stock de pez espada, su tasa de explotación actual y la determinación de los excedentes productivos anuales".

Para este objetivo se aplicará en primer lugar el modelo de Thompson y Bell (1934), considerando los resultados obtenidos del análisis de pseudo-cohorte a la talla, para estimar los puntos biológicos de referencia ( $F_{ref}$ ) comprometidos ( $F_{2/3}$ ,  $F_{0.1}$  y  $F_{máx}$ ). A partir de éstos se define el estado de explotación del stock en 1994, en relación con la mortalidad por pesca estimada para este mismo año ( $F^*$ ).

Al respecto,  $F^*$  corresponderá al valor máximo del vector  $F(L_t)$ , configurándose el patrón de explotación del siguiente modo:

$$r(L_t) = \frac{F(L_t)}{\max(F(L_t))}$$

UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA  
DE MÉXICO  
INSTITUTO  
DE INVESTIGACIONES  
CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS  
EN PESQUERÍA  
Y ACUICULTURA

Por otro lado, la tasa de explotación para 1994 se estimará de la relación:

$$\mu = \frac{Y_{1994}}{B_{1994}}$$

en tanto que los excedentes productivos del stock serán los asociados al cálculo de la captura total permisible (CTP). Para tal efecto se considerarán los puntos biológicos de referencia antes mencionados, de modo de estimar desde el modelo de evaluación estructural los correspondientes niveles de CTP para 1994, de la forma siguiente:

$$CTP_{1994} = \sum_{i=1}^{\lambda} \frac{N(L_i) * F_{ref}(L_i) * (1 - e^{-(F_{ref}(L_i) + M) * \Delta t}) * W(\bar{L}_i)}{F_{ref}(L_i) + M}$$

En este caso, la tasa de explotación referencial (asociada al  $F_{ref}$ ), se estimará de la forma:

$$\mu_{ref} = \frac{CTP_{1994}}{B_{1994}}$$

Luego, la mortalidad por pesca de referencia global se obtendrá despejándola de la ecuación de captura:

$$CTP_{1994} = \frac{B_{1994} * F_{ref} * (1 - e^{-F_{ref} - M})}{F_{ref} + M}$$

#### a) Estimación de los excedentes productivos

Los excedentes productivos anuales del stock de pez espada se estiman considerando el modelo de diferencias retardadas y el trabajo de Rivard (1982).

En primer lugar, la producción total anual del stock ( $PT_t$ ) se estima de la siguiente forma:

$$PT_t = Br_t + \Delta B_t + D_t + Y_t$$

donde  $Br_t$  corresponde a la biomasa de los reclutas,  $\Delta B_t$  corresponde a la variación de la biomasa entre  $t$  y  $t+1$ ,  $D_t$  corresponde a la pérdida de biomasa por mortalidad natural, e  $Y_t$  equivale al desembarque del año  $t$ , donde:

$$D_t = \frac{M}{Z_t} * B_t * (1 - e^{-Z_t})$$

Por otro lado, la producción neta del stock ( $PN_t$ ) se estima de la siguiente forma:

$$PN_t = PT_t - D_t - Y_t$$

Luego, el excedente productivo para del año  $t$  ( $EP_t$ ) se calcula como:

$$EP_t = PT_t - D_t$$

y la producción total por unidad de biomasa:

$$P/B = \frac{PT_t}{\bar{B}_t}$$

### b) Análisis de equilibrio

Considerando la curva de rendimiento por recluta (Y/R), se obtiene para cada nivel de mortalidad por pesca (F) un valor de biomasa por recluta (B/R), del siguiente modo:

$$B/R = (Y/R)/F$$

con la cual y considerando la relación stock-recluta, es posible estimar para cada valor de F:

a) la biomasa en equilibrio:

$$B = \beta * (\alpha * (B/R) - 1)^{\frac{1}{\gamma}}$$

b) el reclutamiento:

$$R = B/(B/R)$$

c) y el rendimiento en equilibrio:

$$Y = R(Y/R)$$

### c) Análisis de riesgo

Finalmente se estimó la probabilidad de colapso y/o recuperación del stock, en un lapso de tiempo determinado, al someter la pesquería a diferentes estrategias de explotación:  $F_{2/3}$ ,  $F_{0.1}$ ,  $F_{m\acute{a}x}$ ,  $F=M$  y  $F=F_{1994}$ .

La proyección finita del stock se realiza a través del modelo de diferencias retardadas, cuya incertidumbre será incorporada en la mortalidad natural y en los parámetros de la función stock-recluta.

## 4. RESULTADOS Y ANALISIS

### 4.1. Análisis del poder de pesca y estimación de la CPUE de la flota artesanal

En la Tabla 3 se presentan los resultados del análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis, indicando ausencia de diferencias significativas entre CPUE promedios mensuales de grupos de lanchas de esloras similares, salvo en 1989. La no homogeneidad en 1989, se asocia a que en este año la flota se desconcentra al comenzar la expansión oceánica de la pesquería (González, 1993). En este año se produce un fuerte incremento del número de lanchas, particularmente de tamaño pequeño, debido a las expectativas favorables del mercado (Barbieri *et al.*, 1990). En consecuencia, este año presenta la más alta desviación estándar en términos del esfuerzo de pesca del período 1987-91 (González, 1993). Luego, tomando en cuenta lo anterior, es posible considerar que la flota artesanal es homogénea desde el punto de vista del poder de pesca de las embarcaciones que la componen, lo cual implica que no es necesario realizar una estandarización del esfuerzo de pesca.

**TABLA 3**

Comparación de CPUE promedios mensuales de lanchas de esloras similares

Años	Rango de eslora (m)	Test			n	Conclusión del test
		KW	X <sup>2</sup>	N		
1987	11 - 17	11	15	7	128	acepta Ho
1988	11 - 16	8	13	6	88	acepta Ho
1989	10 - 18	27	16	8	318	rechaza Ho
1990	11 - 16	5	13	6	82	acepta Ho
1991	11 - 18	9	14	7	249	acepta Ho
1992	12 - 18	7	13	6	289	acepta Ho
1993	12 - 18	5	13	6	241	acepta Ho
1994	12 - 18	7	16	6	194	acepta Ho

- n = Número de lanchas muestreadas  
 N = Grupos de lanchas de esloras similares  
 K-W = Valores estimados a través del test de Kruskal-Wallis  
 X<sup>2</sup> = Valor de tabla del estadístico chi-cuadrado (0,975; N-1)  
 Ho = conforman una misma categoría (si el valor de K-W < X<sup>2</sup>)

De acuerdo con la información disponible, el índice de abundancia promedio mensual y anual del recurso ( $CPUE_{mi}$  y  $CPUE_i$ ), fue estimado a partir de los acumulados del esfuerzo de pesca y de la captura mensual de lanchas que desembarcaron en los puertos de la V Región y de la VIII Región, donde se han realizado los mayores desembarques del período (Tabla 2). Los resultados de dicha fracción de la flota artesanal se muestran en la Tabla 4.

1999  
1998  
1997  
1996  
1995  
1994  
1993  
1992  
1991  
1990  
1989  
1988  
1987  
1986  
1985  
1984  
1983  
1982  
1981  
1980  
1979  
1978  
1977  
1976  
1975  
1974  
1973  
1972  
1971  
1970  
1969  
1968  
1967  
1966  
1965  
1964  
1963  
1962  
1961  
1960  
1959  
1958  
1957  
1956  
1955  
1954  
1953  
1952  
1951  
1950  
1949  
1948  
1947  
1946  
1945  
1944  
1943  
1942  
1941  
1940  
1939  
1938  
1937  
1936  
1935  
1934  
1933  
1932  
1931  
1930  
1929  
1928  
1927  
1926  
1925  
1924  
1923  
1922  
1921  
1920  
1919  
1918  
1917  
1916  
1915  
1914  
1913  
1912  
1911  
1910  
1909  
1908  
1907  
1906  
1905  
1904  
1903  
1902  
1901  
1900

TABLA 4

Capturas, esfuerzos de pesca y CPUE de lanchas que desembarcaron en la V y VIII Región entre 1987 y 1994.

Años	a) Desembarque (t)						
	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Total
1987	132	469	688	112	55	69	1.525
1988	326	751	850	181	111	68	2.287
1989	377	395	518	505	571	456	2.822
1990	455	719	788	641	102	166	2.871
1991	327	565	548	476	382	102	2.400
1992	237	398	718	538	172	57	2.120
1993	110	291	403	194	141	18	1.157
1994	69	43	246	283	208	113	962
Años	b) Esfuerzo de pesca (días en el mar)						
	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Total
1987	470	918	1.047	282	217	278	3.212
1988	1.730	2.102	1.707	872	735	457	7.603
1989	1.508	1.479	2.252	1.391	1.762	1.520	9.912
1990	1.797	2.504	2.131	2.230	435	813	9.910
1991	2.162	1.993	2.398	2.132	3.043	1.036	12.764
1992	1.532	1.894	3.041	2.428	1.535	640	11.070
1993	1.255	1.544	2.291	2.244	1.520	305	9.159
1994	1.187	426	1.586	2.705	2.024	1.671	9.599
Años	c) CPUE (t/día en la mar)						
	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Prom.
1987	0,281	0,511	0,657	0,397	0,253	0,248	0,391
1988	0,188	0,357	0,498	0,208	0,151	0,149	0,259
1989	0,250	0,267	0,230	0,363	0,324	0,300	0,289
1990	0,253	0,287	0,370	0,287	0,234	0,204	0,273
1991	0,151	0,283	0,229	0,223	0,126	0,098	0,185
1992	0,155	0,210	0,236	0,222	0,112	0,089	0,171
1993	0,088	0,188	0,176	0,086	0,093	0,059	0,115
1994	0,058	0,101	0,155	0,105	0,103	0,068	0,098

Por otro lado y bajo la evidencia de que la flota artesanal sustentó el 71% de los desembarques nacionales de pez espada en el período 1987-94, los estimados anuales del esfuerzo total de pesca se indican en la Tabla 5.

En la Tabla 5 se observa una inquietante disminución de los desembarques de pez espada a partir de 1991, no obstante que el esfuerzo de pesca sigue presentando una tendencia al aumento. De esta manera, el índice de abundancia anual ( $CPUE_i$ ) disminuye sostenidamente en el período analizado, de 0,391 t/día en el mar en 1987 a 0,098 t/día en el mar en 1994, lo que sugiere una importante reducción del stock de pez espada. Esta reducción sería mayor a lo aconsejable, como lo sugieren Yáñez *et al.* (1994) al analizar el modelo global de producción de la pesquería realizada entre 1987 y 1994 ( $m=2$ ;  $R^2=0,96$ ).

**TABLA 5**

Desembarque total (artesanal e industrial),  $CPUE_i$  (artesanal) y esfuerzo total (artesanal e industrial), de la pesquería de pez espada realizada por Chile entre 1987 y 1994.

Años	Desembarque total (t)	$CPUE_i$ (t/día en el mar)	Esfuerzo total (días en el mar)
1987	2.059	0,391	5.265
1988	4.455	0,259	17.200
1989	5.824	0,289	20.152
1990	4.955	0,273	18.150
1991	5.959	0,185	32.210
1992	5.481	0,171	32.053
1993	4.712	0,115	40.974
1994	3.801	0,098	38.786

#### 4.2. Estimación de la estructura de tallas y expansión al desembarque total

Considerando que los resultados del monitoreo de la pesquería 1994-95 arrojaron como resultado la frecuencia de pesos troncos de los peces capturados, la conversión a tallas se llevó a cabo a través de la relación longitud-peso en su forma inversa, es decir:

$$L = \left(\frac{W}{a}\right)^{\frac{1}{b}}$$

donde  $L$  se refiere a la talla promedio de un pez de peso  $W$ , en tanto que  $a$  y  $b$  corresponden respectivamente al coeficiente de condición y al factor alométrico.

La estructura de tallas segregada por tipo de flotas fué expandida al desembarque oficial, considerando para la frecuencia de tallas resultante la contribución parcial de cada segmento de la flota (industrial y artesanal), sobre el desembarque promedio total 1993-94:

$$C(L_i)^{total} = C(L_i)^{artesanal} * FE_1 + C(L_i)^{industrial} * FE_2$$

donde los factores de expansión (FE) se determinaron en general a través de los cuocientes  $FE_1 = \text{Desembarque artesanal} / \text{Desembarque total}$  y  $FE_2 = \text{Desembarque industrial} / \text{Desembarque total}$ . El resultado de estos cálculos son mostrados en la Fig. 2, destacándose que la flota palangrera captura peces de menores tallas que la flota artesanal.

En efecto, dado los antecedentes que indican que la flota palangrera concentra su operación en áreas que en teoría, son poco accesibles por la flota redera, se desprende que por los efectos combinados entre la efectividad del aparejo de pesca y la existencia de zonas en las cuales se concentran los peces de menores tallas (o edades), los rendimientos de la flota palangrera la componen ejemplares que probablemente aún no han alcanzado su pleno desarrollo biológico.

Esto trae consigo las significativas diferencias observadas entre las estructura de tallas de ambas flotas, observándose por ejemplo, que la talla promedio de la flota artesanal ( $L = 200,5$  cm) supera en un 54% a la talla promedio de la flota palangrera ( $L = 129,8$  cm).

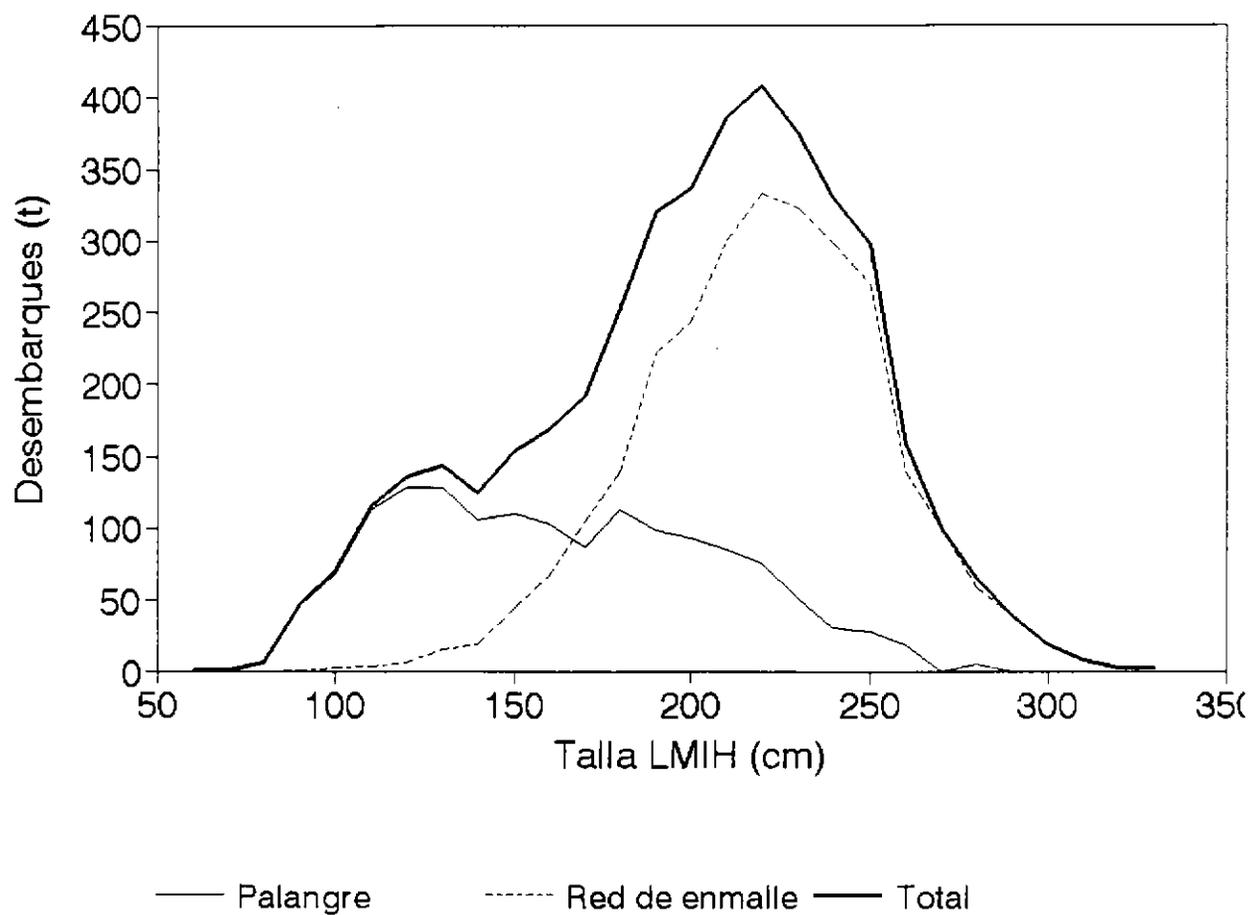


Figura 2. Estructura de tallas del desembarque de pez espada en Chile durante 1994.

El "promedio" de la composición de frecuencias de tallas 1993-94 correspondió a la suma ponderada de las frecuencias de tallas de ambos años, procedimiento que es de todos conocidos cuando se desea, por ejemplo, obtener la frecuencia de tallas de un año a partir de las frecuencias de tallas mensuales.

Para tal efecto, la composición de tallas ponderada se obtuvo de la forma:

$$C(L) = \sum_r C(L)^{93} \frac{Y^{93}}{Y^{93} + Y^{94}} + \sum_r C(L)^{94} \frac{Y^{94}}{Y^{93} + Y^{94}}$$

donde Y corresponde al desembarque (en peso) y C(L) la frecuencia de individuos a la talla L-ésima.

Por otra parte, la estructura de tallas recopiladas a través del proyecto FIP "Monitoreo de la pesquería de pez espada I-IX regiones" desarrollado entre fines de 1994 y 1995, fue supuesta como representativa de la situación de la pesquería durante 1994, esto debido a que la baja representatividad en el número de muestras recolectadas durante 1994 sugirió emplear el universo de datos recolectados en el proyecto antes citado.

### 4.3. Estimación de parámetros biológicos

La información básica empleada para la estimación de los parámetros biológicos consideró la relación longitud-peso y la estructura de pesos troncos del desembarque recopilados por IFOP entre 1989 y 1994, y los datos de edad-talla y muestreos de pesos troncos del desembarque recopilados por la UCV entre 1987 y 1988.

#### 4.3.1. Parámetros de crecimiento

Considerando que los últimos estudios de crecimiento del recurso pez espada se basan en estimados diferenciados por sexos (Leiva, 1993; Montiel (en prensa)), y dada la naturaleza de los modelos de evaluación propuestos y la inexistencia de diferenciación sexual de los desembarques, los parámetros de crecimiento fueron reajustados considerando las tallas y pesos promedios para ambos sexos observados por clases de edad.

Los parámetros relativos al modelo de Von Bertalanffy ( $L_{\infty}$ ,  $K$  y  $t_0$ ) se ajustaron según los mínimos cuadrados no-lineales según la expresión:

$$SSQ = \min \sum_n \sum_t^{t_n} (Y_{n,t}^{obs} - Y_{n,t}^{est})^2$$

donde  $Y_{n,t}^{obs}$  corresponde a la variable observada (talla o peso) de la  $n$ -ésima observación perteneciente a la  $t$ -ésima clase de edad, y  $Y_{n,t}^{est}$  la variable estimada respectiva de acuerdo al modelo de Von Bertalanffy para tallas de la forma:

$$Y_t^{est} = L_t^{est} = L_{\infty} * (1 - e^{-K * (t - t_0)})$$

y en peso:

$$Y_t^{est} = W_t^{est} = W_{oo} * (1 - e^{-K * (t - t_0)})^b$$

Los resultados obtenidos son presentados en las Tablas 6, 7 y 8, destacándose que la talla y peso asíntótico de pez espada se estimó en 287,5 cm LMIH y 207 kg peso tronco respectivamente.

Cabe destacar que para la estimación de los parámetros de crecimiento en peso, se consideró la relación somatométrica obtenida por Donoso *et al.* (1992):

$$W \text{ (Peso tronco (kg))} = 0,0000712 * \text{LMIH}^{3,031}$$

donde LMIH corresponde a la talla medida entre la mandíbula inferior y la horquilla del pez evaluada en centímetros.

**TABLA 6**

Parámetros de crecimiento en talla estimados para pez espada.

$L_{oo}$ (cm)	K (cm/año)	$t_0$ (años)	SSQ <sub>L</sub>	n° obs.
287,515	0,227	-0,839	44.187	147

**TABLA 7**

Parámetros de crecimiento en peso estimados para pez espada.

W <sub>oo</sub> (kg)	K (kg/año)	$t_0$ (años)	b	SSQ <sub>w</sub>	n° obs.
201,977	0.225	-1,082	3,031	63.707	147

TABLA 8

Valores estimados a través del ajuste de los parámetros de crecimiento de pez espada para las relaciones edad-talla y edad-peso.

Edad	Talla estimada (cm)	Peso estimado (Kg)
1	97,73	8,92
2	136,12	22,41
3	166,74	39,98
4	191,17	59,39
5	210,66	78,90
6	226,20	97,35
7	238,60	114,10
8	248,49	128,85
9	256,38	141,58
10	262,68	152,38
11	267,70	161,44
12	271,70	168,97

Los ajustes respectivos son mostrados en la Fig. 3, observándose que para la relación talla v/s edad la mayor variabilidad de los datos se concentra entre las edades 3 y 7, en tanto que para la relación peso v/s edad, esta variabilidad es significativamente mayor abarcando la totalidad del espectro analizado. Este hecho se asocia principalmente a la clara diferenciación sexual del crecimiento del pez espada (Leiva, 1992), pudiéndose interpretar de estos gráficos que los menores registros por edades corresponden en su mayoría a individuos machos, en tanto que los superiores a las hembras.

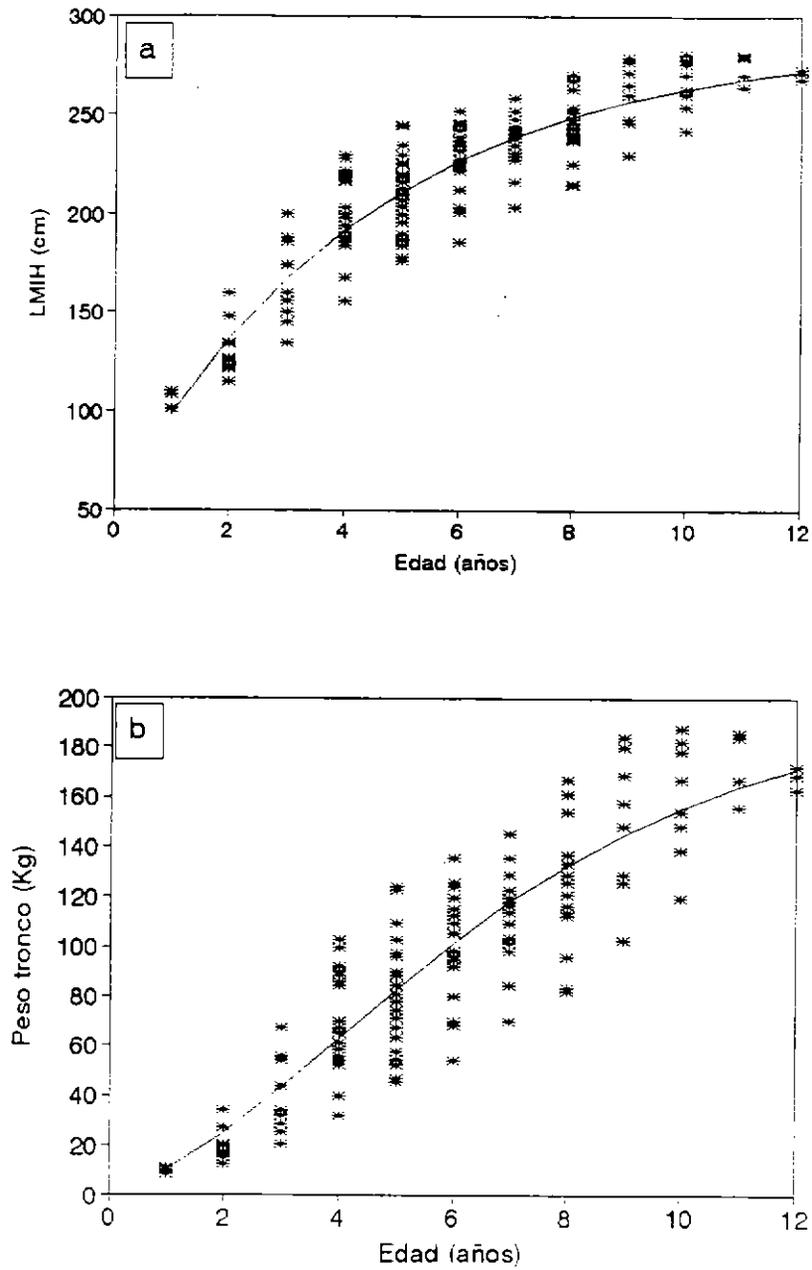


Figura 3. Valores observados y ajustados del crecimiento de pez espada a través del modelo de Von Bertalanffy: a) en tallas y b) en peso tronco.

Los parámetros de crecimiento deben ser diferenciados por sexos, pero mientras no se resuelva la problemática asociada a la identificación del sexo en los desembarques de pez espada (truncos HG), la estimación de estos parámetros determinantes en la aplicabilidad de los modelos de evaluación de stock deben ser considerados a nivel global.

La data empleada para la estimación del crecimiento de pez espada corresponde a lecturas de tallas y edades recolectadas por la UCV y que han sustentado dos tesis de título (Leiva (1993) y Montiel (1996)), razón por la cual, se considera que la calidad de la información es lo suficientemente válida como para desarrollar este tipo de estudios. En este sentido, la calidad de los parámetros de la función de crecimiento responden fielmente al ajuste hecho sobre el set de datos disponible, los que aun cuando el número de observaciones que señala el evaluador es bajo, cubren de manera representativa todo el espectro de edades del pez espada explotado por nuestra flota.

De esta manera y a petición del evaluador, se entregan los errores estándar asociados a los parámetros de crecimiento:

	Valor	Error estándar
$L_{\infty}$	287,515	13,213
K	0,227	0,049
$t_0$	-0,839	0,715

Por otra parte y en relación a la implicancia del uso de una curva diferenciada por sexos en relación a la mortalidad natural y aspectos asociados a las evaluaciones de stock, se vuelve a recalcar tal como se mencionó en el pre-informe final, que mientras no sea posible identificar sexos del desembarque de pesos truncos, cualquier intento de manejo de la pesquería diferenciado sexualmente resultará en vano.

#### 4.3.2. Mortalidad natural

Los parámetros empleados en los modelos bioanalógicos y la estimación de la mortalidad natural son mostrados en la Tabla 9. Al respecto se destaca que la edad máxima considerada para el recurso se estimó en 15 años y corresponde a la edad que alcanzaría un pez al 95% de  $L_{\infty}$  (Taylor, 1958), en tanto que para la temperatura promedio del mar se

consideró un valor de 16°C, registro que según González (1993) sería representativo de la temporada extractiva de pez espada.

Estos resultados indican que de los 4 modelos bioanalógicos considerados, solo 3 presentan valores similares (Pauly, Taylor y Beverton y Holt) en un rango de valores que varían entre 0,243 y 0,278, en tanto que el valor de M obtenido a través del modelo de Alverson y Carney ( $M=0,512$ ) resultaría excesivo en relación al rango de mortalidades antes indicado y a la tasa de crecimiento anual.

**TABLA 9**

Parámetros empleados y mortalidad natural estimada para pez espada a través de modelos bioanalógicos.

Modelo (autor)	$L_{\infty}$ (cm)	K (cm/año)	$t_0$ (años)	$t_{\max}$ (años)	b	T (°C)	M
Pauly	287,5	0,227	-	-	-	16,0	0,278
Taylor	-	0,227	0,839	-	-		0,243
Beverton-Holt	-	-	-	15	-		0,333
Alverson-Carney	-	0,227	-	15	3,031		0,512

Por otra parte, la estimación de las mortalidades totales de pez espada obtenidas de las estructuras de tallas de los desembarques entre 1987 y 1993 presentadas en la Fig. 4 y tabla 10, indican que este parámetro presentó un sostenido crecimiento registrando en el último año la máxima observación con un valor de  $Z=1,66$ . Se puede advertir que este hecho se asocia estrechamente con la tendencia general que ha presentado el esfuerzo de pesca, lo cual hace factible la aplicación del método regresional para la estimación de la mortalidad natural.

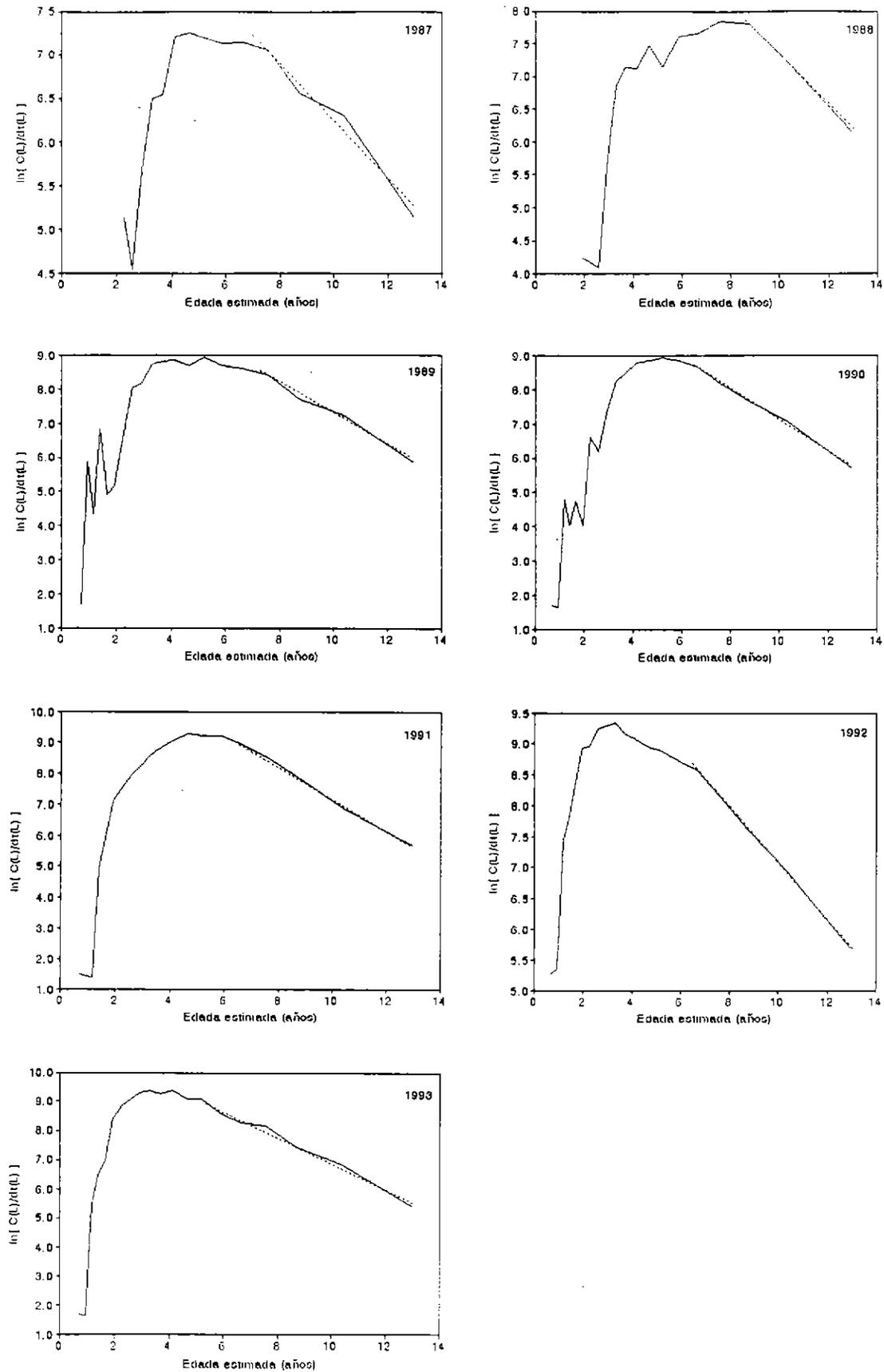


Figura 4. Estimación de la mortalidad total de pez espada en base al análisis de las estructuras de tallas medidas entre 1987 y 1993.

TABLA 10

Mortalidades totales (Z) de pez espada obtenidas por regresión desde las estructuras de tallas de los desembarques entre 1987 y 1993.

Año	Intercepto (a)	Mortalidad total (Z)	R <sup>2</sup>
1987	9,376	0,317	0,966
1988	11,266	0,394	0,995
1989	9,407	0,889	0,948
1990	9,538	1,020	0,959
1991	10,036	1,240	0,989
1992	9,794	1,360	0,992
1993	10,053	1,666	0,963

En efecto, la regresión entre el esfuerzo de pesca y la mortalidad total explica un 89,6% de la variabilidad total, deduciéndose una mortalidad natural aproximadamente de 0,23 (Tabla 11). En esta regresión no se consideró la mortalidad total correspondiente a 1988, debido a que este valor resultó muy bajo en relación al nivel de esfuerzo de pesca ejercido y lejano a la tendencia global de la serie analizada (Fig. 5).

TABLA 11

Estimación de la mortalidad natural a través del método regresional.

Pendiente (q)	Intercepto (M)	Grado de ajuste (R <sup>2</sup> )	Desviación de los estimados
0.00003297	0.2297	0.8959	0.16678

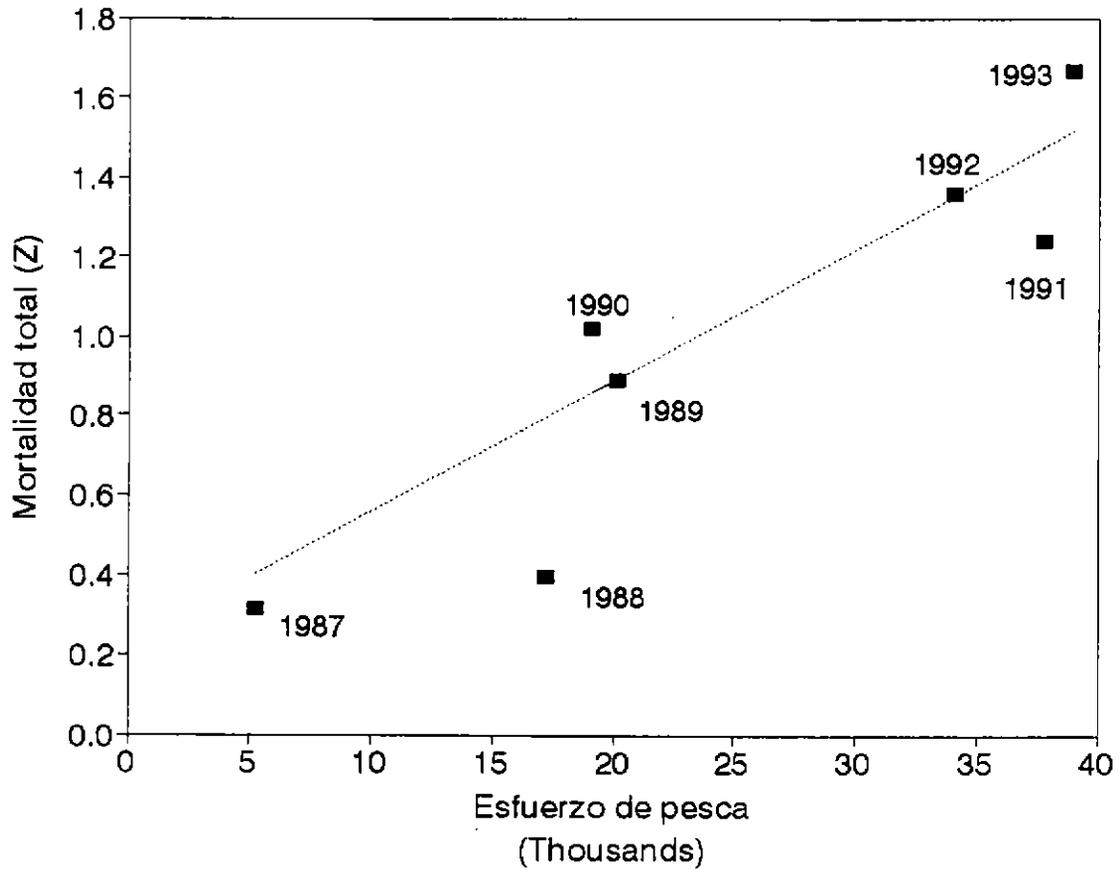


Figura 5. Regresión ajustada entre el esfuerzo de pesca y la mortalidad total de pez espada entre 1987-1993.

INSTITUTO  
NACIONAL DE ESTADÍSTICA

Una vez estimados los valores de  $M$  según los modelos propuestos (bioanalógicos y regresionales), la selección de la mortalidad natural consideró el promedio aritmético de los estimados, excluyendo aquellos valores cuya relación  $M/K$  fuese superior en un 50% de su tasa de crecimiento corporal ( $K$ ). Esto se debe a que el recurso en estudio por tratarse de un pez de gran tamaño relativo, longevo y de rápido escape a los depredadores superiores (orcas, cachalotes y tiburones), el valor de la mortalidad natural debiese encontrarse en las proximidades superiores de su tasa de crecimiento corporal ( $K$ ) y a juicio experto, no superior al 50% de éste (Jones, 1982).

En efecto, Beardsley (1977) sugiere que dada la longevidad del pez espada del Atlántico Norte, la mortalidad natural debiese ser baja en relación a otros peces aguja y túnidos capturados en esas latitudes, razón por la cual y en base a sus estimaciones sugiere un rango plausible entre 0,21 y 0,43. Si bien es cierto, la realidad del stock chileno pudiera ser diferente en términos biológicos, el valor de mortalidad encontrado se encuentra en el rango propuesto por el autor y es concordante en relación a la tasa de crecimiento

La estimación de  $M$  promedio se presenta en la Tabla 12, destacándose la exclusión en esta estimación del resultado arrojado por el modelo de Alverson y Carney (1975), cuya mortalidad natural se estimó superior en 2,3 veces la tasa de crecimiento corporal y lejos del límite superior propuesto por Beardsley (1977).

De estos resultados, se puede deducir que la mortalidad natural de pez espada varía en el rango 0,23 y 0,33, acogiéndose el valor de  $M=0,271$  como el estimado más representativo de este rango y razonable en relación a la biología y crecimiento somático del pez. En este sentido, este valor se asimila significativamente al estimado de Pauly, lo cual implica que, a falta de mayores antecedentes, la condición del medio ambiente en conjunto con los parámetros de crecimiento serían factores determinantes de la sobrevivencia natural de esta especie.

TABLA 12

Estimación de la mortalidad natural (M) de pez espada.

Modelo	Regresional	Pauly	Taylor	Beverton y Holt	Alverson y Carney	Media
M	0,230	0,278	0,243	0,333	0,512	0,271
M/K	1,011	1,223	1,069	1,467	2,255*	1,194

\* no considerada en el promedio

#### 4.4. Evaluación de stock

##### 4.4.1. Unidad de stock

Si se consideran las hipótesis de aislamiento y homogeneidad, el stock será un conjunto autosuficiente e independiente de otros stocks de la misma especie, el cual se puede manejar individualmente (Laurec y Le Guen, 1981). Sin embargo, en su interior pueden haber subgrupos con características netamente diferentes; entonces se considera dividido en unidades de stock, con el objeto de realizar una gestión parcialmente aislada de cada una de ellas, que conlleve a un manejo más adecuado del conjunto inicial o stock. Tal división tiene como propósito aproximar la condición de homogeneidad, pero puede crear el problema inverso de dificultad para respetar el supuesto de la condición de aislamiento.

Al respecto cabe señalar que sobre el pez espada no se han realizado estudios para definir la estructura del stock en el Océano Pacífico. No obstante, se estima que el recurso es altamente migratorio y que en el Pacífico Suroriental es capturado principalmente por Chile (Fig. 1). Por este motivo, en el presente trabajo se asume la hipótesis de que Chile explotaría una unidad de stock relativamente independiente. Por otra parte, en el proceso de evaluación del recurso se considera que la emigración e inmigración se compensarían, en un proceso reproductible interanualmente.

#### 4.4.2. Modelo global de producción

En relación con la aplicación de modelos globales de producción, la hipótesis de base supone que a cada estado del stock, caracterizado por una biomasa dada, le corresponde un equilibrio estable con el medio (Laurec y Le Guen, 1991).

Al aplicar el método de PRODFIT, se ingresan los datos de captura y esfuerzo, con los cuales se calcula la respectiva CPUE y los valores de partida de los parámetros a, b y m. Posteriormente, mediante iteraciones se minimiza la diferencia entre los valores observados y estimados mediante mínimos cuadrados, entregando los nuevos valores de dichos parámetros.

Los resultados indican que el modelo se ajustó favorablemente a la serie analizada, alcanzando un grado de explicación del 95% de su variabilidad, con los parámetros que se presentan en la Tabla 13.

**TABLA 13**

Parámetros del modelo global ajustado a la pesquería de pez espada entre 1987 y 1994.

a	b	m	R <sup>2</sup>
0,4677	-8,18E-5	1,900	0,95

Al respecto se destaca el notable aumento del esfuerzo de pesca en el período considerado (1987-94), alcanzándose la máxima captura equilibrada con un esfuerzo de 27.096 días en el mar (Tabla 14; Fig. 6). Sin embargo, después de 1990 el aumento del esfuerzo habría motivado a que el recurso se sitúe al lado derecho de la curva de producción, implicando un evidente estado de sobreexplotación, aunque en condiciones de equilibrio.

TABLA 14

Niveles de equilibrio óptimos estimados para la pesquería de pez espada a través del modelo de Fox (1975).

Parámetros	Estimados	% error
CPUE <sub>máx</sub>	0,43 (t/dm)	13,2
CPUE <sub>ópt</sub>	0,21 (t/dm)	7,2
f <sub>ópt</sub>	27.096 (dm)	6,0
RMS	5.707 (t)	6,5

Por otro lado, en la Figura 6 se indica que en la actualidad, la pesquería de pez espada se encuentra muy por debajo del Máximo Rendimiento Sostenido (RMS= 5.707 t) y con niveles de esfuerzo de pesca por sobre los recomendados (38.000 días en el mar aprox. en 1994).

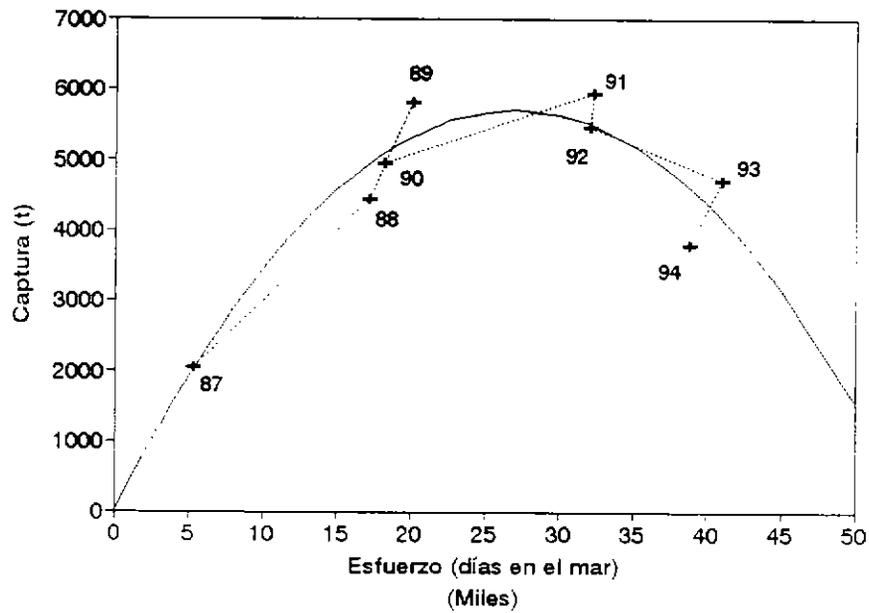
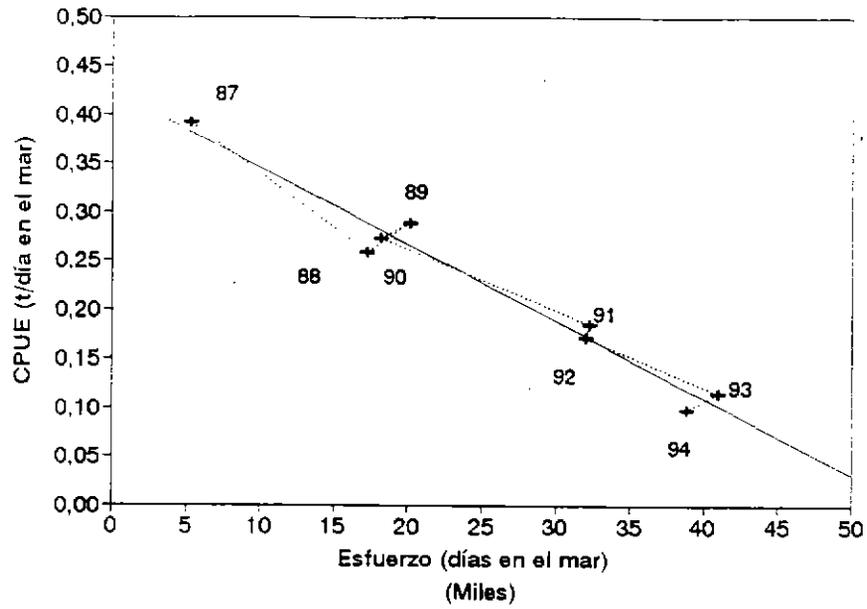


Figura 6. Modelo global de Producción ajustado a la pesquería de pez espada realizada por Chile entre 1987 y 1994.

#### 4.4.3. Análisis de pseudo-cohorte a la talla

La evaluación de stock a través del modelo estructurado a la talla desarrollado por Jones (1982) consideró la estructura de tallas de los desembarques entre 1993 y 1994, los parámetros de la relación longitud peso, los parámetros de crecimiento para la relación talla-edad y el valor estimado de mortalidad natural.

Considerando que para el desarrollo de esta evaluación, los parámetros de crecimiento deben describir el tiempo transcurrido entre la marca de clase de cada intervalo de longitud, y que para cada intervalo de talla se asocia una edad promedio y no la clásica asignación de una talla promedio por clase de edad (relación inversa), los parámetros de crecimiento se reajustaron a la relación talla-edad promedio a través de mínimos cuadrados de la siguiente forma:

$$SSQ = \min \sum_{L_i}^{L_\lambda} (t(L_i)^{obs} - t(L_i)^{est})^2$$

donde  $t(L_i)^{obs}$  corresponde a la edad observada de la talla  $i$ -ésima, y  $t(L_i)^{est}$  a la edad promedio estimada a la talla respectiva según el modelo:

$$t(L_i)^{est} = -\frac{1}{K} * (1 - \frac{L_i}{L_{\infty}}) + t_0$$

Estos resultados son presentados en la Tabla 15, destacándose que los parámetros de crecimiento difieren significativamente de los obtenidos en 1.2., pero resultan consistentes con la aplicabilidad del modelo de pseudo-cohortes a la talla propuesta. En efecto, en la estimación de los parámetros de crecimiento consignado en 1.2., se observa que la longitud asintótica es menor a la máxima talla observada en el desembarque, lo cual en un principio hace inviable la aplicabilidad del método estructurado en tallas. Para resolver este problema, algunos autores han optado por elegir arbitrariamente un  $L_{\infty}$  superior en un 5% de la talla máxima observada en la estructura de tallas, descuidando con esto la relación existente entre este parámetro y la pendiente de crecimiento  $K$ .

Sin embargo, el enfoque aquí desarrollado permitió reestimar la talla asintótica en conjunto con el parámetro K usando como variable independiente la talla, razón por la cual los resultados son más objetivos y responden a una situación biológica de la especie y no a supuestos que podrían ser cuestionables (Fig. 7). En este sentido, la longitud asintótica resultó superior al máximo registro de tallas observado en el desembarque y a lo obtenido en 1.2., en tanto que el parámetro K arrojó un menor valor respecto de su homólogo.

**TABLA 15**

Estimación de los parámetros de crecimiento de pez espada para la relación talla v/s edad.

$L_{\infty}$ ' (cm)	K' (año/cm)	$t_0$ '(años)	SSQ <sub>L</sub>	n° obs.
359,22	0,1489	-0,5451	196,3	147

Con el set de datos antes descrito, se realizó la evaluación del stock de pez espada según lo consignado en la metodología propuesta. Los resultados se muestran en las Tablas 16, 17 y Fig. 8.

En relación a los parámetros de crecimiento empleados en el análisis de cohortes a la talla y su reestimación en la relación inversa de Von Bertalanffy talla v/s edad, se trabajó estrictamente con las sugerencias de Jones (1982) y las cuales se basan fundamentalmente en que los parámetros de crecimiento de entrada al modelo no corresponden necesariamente a los obtenidos de la clásica relación edad-talla, sino a los que se desprenden de la relación inversa talla-edad. En este contexto, se sugiere estimar empíricamente la edad promedio para cada rango de tallas (antes se estimaba la talla promedio para una determinada edad), aprovechando la naturaleza de los datos disponibles y evitando suponer, por ejemplo, una talla asintótica correspondiente a un 5% superior a la talla máxima.

Por otra parte, si bien es cierto que la mortalidad natural se estimó en base a los parámetros de crecimiento edad-talla, este valor se corresponde con un abanico de modelos

que fueron debidamente detallados y que por su naturaleza, se asocian a una mortalidad medida en términos temporales (anuales) y no en términos de longitud. En todo caso, se debe comprender que la relación inversa talla-edad simplemente se desarrolla con fines de estimar empíricamente (ajuste de valores observados) la edad de una determinada talla, evitando así ser establecida mediante el despeje del parámetro "t" desde la ecuación de Von Bertalanffy.

**TABLA 16**

Resultados obtenidos de la evaluación de stock de pez espada.

Captura (t)	Captura (n°)	Biomasa (t)	Abundancia (n°)	Mortalidad por pesca global	Tasa de explotación
4.257	102.731	14.539	632.438	0,351	26,1 %

Tabla 17  
Matriz de evaluación: Análisis de Cohortes a la Talla - Pez espada

LMIH (cm)	ot (años)	W(kg)	Desemb. Industriales		Desemb. Artesanales		Desembarque Total		Mortalidades		Patrón expl.	Abundancias		
			C (#)	Y (t)	C (#)	Y (t)	C (#)	Y (t)	F	Z		N	NM (#)	BM (t)
60	0,231	1,75	13	0	0	0	13	0	0,0002	0,2702	0,0003	273614	61182	107
70	0,239	2,79	53	0	0	0	53	0	0,0009	0,2709	0,0013	257082	59439	166
80	0,247	4,18	1390	6	0	0	1390	6	0,0242	0,2942	0,0344	240981	57517	240
90	0,257	5,97	7638	46	147	1	7785	46	0,1428	0,4128	0,2031	224061	54604	326
100	0,267	8,21	8220	68	322	3	8542	70	0,1683	0,4383	0,2397	201531	50770	417
110	0,278	10,96	10272	113	301	3	10573	116	0,2273	0,4973	0,3238	179279	46529	510
120	0,290	14,27	9054	129	454	8	9509	136	0,2257	0,4957	0,3215	156139	42142	601
130	0,303	18,19	7082	129	834	15	7916	144	0,2078	0,4778	0,2959	135248	38114	693
140	0,317	22,77	4673	106	831	19	5503	125	0,1588	0,4288	0,2262	117038	34671	790
150	0,332	28,07	3918	110	1560	44	5479	154	0,1738	0,4436	0,2473	102172	31570	886
160	0,349	34,13	3031	103	1941	66	4872	170	0,1743	0,4443	0,2483	88167	28537	974
170	0,368	41,02	2105	86	2571	105	4675	192	0,1828	0,4528	0,2601	75487	25616	1051
180	0,390	48,78	2303	112	2861	140	5164	252	0,2284	0,4984	0,3254	63893	22624	1104
190	0,413	57,46	1708	98	3658	222	5566	320	0,2868	0,5568	0,4085	52616	19426	1116
200	0,440	67,13	1390	93	3619	243	5009	338	0,3088	0,5788	0,4399	41799	16241	1090
210	0,471	77,83	1099	86	3862	301	4681	388	0,3782	0,6482	0,5387	32398	13143	1023
220	0,506	89,61	847	76	3710	332	4557	408	0,4515	0,7215	0,6431	23879	10119	907
230	0,547	102,54	503	52	3152	323	3655	375	0,4952	0,7652	0,7054	16578	7405	759
240	0,594	116,65	265	31	2558	298	2853	329	0,5627	0,8227	0,7872	10912	5130	598
250	0,652	132,02	212	28	2041	269	2252	297	0,7021	0,9721	1,0000	6891	3230	426
260	0,721	148,68	132	20	938	139	1070	159	0,5588	0,8288	0,7959	3552	1927	287
270	0,807	166,70	0	0	597	99	597	99	0,5149	0,7849	0,7334	1954	1168	195
280	0,916	186,13	26	5	319	59	346	64	0,5154	0,7854	0,7340	1037	677	126
290	1,059	207,02	0	0	188	39	188	39	0,5252	0,7852	0,7481	505	362	75
300	1,255	229,42	0	0	86	20	86	20	0,4964	0,7664	0,7071	218	176	40
310	1,541	253,39	0	0	32	8	32	8	0,4204	0,6904	0,5988	83	79	20
320	1,997	278,99	0	0	7	2	7	2	0,4478	0,7178	0,6377	29	24	7
330	2,843	306,26	0	0	7	2	7	2	0,4478	0,7178	0,6377	11	16	5
Totales			85934	1496	36797	2760	102731	4257				632438		14539

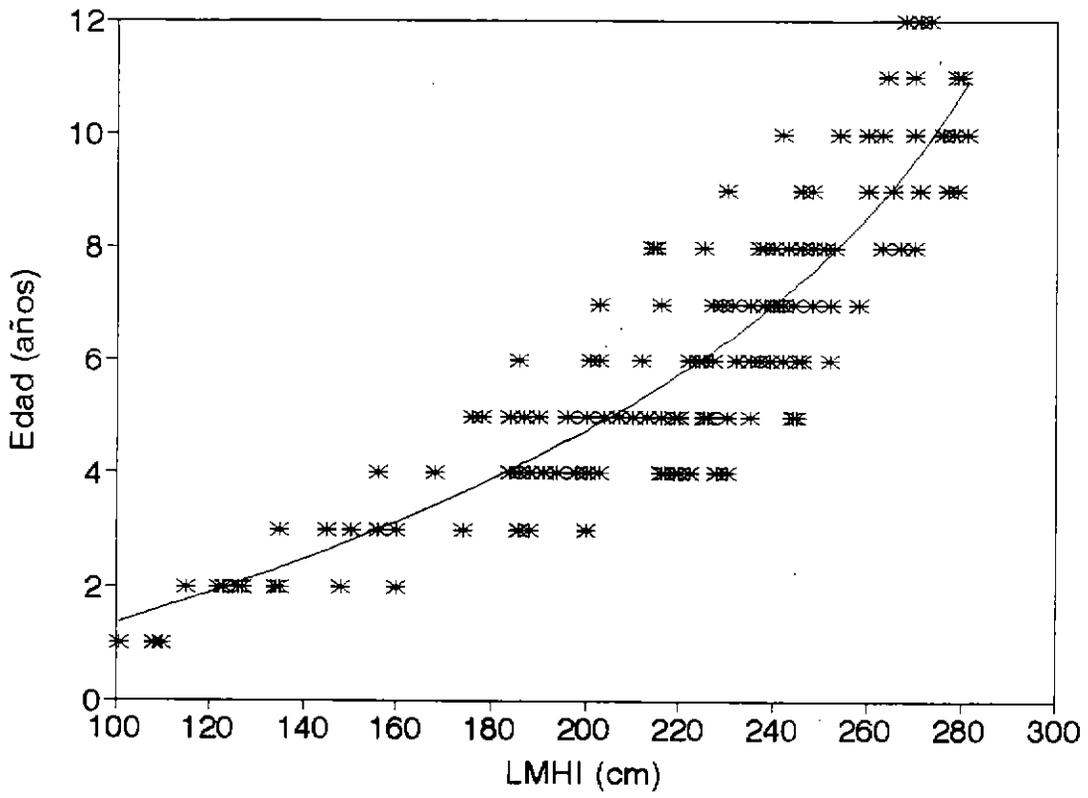


Figura 7. Valores observados y ajustados a través del modelo de Von Bertalanffy al inverso de talla-edad.

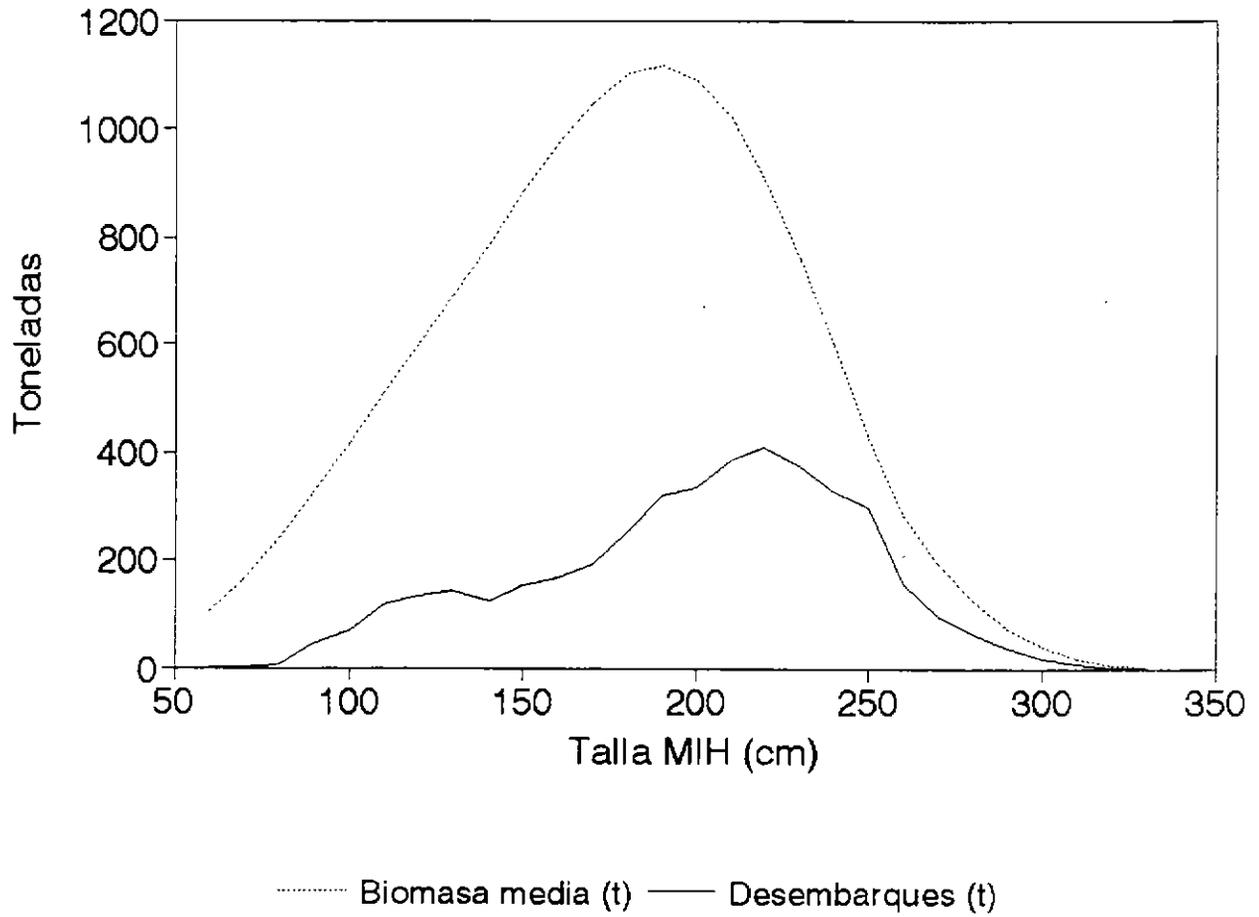


Figura 8. Estructura de tallas de la biomasa y del desembarque de pez espada en 1994.

Cabe destacar que el desembarque empleado en la evaluación correspondió al promedio 1993-94 estimado en 4.257 toneladas, con lo cual la biomasa determinada por este método (biomasa media) corresponde al tamaño del stock a inicios de 1994.

La mortalidad por pesca global del período se determinó para C, N, y M conocidos a través de la ecuación:

$$C = \frac{N * F * (1 - e^{-F-M})}{F+M}$$

en tanto que la mortalidad por pesca de entrada al análisis de pseudo-cohorte a la talla, sintonizada a través de un promedio geométrico de las mortalidades por pesca desde la talla que acumulaba el 50% de la captura, fué estimada en  $F_{\lambda} = 0,4478$ . La biomasa total estimada de pez espada corresponde a 14.539 toneladas, de las cuales, se estima que por efectos de la pesca se explotó el 26,1% de este stock traduciéndose en una mortalidad por pesca global del período de  $F = 0,351$ .

En relación a la sugerencia de considerar el nivel de desembarques totales entre julio de 1993 y junio de 1994 para la evaluación del stock talla-estructurado, se debe considerar que, dada la estacionalidad de la pesquería y la escala de evaluación empleada (anual y no mensual) se hace recomendable emplear un promedio anual mas que la suma de desembarques mensuales. En efecto, si se realiza la suma de los desembarques entre julio de 1993 y junio de 1994, se llega a un nivel total de desembarque que llega a las 3.700 toneladas, cifra que por razones asociadas a la estacionalidad de la pesquería, factores relacionados a variaciones intra-anales en el régimen operacional de la flota y cambios en los niveles de abundancia, resulta menor que el promedio empleado y estimado en 4.300 toneladas.

#### 4.4.4. Modelo de rendimiento por reclutas

Una vez conocida la relación longitud-peso, el valor de la mortalidad natural y asumiendo un reclutamiento unitario, se aplicó el modelo de rendimiento por recluta de Thompson y Bell (1934) considerando para el efecto, el patrón de explotación ( $r(L)$ ) relativo al máximo valor encontrado en el vector de mortalidades por pesca ( $\max F(L) = F_{\text{ref } 94} = 0,7021$ ).

Los resultados del modelo en cuestión son presentados en la Tabla 18, Fig. 9.

**TABLA 18**

Mortalidades por pesca de referencia estimadas a través del modelo de rendimiento por recluta de Thompson y Bell (1934).

Mortalidad de referencia ( $F_{ref\ 94}$ )	Mortalidad por pesca $F_{2/3}$	Mortalidad por pesca $F_{0.1}$	Mortalidad por pesca $F_{m\acute{a}x}$
0,702	0,175	0,267	0,520

Lo anterior permite sostener que la pesquería de pez espada se encuentra con evidentes signos de sobrepesca por crecimiento, por cuanto el nivel de referencia estimada  $F_{ref\ 94} = 0,702$  excede el valor biológico permisible dado por  $F_{m\acute{a}x} = 0,520$ . En efecto, para evitar esta situación la curva de biomasa por recluta indica que en equilibrio el stock no debe ser reducido mas allá de un 65% (correspondiente a  $F_{m\acute{a}x}$ ), lo que obviamente no se cumple debido a que en la actuales condiciones de explotación ( $F_{ref}$ ), la biomasa por recluta se ha visto mermada en más de un 80% respecto a la biomasa original.

La discusión relativa a los puntos biológicos de referencia se realiza de manera íntegra en el documento desde dos perspectivas: una asociada a las condiciones de explotación del stock en base a la curva de rendimiento por recluta, y la otra en base al análisis de riesgo y la probabilidad de colapso de la pesquería.

Finalmente y en relación a la talla-peso empleada en el análisis de rendimiento por recluta, esta corresponde a la estimada por Donoso (1992) la cual fué debidamente informada en el pre-informe final, punto 4.3.1.

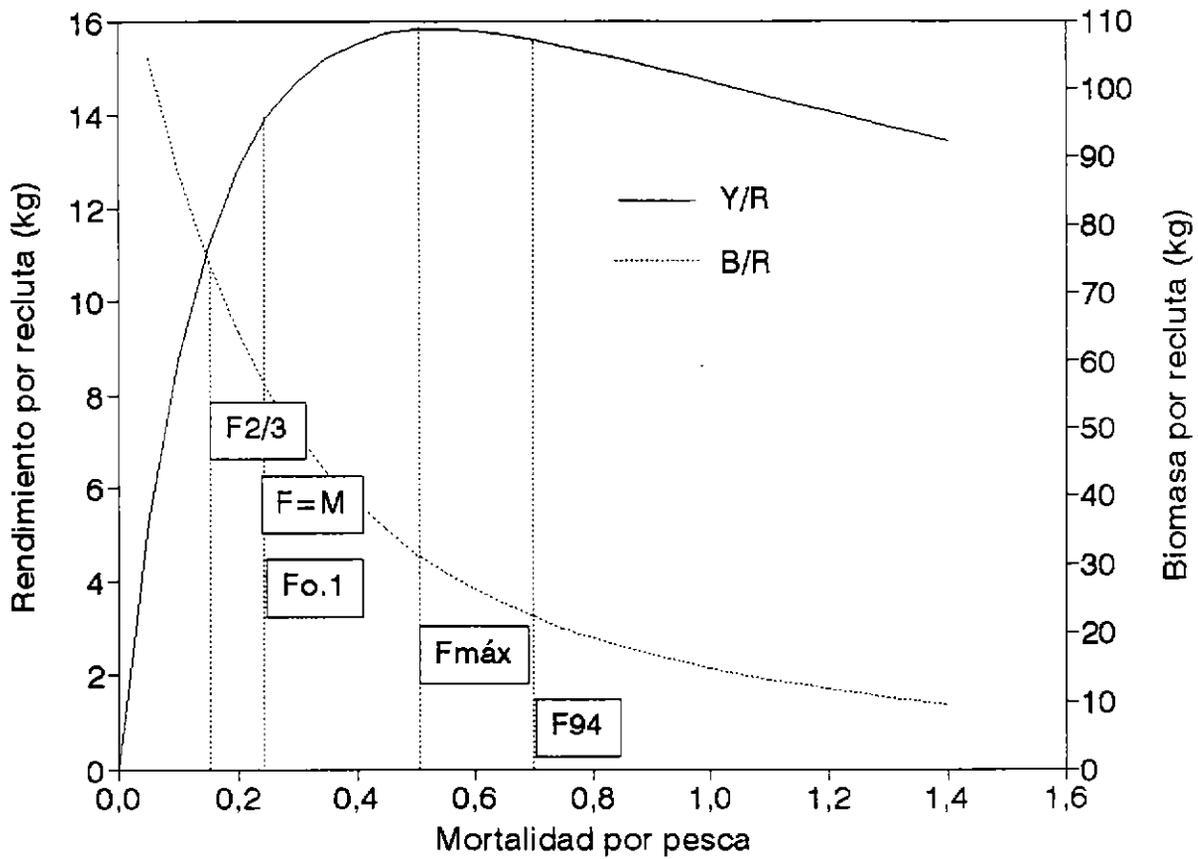


Figura 9. Rendimento y biomasa por recluta estimada para pez espada

#### 4.4.5. Estimación de la captura total permisible

Considerando las estimaciones de las mortalidades por pesca recomendables ( $F_{2/3}$ ,  $F_{0.1}$ ,  $F_{\text{máx}}$  y  $F=M$ ) se estimaron los respectivos valores de la Captura Total Permisible de acuerdo a la expresión:

$$CTP = \frac{\sum_{L_1}^{L_\lambda} r(L) * F_{cp} * N(L) * (1 - e^{-r(L) * F_{cp} - M}) * W(\bar{L}_i)}{r(L) * F_{cp} + M}$$

donde  $F_{CTP}$  corresponde a los valores de mortalidad por pesca  $F_{2/3}$ ,  $F_{0.1}$ ,  $F_{\text{máx}}$  y  $F=M$  respectivamente cuyo detalle se entrega en la Tabla 19.

**TABLA 19**

Valores estimados de Captura Total Permisible (t) de pez espada ante distintas estrategias de explotación.

CTP( $F_{2/3}$ )	CTP( $F_{0.1}$ )	CTP( $F_{\text{máx}}$ )	CTP( $F_M$ )
1.022 t	1.721 t	2.894 t	1.742 t

En este contexto, se observa que los actuales desembarques de pez espada (3.801 t) exceden de forma significativa a todas las capturas biológicamente recomendables, razón por la cual si se considera que la pesquería de pez espada se encuentra en una condición de sobrepesca, una medida máxima aceptable de explotación corresponderá al valor de  $CTP(F_{0.1})=1.721$  t., nivel que en teoría permitiría en el largo plazo reducir los efectos de sobrexplotación y tender a la estabilización y posterior recuperación del stock.

El criterio  $F_{0.1}$  es una medida de manejo ampliamente conocida y empleada en evaluaciones de stocks y cuyos conceptos teóricos se encuentran en Gulland (1960). Sin embargo, el análisis de riesgo y la curva de colapso permite descubrir, tal como se informara

SECRETARIA  
DE ECONOMIA  
DEPARTAMENTO  
DE ECONOMIA  
DE PESCA  
Y ACUICULTURA

en el documento, que tanto  $F_{0.1}$  y  $F_{2/3}$  son las únicas medidas que minimizan y reducen a cero la probabilidad de colapso de la pesquería (Figura 18).

Por otro lado y en relación a la extrañeza del evaluador en el empleo de un desembarque de 3.801 toneladas en vez del promedio estimado en 4.257 toneladas, siendo este último registro empleado sólo con fines de la evaluación de stock talla-estructurado y por ende, en la determinación exclusiva de la biomasa a enero de 1994.

#### 4.4.6. Modelo en diferencias retardadas

Para la aplicación del modelo en diferencias retardadas se consideraron como base de información los desembarques y esfuerzos de pesca entre 1984 y 1994, en tanto que los parámetros biológicos básicos estimados para la ejecución del modelo se presentan en la Tabla 20.

**TABLA 20**

Parámetros biológicos empleados en el modelo en diferencias para pez espada.

Coefficiente de Brody ( $\rho = e^{-K}$ ) <sup>1</sup>	Intercepto (a) de la regresión $W_t$ v/s $W_{t+1}$	Mortalidad natural (M)	Edad de reclutamiento <sup>2</sup>
0,935	20,838	0,270	1

<sup>1</sup> el parámetro K corresponde al estimado de la relación edad-peso

<sup>2</sup> estimada considerando la menor talla observada en los desembarques

Por otra parte y considerando que la pesquería habría presentado un cambio importante en el coeficiente de capturabilidad debido al alejamiento de las zonas de pesca a partir de 1990 (González, 1993), se decidió incluir al modelo dos coeficientes de capturabilidad: uno asociado al período 1984-1990; y el otro al período 1991-1994. De igual forma y bajo la hipótesis que entre 1984 y 1986 la pesquería se desarrolló en torno a la curva de equilibrio y ante la ausencia de estimados de esfuerzo de pesca para estos años, los valores respectivos fueron extrapolados desde el modelo global de producción antes ajustado.

La estimación de los parámetros críticos del modelo: los de la relación stock-recluta ( $\alpha, \beta, \gamma$ ), los coeficientes de capturabilidad ( $q_{1984-90}$ ,  $q_{1991-94}$ ), y los tamaños poblacionales a 1984 ( $N_{1984}$  y  $B_{1984}$ ), se resolvieron a través del optimizador de la planilla de cálculo Qpro, cuyos resultados se observan en la Tabla 21.

**TABLA 21**

Parámetros biológicos críticos estimados a través del modelo en diferencias retardadas.

Parámetro	Valores de partida	Valores estimados
$\alpha$	10,0	12,64
$\beta$	1,0	1,1
$\gamma$	10.000	14.920
$q_{1984-90}$	3,30E-5	9,32E-6
$q_{1991-94}$	3,30E-5	8,08E-6
$N_{1984}$	300.000	493.336
$B_{1984}$	30.000	38.346
SSQ	7,2E6	2,2E6

Cabe destacar que los valores de partida para el algoritmo de optimización se asignaron de manera arbitraria pero dentro de rangos plausibles, en tanto que los asociados a los coeficientes de capturabilidad se les dió el valor estimado en el cálculo de la mortalidad natural a través del método regresional. Los resultados indican que el modelo se ajustó favorablemente a las variables observadas, reduciendo de esta forma la suma de cuadrados del error en un -71,4% respecto al valor de partida.

La Fig. 10 muestra el grado de ajuste de las capturas observadas y estimadas, como también la evolución que habría presentado la biomasa desde 1984 a la fecha. Al respecto se

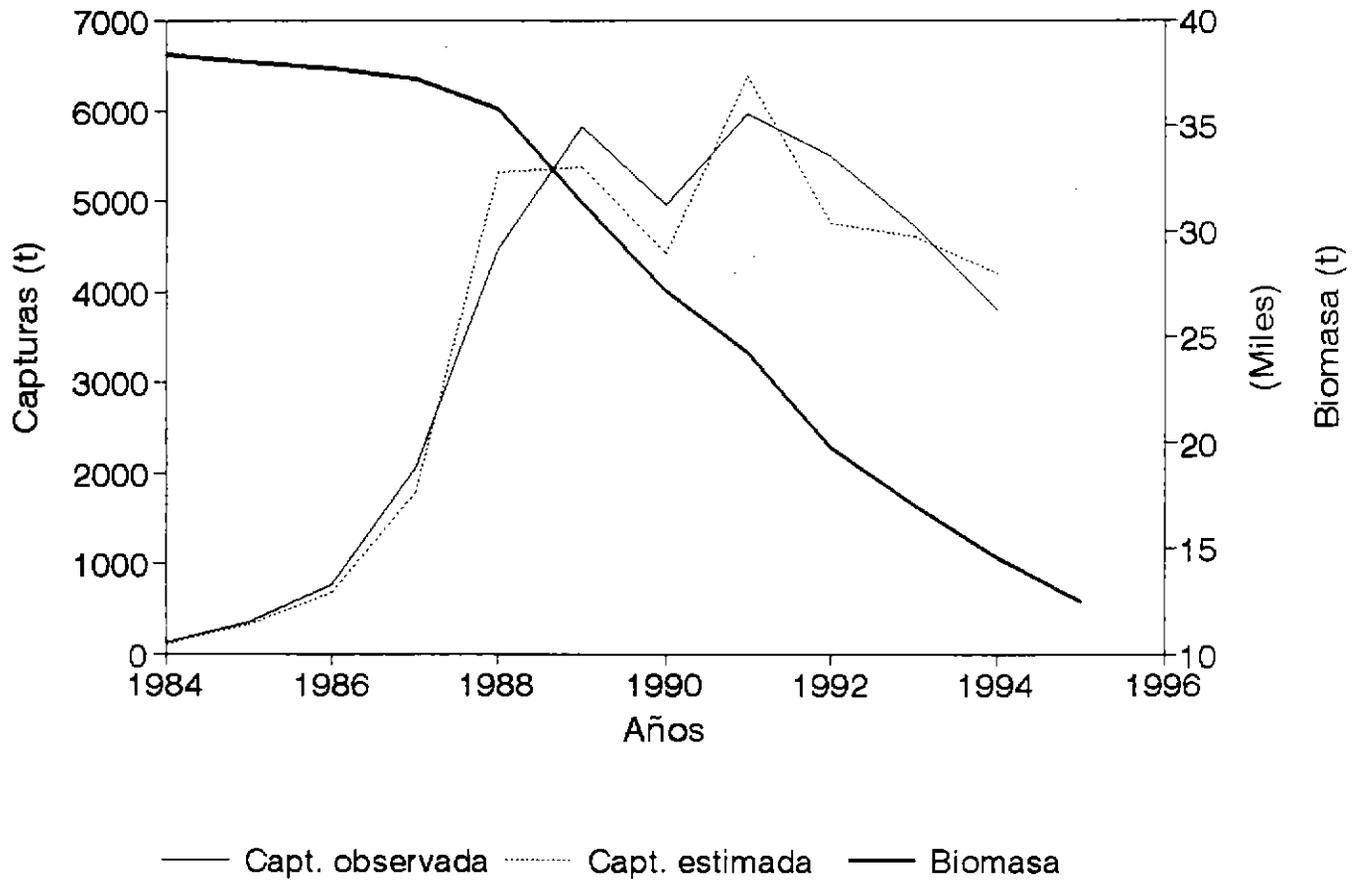


Figura 10. Capturas observadas y estimadas, y biomasa de pez espada entre 1984 y 1995.

destaca que hasta 1988, la biomasa se habría mantenido en torno a las 38.000 toneladas, para luego presentar como consecuencias del rápido crecimiento de los desembarques, una vertiginosa caída que proyectada a 1995, no superaría de las 12.400 toneladas (Tabla 22). Es probable que la drástica disminución del stock se deba al fuerte estado de sobrepesca por crecimiento que afecta a la población explotable, consignando por estas causas, la probable sobreexplotación por reclutamiento debido a la fuerte reducción del potencial reproductor.

**TABLA 22**

Aplicación del modelo en diferencias y estimación de abundancias, biomاسas, mortalidades por pesca y reclutamientos de pez espada entre 1984 y 1994.

Año	Biomasa (t)	Abundancia (n)	Mortalidad por pesca (F)	Reclutamientos (n)
1984	38.384	493.362	0,002	127.155
1985	38.027	502.854	0,008	127.155
1986	37.720	507.676	0,018	126.926
1987	37.226	507.277	0,049	126.725
1988	35.832	495.084	0,160	126.396
1989	31.325	447.337	0,188	125.418
1990	27.173	404.661	0,178	121.687
1991	24.275	375.876	0,305	117.271
1992	19.745	324.967	0,275	113.444
1993	17.019	294.153	0,315	105.769
1994	14.539	263.700	0,341	99.801
1995 *	12.464	236.242	-	93.170

(\* valor proyectado)

Se debe indicar que el modelo fue ajustado a través de algoritmos de optimización no-lineal cuya suma de los cuadrados del error son presentados en la Tabla 21. Sin embargo, los errores asociados a cada parámetro no pueden ser obtenidos tan fácilmente por cuanto el algoritmo empleado es una vía de búsqueda iterativa de la solución objetivo y no un ajuste de regresión.

Por otra parte, la relación stock recluta estimada se muestra en la Fig. 11, destacándose que esta presentaría una forma del tipo Beverton y Holt (1957), con niveles de reclutamiento asintóticas en torno a los 140 mil individuos. De esta representación es posible observar que debido a los reducidos niveles de biomasa, los reclutamientos se encontrarían en la región de proporcionalidad con el stock parental, con lo cual se fortalece la hipótesis planteada respecto a que el stock presentaría además una tendencia a la sobreexplotación por reclutamiento.

La relación stock-recluta estimada corresponde a una situación particularmente teórica proveniente del ajuste de un modelo de evaluación, la cual es debidamente analizada y permite inferir que, de acuerdo a lo informado en el documento, los actuales niveles y tendencias de la biomasa posicionan al recurso en la región lineal y proporcional de la curva S-R, lo cual sugiere obviamente una condición de sobrepesca por reclutamiento, por cuanto la disminución de los reclutas es lineal respecto al deterioro de la biomasa.

INIA  
INSTITUTO NACIONAL  
DE INVESTIGACIONES  
AGROPECUARIAS

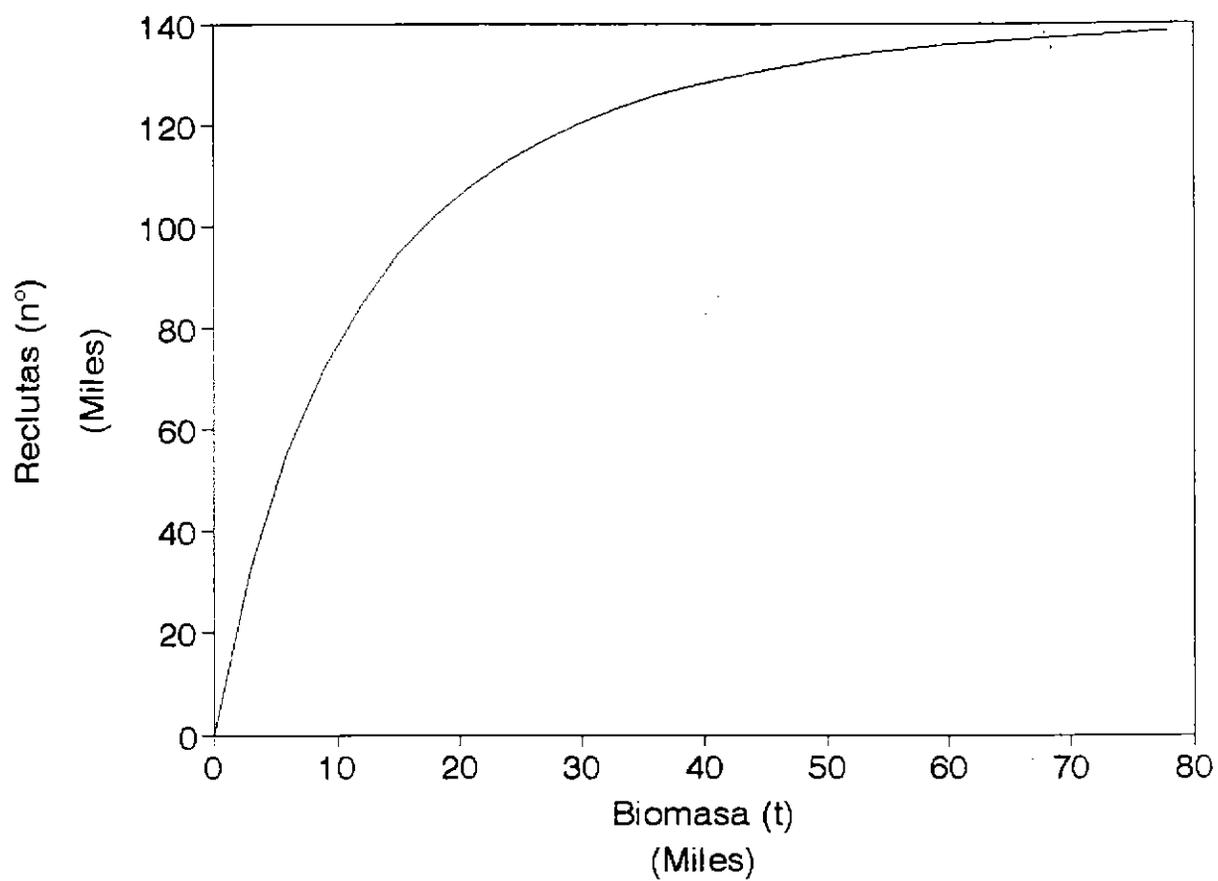


Figura 11. Relación stock-recluta estimada para pez espada.

#### 4.4.7. Estimación de excedentes productivos y análisis de equilibrio

Empleando la metodología de Rivard (1982) se determinó la evolución de los excedentes productivos del stock de pez espada entre 1984 y 1993. Al respecto se destaca que desde 1986 los desembarques se han presentado muy por sobre el nivel de los excedentes productivos del stock, logrando éstos últimos un máximo de 3.000 toneladas hacia 1992, para luego disminuir en torno a las 2.000 t en 1994. Esto ha significado que en promedio, los desembarques en el período 1984-1994 han superado en un 156% los excedentes productivos de la población, lo cual justificaría la drástica caída del stock destacada en párrafos anteriores (Tabla 23, Fig. 12).

**TABLA 23**

Desembarques y excedentes productivos de pez espada entre 1984 y 1994.

Año	Desembarques (t)	Excedentes prod. (t)	Diferencia relativa
1984	103	0	-100%
1985	342	266	-22,3%
1986	764	501	-34,4%
1987	2.059	896	-56,5%
1988	4.455	179	-95,9%
1989	5.824	1.906	-67,3%
1990	4.955	2.286	-53,9%
1991	5.959	1.649	-72,3%
1992	5.481	2.975	-45,7%
1993	4.712	2.435	-48,3%
1994	3.801	1.920	-50,0%

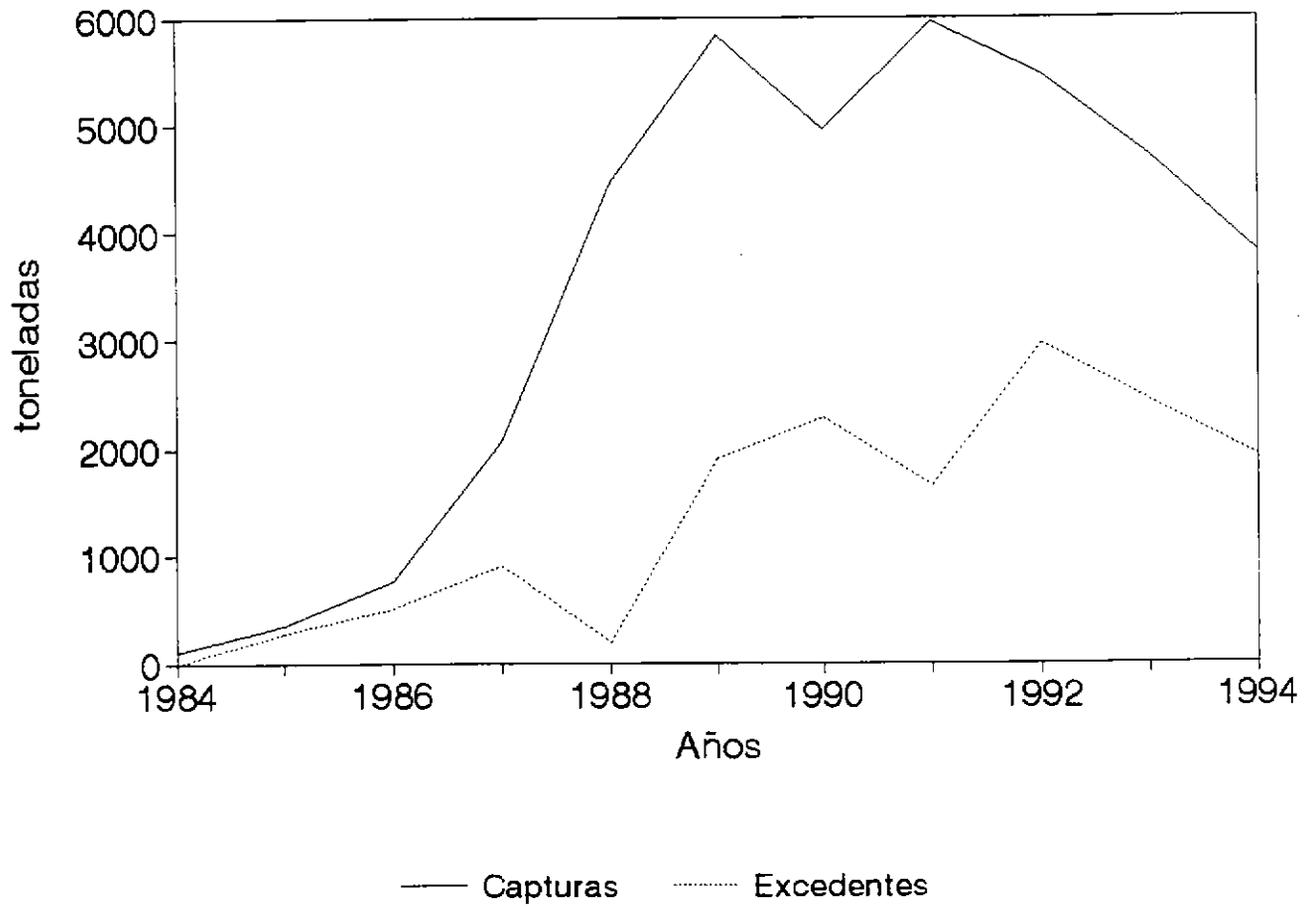


Figura 12. Excedentes productivos y desembarques de pez espada entre 1984 y 1994.

De igual forma y a través de la metodología señalada anteriormente, el análisis de equilibrio permitió determinar los niveles de desembarques, mortalidad por pesca y biomasa crítica del recurso (Fig. 13 y 14). Los resultados indican que dadas las actuales condiciones de explotación del stock y con el fin de evitar el colapso de la pesquería por sobrepesca por reclutamiento, la biomasa explotable no debiese ser reducida bajo las 12.000 toneladas, desprendiéndose de esta que la tasa de explotación recomendable no debiera superar el 10% (1.200 toneladas). Lo anterior se traduce a un nivel crítico de mortalidad por pesca global igual a  $F=0.1$ , con lo que el rango plausible de CTP debe encontrarse entre los niveles de mortalidad  $F=F_{2/3}$  y  $F=F_{0.1}$ , mostrando con esto una clara concordancia a lo mencionado en 4.4.5.

#### 4.5. Análisis de riesgo

Para realizar el análisis de riesgo de colapso de la pesquería ante distintas estrategias de explotación, las mortalidades por pesca obtenidas del análisis de rendimiento por recluta se reparametrizaron al espacio global que cubre el modelo en diferencias retardadas, es decir, se reestimaron de la ecuación de captura en términos globales de la forma:

$$CTP(F_{ref}) = \frac{B_{1994} * F_{global} * (1 - e^{-F_{global} - M})}{F_{global} + M}$$

donde  $F_{ref}$  corresponde a la mortalidad por pesca obtenida del análisis de rendimiento por recluta y  $F_{global}$  a la mortalidad por pesca equivalente en términos globales (Tabla 24).

La reparametrización de las mortalidades por pesca en biomasa y no en abundancias, se sustenta en la consecuencia del modelo en diferencias retardadas empleado en la proyección del stock, en el cual intrínsecamente la sobrevivencia y estimados de biomasa se realizan en base a la funcionalidad que existe entre los desembarques en peso y las mortalidades por pesca estimada en el mismo espacio paramétrico.

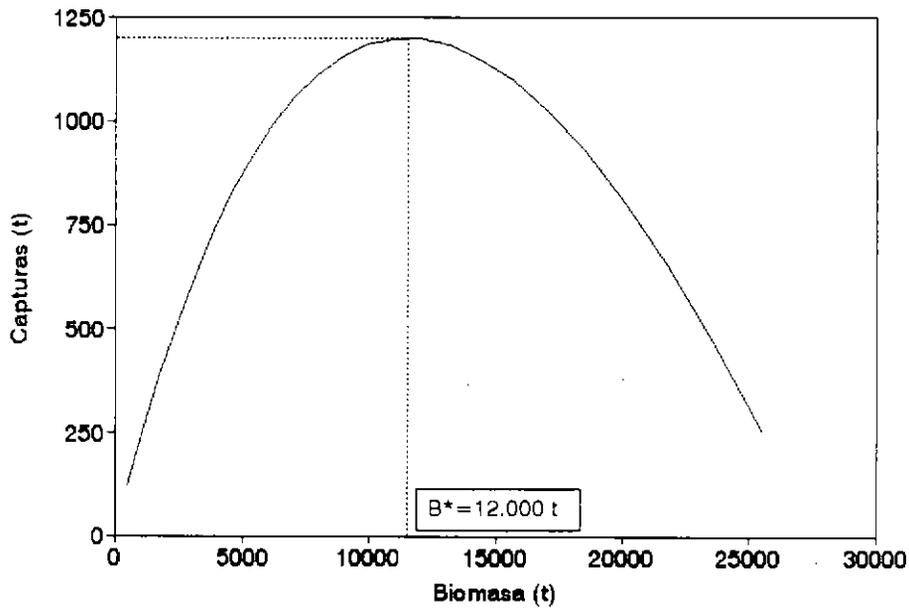


Figura 13. Capturas y biomasa de equilibrio de pez espada.

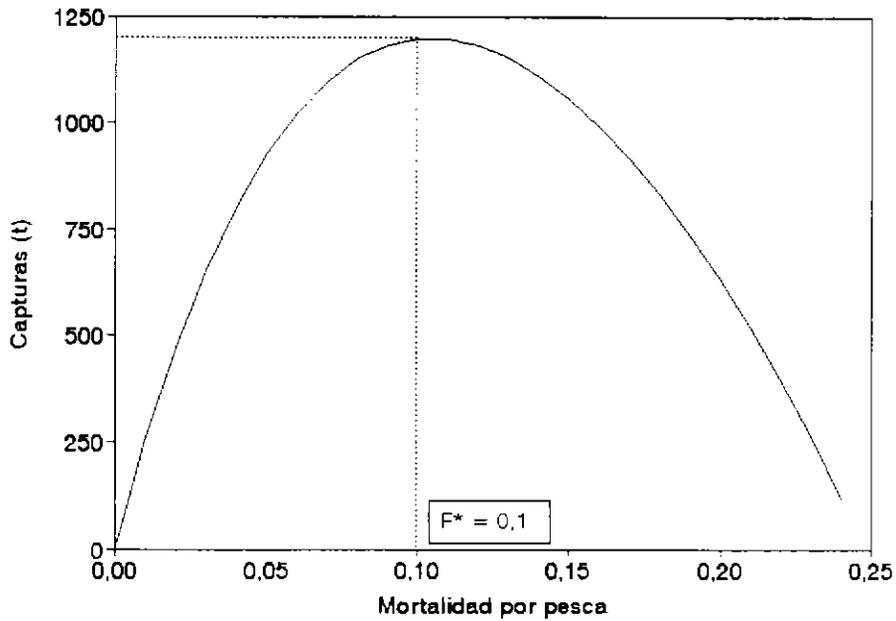


Figura 14. Capturas y mortalidad por pesca de equilibrio de pez espada.

TABLA 24

Mortalidades por pesca de referencia estructurales (E) y globales (G) de pez espada.

Mortalidad por pesca	Valor E	Valor G
$F_{ref\ 94}$	0,702	0,351
$F_{2/3}$	0,018	0,083
$F_{0.1}$	0,267	0,145
$F_{m\acute{a}x}$	0,520	0,256
$F=M$	0,270	0,270

El modelo empleado para la proyección del stock correspondió al de diferencia retardadas, considerándose para el efecto un horizonte de 15 años bajo la estrategia de tasa de explotación constante conforme a las mortalidades por pesca globales detalladas en la Tabla 24. El análisis de riesgo fué expresado como la probabilidad de que el stock de pez espada colapse, considerando como criterio de colapso, la reducción del stock por debajo de la biomasa crítica estimada en  $B^* = 12.000$  toneladas.

$$p(B_t < B^*) = \frac{n^o(B_t < B^*)}{n_{total}^o}$$

La incertidumbre del análisis se introdujo en el modelo de reclutamiento y en la estimación de la mortalidad natural. El error asociado a la mortalidad natural se supuso distribuido uniformemente en el intervalo [0,23 - 0,33], en tanto que para el modelo de rendimiento por recluta:

$$R_t = \frac{\alpha * B_{t-1}}{\left(1 + \frac{B_{t-1}}{\gamma}\right)^\beta} * (\epsilon + 1)$$

el error  $\varepsilon$  se asumió distribuido normalmente con media 0 y desviación 1,2.

De esta forma, se desarrolló un programa en QBasic V4.5, ejecutándose para este efecto 1.000 corridas de proyección del stock bajo las diversas estrategias de explotación, donde para cada una de ellas y a partir del año 1994, se muestrearon los errores de M y R según las distribuciones de probabilidades antes indicadas. Los resultados obtenidos del análisis antes descrito se detalla en la Tabla 25.

**TABLA 25**

Probabilidad de colapso del stock de pez espada para distintas estrategias de explotación.

Mortalidad por pesca	N° observaciones donde $B_t < B^*$	N° total de observaciones	Probabilidad de colapso
$F_{2/3}$	0	14.000	0,00%
$F_{0.1}$	980	14.000	0,07%
$F_{\text{máx}}$	13.524	14.000	96,6%
$F=M$	13.790	14.000	98,5%
$F_{\text{ref } 94}$	14.000	14.000	100%

En tanto que en las Fig. 15, 16 y 17, se observa la variabilidad estimada en la proyección del stock ante tres distintas estrategias de explotación,  $F_{0.1}$ ,  $F_{\text{máx}}$  y  $F_{\text{ref } 94}$ .

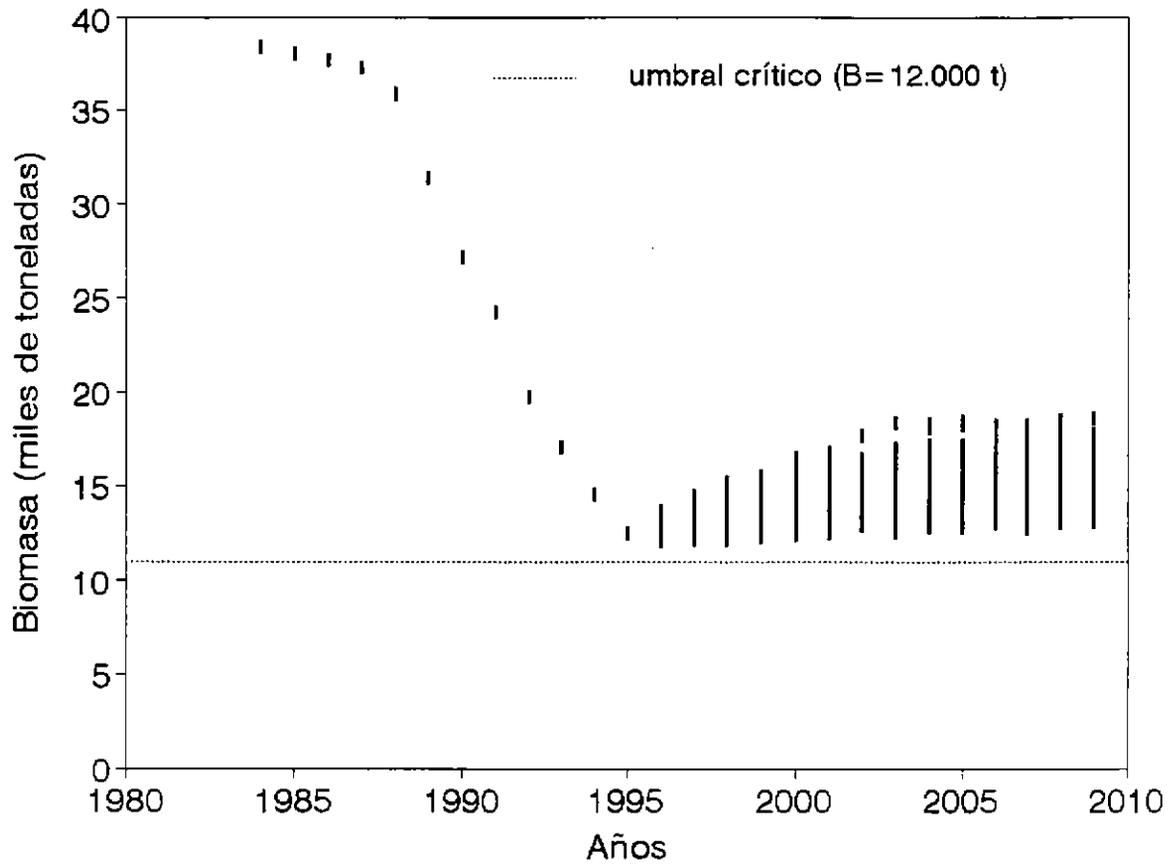


Figura 15. Proyección simulada del stock de pez espada bajo la estrategia de explotación  $F_{0.1}$

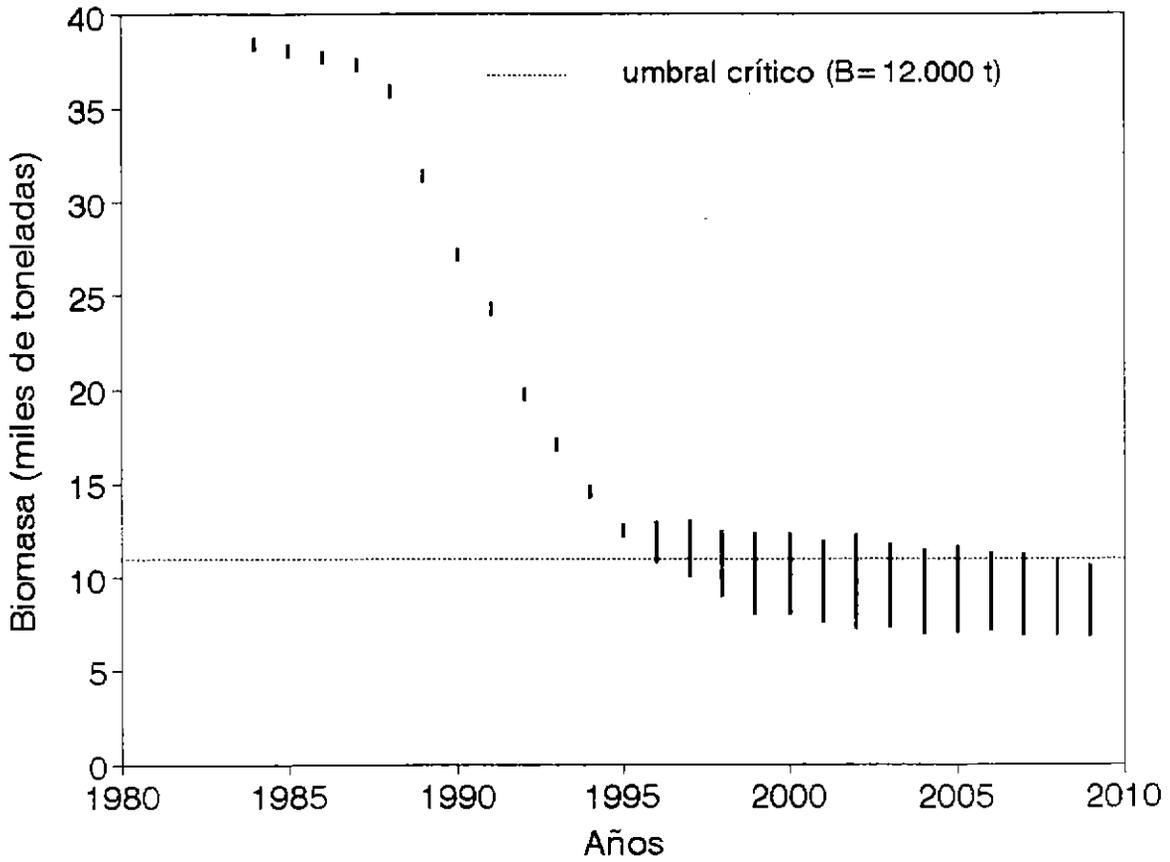


Figura 16. Proyección simulada del stock de pez espada bajo la estrategia de explotación  $F_{\text{máx}}$ .

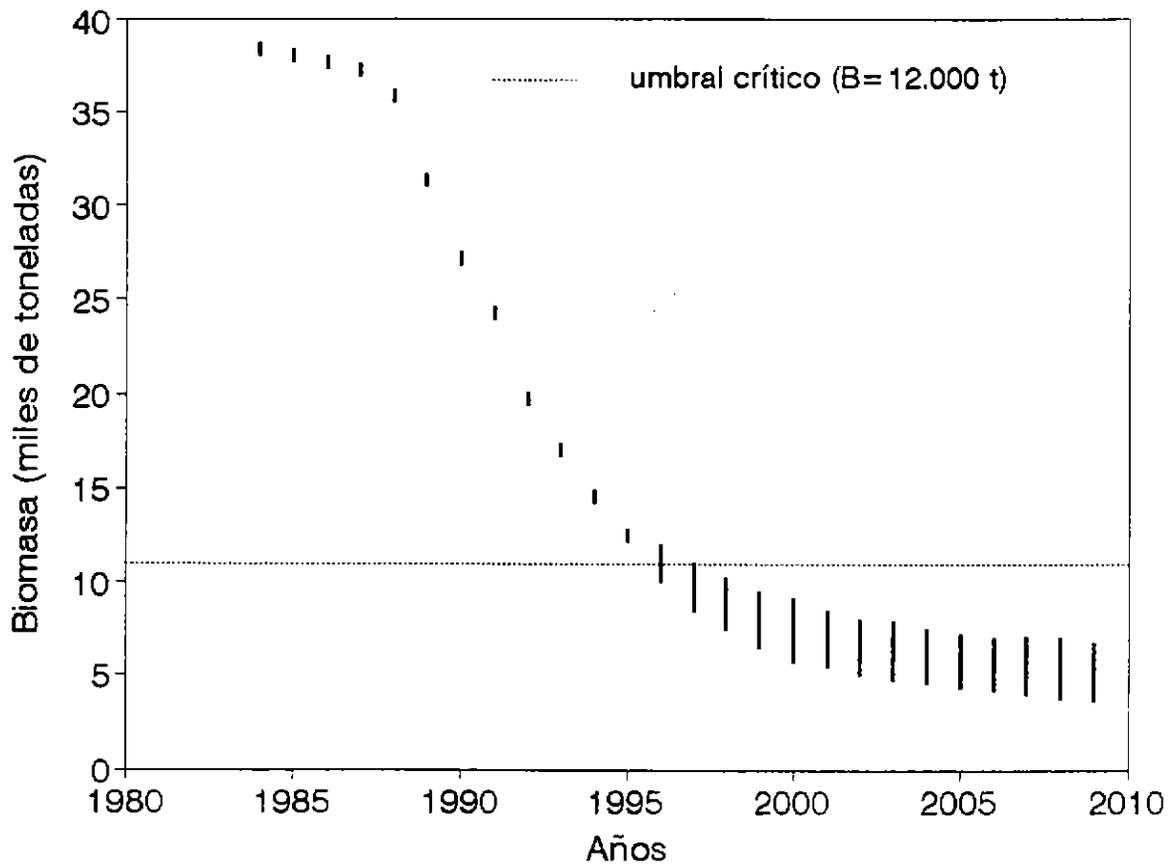


Figura 17. Proyección simulada del stock de pez espada bajo la estrategia de explotación F1994

Al respecto se observa que la proyección simulada del stock con mortalidades por pesca en torno a  $F_{0.1}$  permiten la recuperación del stock en el mediano y largo plazo, en tanto que la explotación con mortalidades por pesca mayores a  $F_{m\acute{a}x}$  tienden el colapso inminente de la pesquería.

En este sentido, la curva de colapso indica que el riesgo presenta un comportamiento logístico en relación a la mortalidad por pesca, destacándose que la región que permite reducir la probabilidad de colapso bajo un 50% equivale a una mortalidad por pesca igual a  $F=0,2$ . Se destaca que bajo este criterio yacen los niveles de mortalidad  $F_{2/3}$  y  $F_{0.1}$ , en tanto que por sobre este nivel se sitúan los niveles  $F=M$ ,  $F_{m\acute{a}x}$ , y  $F_{1994}$  con lo cual se corrobora la necesidad de reducir la explotación a niveles en torno a  $F_{0.1}$  y con esto minimizar la probabilidad de colapso del stock (Fig. 18).

La suposición de una desviación estándar en el nivel de reclutamiento se realizó efectivamente por no disponer de los errores estándar asociados a la función stock-recluta. El nivel de desviación supuesto en 1,2 obedece a las recomendaciones de Walters (1986) el cuál sugiere que para procesos estocásticos de simulación, se supongan distribuciones normales con media 0 y desviación en el rango 1-1,2.

En efecto, es conocido de muchos análisis de riesgo que se realizan en pesquerías nacionales, que a través de "bootstrap" se determina que la variable analizada presenta una distribución normal y una desviación equivalente (según la media cero) en el rango antes citado.

De acuerdo a lo antes indicado respecto a la sobreparametrización del modelo (7 variables), se debe recalcar que el modelo en diferencias debe ser ajustado bajo la estricta supervisión del evaluador, esto debido a que por la naturaleza del algoritmo de aproximación no-lineal, la función objetivo (suma de cuadrados del error) puede alcanzar mínimos cuyos parámetros no van de acuerdo con el rango que el evaluador maneja según su juicio experto. En este sentido, si se deseara realizar un "bootstrap" desde los residuales para un tamaño mínimo de 1000 corridas, el evaluador deberá considerar un tiempo que podrá resultar desmesurado (en promedio, cada corrida demora dos horas de exploración y análisis de resultados y parámetros viables), y probablemente se obtenga distribuciones que se acerquen en gran medida a nuestros supuestos.

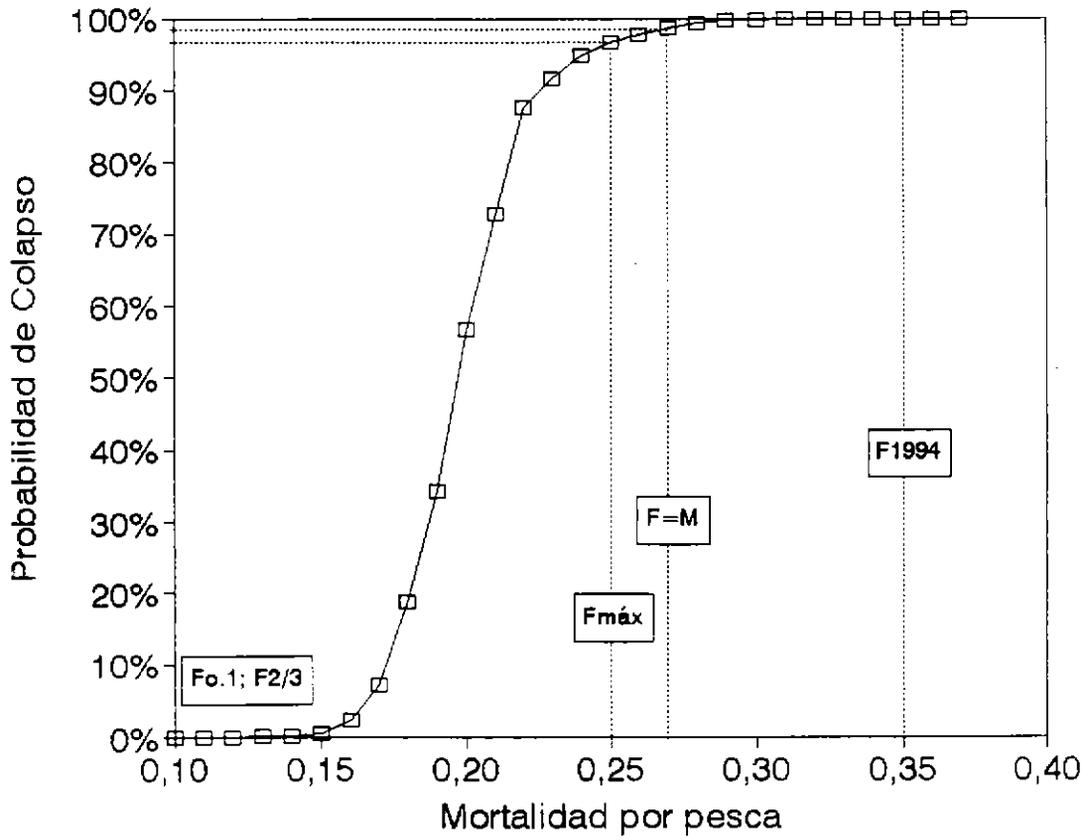


Figura 18 Probabilidade de colapso de la pesquería de pez espada.

Finalmente y en relación al horizonte de evaluación sugerido (5, 10 y 15 años), se cree que al simular 15 años de explotación bajo diversas estrategias de explotación se cubren los requerimientos del evaluador, horizonte que se sustenta principalmente en la esperanza de vida máxima estimada en 15 años, del cual se desprende que en el intervalo de tiempo empleado en la simulación, una cohorte a lo menos alcanzó su ciclo vital completo.

Del análisis anterior y ante los actuales niveles de explotación de pez espada, se deduce que la pesquería de pez espada se encuentra al borde del colapso total, con sintomatologías asociadas a sobrepesca por crecimiento y probablemente por reclutamiento, lo cual hace poco factible la recuperación del stock en el corto plazo.

COPIA  
INDEFINIDA

## 5. CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos del proyecto se concluye lo siguiente:

- Los parámetros de crecimiento en talla estimados para pez espada fueron:  $L_{\infty} = 287,5$  cm,  $K = 0,227$  y  $t_0 = -0,839$ .
- Los parámetros de crecimiento en peso para pez espada fueron:  $W_{\infty} = 201,9$  kg,  $K = 0,225$ ,  $t_0 = -1,082$  y  $b = 3,031$ .
- La estimación de la mortalidad natural de pez espada alcanzó un valor de  $M = 0,23$ . Se deduce en el presente estudio que la mortalidad natural varía en el rango de  $M = 0,23$  a  $M = 0,33$ , tomándose el valor de  $M = 0,271$  como el estimado representativo de este rango y razonable en relación a la biología y crecimiento somático del pez. Valor que se asimila significativamente al estimado por Pauly.
- En relación con los resultados del modelo global de producción ajustado a la pesquería de pez espada realizada entre 1987 y 1994, los niveles de equilibrio óptimo son:  $CPUE_{m\acute{a}x} = 0,43$  t/dm,  $CPUE_{\acute{o}pt} = 0,21$  t/dm,  $f_{\acute{o}pt} = 27.096$  dm y un  $RMS = 5.707$  t. Al respecto se destaca el notable aumento del esfuerzo de pesca después del año 1990, el cual habría motivado a que el recurso se situase al lado derecho de la curva de producción y luego a un evidente estado de sobrepesca en condiciones de equilibrio. Lo que indica que en la actualidad, la pesquería de pez espada se encuentra por debajo de Máximo Rendimiento Sostenido ( $RMS = 5.707$  t) y con niveles de esfuerzo de pesca por sobre los recomendados.
- La estimación de los parámetros de crecimiento de pez espada para la relación talla v/s edad fueron:  $L_{\infty} = 359,22$  cm,  $k' = 0,1489$  y  $t_0' = -0,5451$ .
- Con los parámetros de la relación talla-edad, se realizó la evaluación del stock en términos de la estimación de la biomasa (en peso) y abundancia (en número) del stock de pez espada, entregando un valor de biomasa de 14.539 t y una abundancia de 632.438 individuos.
- Los resultados de los puntos biológicos de referencia a partir de los cuales se define el estado de explotación del stock en 1994 fueron los siguientes:  $F_{ref\ 94} = 0,702$ ,  $F_{2/3} = 0,175$ ,  $F_{0.1} = 0,301$  y  $F_{m\acute{a}x} = .520$ . Esto permite sostener que la pesquería de pez espada se encuentra con evidentes signos de sobrepesca por crecimiento, por cuanto el nivel de referencia estimada  $F_{ref\ 94} = 0,702$  excede el valor biológico permisible

dado por  $F_{m\acute{a}x} = 0,520$ . Para evitar esta situaci3n la curva de biomasa por recluta indica que en equilibrio el stock no debe ser reducido mas all3 de un 65% (correspondiente a  $F_{m\acute{a}x}$ ), lo que no se cumple ya que en la actuales condiciones de explotaci3n ( $F_{ref}$ ), la biomasa por recluta se ha visto mermada en m3s de un 80% respecto a la biomasa original.

- Considerando el modelo de diferencias retardadas y la metodolog3a de Rivard (1982) se determin3 la evoluci3n de los excedentes productivos del stock de pez espada entre 1984 y 1993. Al respecto se concluye que desde 1986 los desembarques se han presentado muy por sobre el nivel de los excedentes productivos del stock, logrando estos 3ltimos un m3ximo de 3.000 toneladas hacia 1992, para luego disminuir en torno a las 2.000 t en 1994. Esto ha significado que en promedio, los desembarques en el per3odo 1984-1994 han superado en un 156% los excedentes productivos de la poblaci3n, lo cual justificari3 la dr3stica ca3da del stock.

- Con respecto al an3lisis de equilibrio este permiti3 determinar los niveles de desembarques, mortalidad por pesca y biomasa cr3ticas del recurso. Los resultados indican que dadas las actuales condiciones de explotaci3n del stock y con el fin de evitar el colapso de la pesquer3a por sobrepesca por reclutamiento, la biomasa explotable no debiese ser reducida bajo las 12.000 toneladas, desprendi3ndose de esta que la tasa de explotaci3n recomendable no debiera superar el 10% (1.200 toneladas). Lo anterior se traduce a un nivel cr3tico de mortalidad por pesca global igual a  $F=0,1$ , con lo que el rango plausible de CTP debe encontrarse entre los niveles de mortalidad  $F=F_{2/3}$  y  $F=F_{0,1}$ .

- El modelo empleado para la proyecci3n del stock correspondi3 al de diferencia retardadas, consider3ndose para el efecto un horizonte de 15 a3os bajo la estrategia de tasa de explotaci3n constante conforme a las mortalidades por pesca globales. El an3lisis de riesgo fu3 expresado como la probabilidad de que el stock de pez espada colapse, considerando como criterio de colapso, la reducci3n del stock por debajo de la biomasa cr3tica estimada en  $B^* = 12.000$  toneladas.

- Bajo las diversas estrategias de explotaci3n, donde para cada una de ellas y a partir del a3o 1994, se muestrearon los errores de M y R seg3n las distribuciones de probabilidades antes indicadas. Se indica la variabilidad estimada en la proyecci3n del stock ante tres distintas estrategias de explotaci3n,  $F_{0,1}$ ,  $F_{m\acute{a}x}$  y  $F_{ref\ 94}$ .

- Se concluye que la proyección simulada del stock con mortalidades por pesca en torno a  $F_{0.1}$  permiten la recuperación del stock en el mediano y largo plazo, en tanto que la explotación con mortalidades por pesca mayores a  $F_{máx}$  tienden el colapso inminente de la pesquería.
- La curva de colapso indica que el riesgo presenta un comportamiento logístico en relación a la mortalidad por pesca, destacándose que la región que permite reducir la probabilidad de colapso bajo un 50% equivale a una mortalidad por pesca igual a  $F=0.2$ . Bajo este criterio yacen los niveles de mortalidad  $F_{2/3}$  y  $F_{0.1}$ , en tanto que por sobre este nivel se sitúan los niveles  $F=M$ ,  $F_{máx}$ , y  $F_{1994}$  con lo cual se corrobora la necesidad de reducir la explotación a niveles en torno a  $F_{0.1}$  y con esto minimizar la probabilidad de colapso del stock.
- Finalmente ante los actuales niveles de explotación de pez espada y de acuerdo a la metodología desarrollada y sus restricciones, se deduce que la pesquería de pez espada se encuentra al borde del colapso total, con aparentes sintomatologías asociadas a sobrepesca por crecimiento y probablemente por reclutamiento lo cual haría poco factible la recuperación del stock en el corto plazo.

## 6. BIBLIOGRAFIA

Alverson, D. y M. Carney. 1975. A graphic review of growth and decay of population cohort. *J. Cons. Int. Explor. Mer* 36: 133-143.

Barbieri, M.A., E. Yañez, L. Ariz y A. González, 1990. La pesquería del pez espada: tendencias y perspectivas. In: "Perspectivas de la actividad pesquera en Chile". M.A. Barbieri (Ed.), Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso: 195-214.

Barbieri M.A., E. Yañez, M. Donoso, A. González y V. Catasti. 1995. Monitoreo de la pesquería del recurso pez espada (I-X Regiones, 1994). Informe Final Proyecto FIPA N°16/93, 50 pp + Anexos.

Beardsley, G.L. 1977. Report of the swordfish workshop the Miami laboratory. Sudest fishery Center, Miami Florida, June 6-9: SCRS/77/70.

Beverton, R.J. y S.J. Holt. 1956. A review of methods for estimating mortality rates in fish populations, with special reference to sources of bias in catch sampling. *Rapp. P.-V. Reun. Cons. Perm. Int. Explor. Mer* 140: 67-83.

Beverton, R.J. y S.J. Holt. 1957. On the dynamics of exploited fish population. *Min. Agr. Fish and Food (UK), Fish. Investig. Ser. II*: 553 pp.

Correa, V., 1993. Análisis de la pesquería artesanal de pez espada (*Xiphias gladius*) desarrollada en Chile entre 1987 y 1991. Tesis, Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso, 83 pp.

Cushing, D.H. 1971. The dependence of recruitment on parent stock in different groups of fishes. *J. Cons. int. Explor., Mer*, 33: 340-362.

Donoso, M. y C. Montenegro. 1992. Monitoreo de la pesquería de pez espada. Informe. Instituto de Fomento Pesquero, Chile, 28 pp.

FAO, 1982-93. Anuarios estadísticos de pesca. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma, Italia.

Fournier, D. y I. Doonan. 1987. A length based stock assessment method utilizing a generalized delay-difference model. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 44:

SIN SISTEMA INFORMATIVO

- Fox, W.W. (Jr.). 1975. Fitting the generalized stock production model by least-squares and equilibrium approximation. Fish. Bull. (U.S.A.), 73 (1): 23-26.
- González, A., 1993. Distribución espacio-temporal de la pesquería artesanal de pez espada (*Xiphias gladius*) desarrollada por la flota artesanal de Valparaíso y variaciones ambientales entre 1987 y 1991. Tesis, Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso, 94 pp.
- Jones, R. 1984. Assessing the effects of changes in exploitation pattern using length composition data (with notes on VPA and cohort analysis). FAO Fish. Tech. Pap., (256): 118 pp.
- Leiva, B., 1993. Análisis de estructuras para el cálculo de la edad y el crecimiento del pez espada (*Xiphias gladius*) y evaluación preliminar de los parámetros de crecimiento. Tesis, Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso, 83 pp.
- Laurec, A. y J.C. Le Guen. 1981. Dynamique des populations marines exploitées. CNEXO, Rapports Scientifiques et Techniques N° 45: 117 pp.
- Mac Call, A.D. 1986. Virtual population analysis (VPA) equations for non homogeneous populations, and a family of approximations including improvements on Pope's cohort analysis. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 43: 2406-2409.
- Montiel, A. 1995. Determinación de la edad y del crecimiento del pez espada (*Xiphias gladius*) explotado en la zona central de Chile. Tesis, Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso, en corrección
- Nakamura, I. 1985. FAO Species catalogue: billfishes of the world. An annotated and illustrated. Catalogue of marlins, sailfishes, spearfishes and swordfishes known to date. FAO. Fish. Synop., 5(125): 65 pp.
- Pauly, D. 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stocks. J. Cons. CIEM, 39 (2): 175-192.
- Pella, J. and P. Tomlinson. 1969. A generalized stock production model. IATTC Bull., 13 (3): 419-496.
- Ponce, F. y R. Bustos. 1991. La pesquería de pez espada en Chile. Pacífico Sur, 19: 25-34.

- Pope, J.G. 1972. An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. Res. Bull. ICNAF, (9): 65-74.
- Ricker, W.E. 1954. Stock and recruitment. J. Fish. Res. Bd. Can., 11(5): 559-623.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Fis. Res. Board Canada, Bull. 191, 382 pp.
- Rivard, D. 1982. APL programs for stock assessment. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences, N° 1.091.
- SERNAP. 1978-95. Anuarios estadísticos de pesca. Servicio Nacional de Pesca (SERNAP), Chile.
- Shepherd, J.G. 1982. A versatile new stock-recruitment relationship for fisheries and the construction of sustainable yield curves. J. Cons. Int. Explor. Mer., 40 (1): 67-75.
- Sparre, P., E. Ursin y S. Venema. 1989. Introduction to tropical fish stock assessment. Part 1. Manual. FAO Fish. Tech. Pap., N° 306/1: 337 pp.
- Taylor, C.C. 1958. Cod growth and temperature. J. Cons. Int. Explor. Mer., 23 (3): 366-370.
- Thompson, W.F. y F.H. Bell. 1934. Biological statistics of the Pacific halibut fishery. 2. Effect of changes in intensity upon total yield and yield per unit of gear. Rep. Int. Fish. (Pacific Halibut) Comm., (8): 49 pp.
- Tobella, M.G. 1970. Observaciones y conclusiones de la temporada de pesca del pez espada de 1967. Tesis, Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso, 74 pp.
- Yañez, E., M.A. Barbieri, C. Canales, V. Correa, M. Donoso, A. González, B. Leiva y A. Montiel. 1994. Development and state of art of the swordfish fishery in Chile. Int. Symp. on Pacific Swordfish, Ensenada, B.C., México, December 11-14, 21 pp. Fishery Bulletin (aceptado).