



INIDEP

INFORME TÉCNICO OFICIAL

Nº
126

Fecha
14/04/09

Páginas
17

DIRECCIÓN: Pesquerías de Especies Pelágicas y Ambiente Marino

PROGRAMA / GABINETE: Pesquerías de Peces Pelágicos.

ACTIVIDAD: Estudio del rendimiento potencial de caballa.

Evaluación del stock de caballa (<i>Scomber japonicus</i>) al sur de 39°S y recomendaciones de captura durante el año 2009.

Citar Indefinido la fuente. El contenido no debe ser reproducido total o parcialmente sin la expresa conformidad del INIDEP

PREPARADO POR:

FIRMA:	14 / 04 / 09
..... día/mes/año	
NOMBRE: CLAUDIO C. BURATTI	

FIRMA:	14 / 04 / 09
..... día/mes/año	
NOMBRE: A. DAVID GARCIAENA	

FIRMA:	14 / 04 / 09
..... día/mes/año	
NOMBRE: JORGE E. HANSEN	

FIRMA:	1 / 1
..... día/mes/año	
NOMBRE:	

FIRMA:	1 / 1
..... día/mes/año	
NOMBRE:	

SOLICITADO POR:

INSTITUCION:
CARGO:

APROBADO POR:

JEFE DE PROGRAMA / GABINETE

DIRECTOR DE ÁREA

DIRECTOR NACIONAL DE INVESTIGACIÓN

DIRECTOR INIDEP

COPIA ELECTRÓNICA C.F.P.

P.P.A. 11060/16/04/09

DNI 310 116 101 103



INFORME TÉCNICO OFICIAL

N°	DIRECCIÓN: Pesquerías de Especies Pelágicas y Ambiente Marino	
Fecha 14/04/09	Páginas 17	PROGRAMA / GABINETE: Pesquerías de Peces Pelágicos.
	ACTIVIDAD: Estudio del rendimiento potencial de caballa.	

Evaluación del *stock* de caballa (*Scomber japonicus*) al sur de 39°S y recomendaciones de captura durante el año 2009.

Citar Indicando la fuente. El contenido no debe ser reproducido total o parcialmente sin la expresa conformidad del INIDEP

PREPARADO POR:

FIRMA: 14 / 04 / 09
..... día/mes/año
NOMBRE: CLAUDIO C. BURATTI

FIRMA: 14 / 04 / 09
..... día/mes/año
NOMBRE: A. DAVID GARCIARENA

FIRMA: 14 / 04 / 09
..... día/mes/año
NOMBRE: JORGE E. HANSEN

FIRMA: / /
..... día/mes/año
NOMBRE:

FIRMA: / /
..... día/mes/año
NOMBRE:

SOLICITADO POR:

INSTITUCION:

CARGO:

APROBADO POR:

JEFE DE PROGRAMA / GABINETE

DIRECTOR DE ÁREA

DIRECTOR NACIONAL DE INVESTIGACIÓN

DIRECTOR INIDEP

Evaluación del *stock* de caballa (*Scomber japonicus*) al sur de 39°S y recomendaciones de captura durante el año 2009.

por

C. C. Buratti, A. D. Garcarena y J. E. Hansen

Resumen

En el presente informe se efectúa una evaluación de la caballa al sur de la latitud 39°S similar a la realizada en el año previo. Nuevamente se ajustó un modelo de producción estructurado por edades, usando para calibrar este ajuste un índice de abundancia derivado de campañas de estimación acústica de abundancia. El diagnóstico del *stock* se complementó con un análisis de riesgo que permitió la estimación de capturas biológicamente aceptables (CBA) para el año 2009. Además, a partir de información obtenida del modelo de producción, se aplicaron los modelos predictivos de rendimiento por recluta de Beverton y Holt y de Thompson y Bell. Consideramos que la información incorporada en el presente análisis (sólo los datos de desembarques totales del último año) es demasiado escasa como para modificar las recomendaciones de Buratti *et al.* (2008), consistentes en fijar un máximo anual de capturas de 8.100 toneladas. Este valor es congruente con los predichos en el presente análisis mediante los modelos de Beverton y Holt y de Thompson y Bell, si se adoptara $F_{0,2}$ como punto de referencia.

Introducción

La caballa (*Scomber japonicus*) es una especie cosmopolita que se distribuye en aguas cálidas y templadas de los océanos Atlántico, Indico y Pacífico (Collette y Nauen, 1983). En el Mar Argentino, trabajos previos han destacado la presencia de dos efectivos: uno que se distribuye desde la boca del Río de la Plata (35°S) hasta proximidades de Mar del Plata (38°S) y otro que lo hace al sur de 39°S hasta los 45°S (Perrotta y Aubone, 1991; Perrotta, 1992, Cremonte y Sardella, 1997; Roldán *et al.*, 2000).

El efectivo norte ha sido explotado durante décadas por la flota de rada marplatense, mediante redes de tipo lampara, en primavera tardía y principios del verano, cuando los ejemplares se acercan a la costa para reproducirse (Perrotta y Christiansen, 1993; Perrotta *et al.*, 2001). Las primeras capturas de individuos del *stock* que se distribuye al sur de 39°S se registraron a inicios de los años '90, y se deben principalmente a barcos de altura que utilizan redes de arrastre (Perrotta *et al.*, 1999). Los mayores desembarques, que en algunos años alcanzaron las diez mil toneladas, provienen de la zona denominada "El Rincón" (39°-41°30'S). El efectivo ha cobrado relevancia, y en particular las 12.245 toneladas desembarcadas en el año 2008 constituyen el mayor registro histórico, representando un aumento de 55% respecto a la temporada anterior (Garcarena y Buratti, 2009). Constituye una alternativa rentable para la flota que captura anchoíta (*Engraulis anchoita*) en la misma área y época (Garcarena y Hansen, 2008): en efecto, en el último año más del 80% de las extracciones de esta especie se obtuvieron en la cuadrícula 40°S – 60°W, principalmente entre agosto y octubre (Garcarena y Buratti, 2009).

En el presente informe se efectúa una evaluación de la caballa al sur de la latitud 39°S similar a la realizada en el año previo (Buratti *et al.*, 2008). Nuevamente se ajustó un modelo de producción estructurado por edades (Deriso *et al.*, 1985; Hilborn, 1990), usando como índice para calibrar este ajuste un índice derivado de campañas de estimación acústica de

abundancia. El diagnóstico del *stock* se complementó con un análisis de riesgo que permitió la estimación de capturas biológicamente aceptables (CBA) para el año 2009. Además, a partir de información obtenida del modelo de producción, se aplicaron los modelos predictivos de rendimiento por recluta de Beverton y Holt (1957) y de Thompson y Bell (1934).

Materiales y métodos

1. Información utilizada

- Las capturas anuales nominales de caballa por la flota pesquera, entre los años 1991 y 2008, provistas por el Centro de Cómputos del INIDEP y ajustadas para considerar aquellas logradas en el área “El Rincón” (Tabla 1);
- una estimación de la tasa instantánea de mortalidad natural ($M=0,38$) calculada en investigaciones anteriores (Perrotta *et al.*, 1999), y asumida como constante para toda edad y año;
- vectores anualmente constantes de pesos medios por edad en el *stock*, estimados a inicios y a mediados de cada año, al 15 de agosto y al 15 de noviembre, derivados de los datos de las campañas realizadas en 1996 y 2000 (Tabla 2) y asumidos en las capturas como iguales a los estimados al día 1° de julio para el efectivo (Perrotta *et al.*, 1999);
- las proporciones de individuos maduros por grupo de edad (Perrotta, 1995), así como los factores de selección por edad en el efectivo (Tabla 3), calculados a partir de la curva de captura promedio del período (Sparre y Venema, 1991);
- resultados de evaluaciones de biomasa de caballa (Tabla 4) correspondientes a las campañas que se efectuaron a mediados de agosto de 1996 e inicios de septiembre de 2000 (Perrotta *et al.*, 1999 y 2003);
- los parámetros de crecimiento de von Bertalanffy estimados por Perrotta *et al.* (2003), esto es: $L_{\infty} = 48,9$ cm, $k=0,19$ años⁻¹ y $t_0 = -3,03$ años;
- estimaciones de la edad media de reclutamiento (T_r) y de la edad media de primera captura (Perrotta *et al.*, 1999; Perrotta *et al.*, 2007).

2. Modelo de producción estructurado por edades

2.1. Estimación de la abundancia de la población

La cantidad de ejemplares de edad t al inicio de cada año y , fue estimada como:

$$N_{t,y} = N_{t-1,y-1} e^{-(M + S_{t-1} F_{y-1})} \quad \text{para } t = 2, 3, \dots, 10.$$

asumiendo que los factores de selección (S_t) han sido variables entre edades, pero constantes de un año a otro.

El reclutamiento de cada año ($N_{1,y}$) se determinó a partir de la biomasa del efectivo reproductor existente en noviembre del año $y-1$, esto es BR_{y-1} , aunque permitiendo el ajuste ciertas variaciones de los reclutamientos teóricos, mediante la incorporación de un vector de factores Ω_y (para $y = 1991, 1962, \dots, 2008$). A este efecto se empleó la función de Beverton y Holt:

$$N_{1,y} = \frac{BR_{y-1}}{\alpha + \beta BR_{y-1}} \exp(\Omega_y);$$

donde alfa y beta son parámetros a estimar de la relación *stock* – recluta, mientras que dos valores relevantes de biomasa (la abundancia total al inicio del año, BO_y , y al 15 de agosto, fecha de realización de las campañas de investigación, Bt_y) son calculados como:

$$BO_y = \sum_{t=1}^{10} (W_t^o N_{t,y})$$

$$Bt_y = \sum_{t=1}^{10} (W_t^r N_{t,y} \exp(-Z_{t,y} * 0,625))$$

expresando W_t^o y W_t^r el peso medio de cada edad t a inicios del año y al 15 de agosto y $Z_{t,y}$ la tasa de mortalidad total ($Z = M + S_t F_y$).

El *stock* de caballa en el área “El Rincón” se supuso en equilibrio y libre de pesca en el inicio del año 1990, y las capturas anuales en peso (C_y) a partir de $y = 1991$ se consideraron exactas e iguales a:

$$C_y = \sum_{t=1}^{10} W_t^1 S_t F_y N_{t,y} \frac{1 - \exp[-(M + S_t F_y)]}{M + S_t F_y}$$

donde W_t^1 representa el peso medio de cada edad t a mediados de año.

La biomasa total (BR_y), considerada al 15 de noviembre por ser el momento de reproducción, se estimó de la siguiente forma:

$$BR_y = \sum_{t=1}^{10} (W_t^r N_{t,y} Pmt \exp(-Z_{t,y} * 0,875))$$

2.2. Ajuste del índice

El modelo se ajustó con un índice de abundancia derivado de la biomasa total (BC_y) estimada mediante las campañas de evaluación de agosto efectuadas en 1996 y 2000, respecto a la correspondiente a 1996. No se utilizó un índice conformado con valores estandarizados de captura por unidad de esfuerzo de caballa (CPUE), dado que estos resultarían pobres indicadores de la abundancia (Buratti *et al.*, 2008), como ha sido observado también en las pesquerías de anchoíta y en otras especies pelágicas (Hansen, 2003).

El índice se calculó como:

Índice:

$$BC_y \text{ relat } BC_{1996} = BC_y / BC_{1996}$$

$y = 1996, 2000$

fuelle: campaña agosto

Se asumió una relación lineal entre el valor del índice y el estimado del modelo, de la forma:

$$I_y = \hat{I}_y e^{\varepsilon_y^i} \quad \text{donde } \varepsilon_y \sim N(0; (\sigma)^2)$$

El estimador del índice derivado de la evaluación de biomasa en la campaña invernal del año y (esto es, B_y^1), se consideró proporcional a la biomasa de ese año estimada por el modelo en la fecha de la campaña (15 de agosto) y fue calculado como:

$$\hat{I}_y^x = \hat{q}^x B_y^1 \quad y = 1996 \text{ y } 2000$$

El coeficiente de proporcionalidad del índice (q) fue calculado analíticamente según Polachek *et al.* (1993):

$$q = \exp\left(1/n^x \sum_{y=1}^n \ln(I_y^x / \hat{X}_y^x)\right)$$

donde n^x es el número de años con valores disponibles del índice de abundancia y \hat{X}_y^x representa el valor respectivo estimado por el modelo (biomasa explotable media, biomasa total a mediados de agosto).

El índice fue ajustado minimizando el menos logaritmo de la función de máxima verosimilitud (L), correspondiente a una distribución log normal:

$$-\ln L = \sum_x a_i \left(\frac{1}{2(\hat{\sigma}^x)^2} \sum (\ln(\hat{I}_y^x) - \ln(I_y^x))^2 + n^x \ln \hat{\sigma}^x \right)$$

La desviación estándar residual $\hat{\sigma}^x$ de la serie de abundancia fue estimada empleando la siguiente expresión:

$$\hat{\sigma}^x = \sqrt{\frac{1}{n^x} \sum_y (\ln(\hat{I}_y^x) - \ln(I_y^x))^2}$$

2.3. Proceso de ajuste y restricciones impuestas al modelo

Se calcularon los coeficientes de la función de Beverton y Holt para el reclutamiento, asumiendo la condición de equilibrio de la estructura de edades en el año 1990 con el recurso en estado virgen, aplicando la parametrización propuesta por Francis (1992) y Punt y Japp (1994):

$$\alpha = \frac{BR_{1990} (1-h)}{4 h R_0} \quad \beta = \frac{5 h - 1}{4 h R_0}$$

donde h simboliza la inclinación de la curva *stock* – recluta, BR_{1990} (=BRV) es la biomasa de reproductores en la época reproductiva con anterioridad a la fase de explotación del recurso, y R_0 representa la cantidad de reclutas anuales en ese momento, que puede derivarse de la biomasa virgen total (K) de la siguiente manera:

$$R_0 = \frac{K}{\sum_{t=1}^{10} W_t^0 p_t} \quad \text{siendo } p_t \begin{cases} = 1 \\ = p_{t-1} \exp(-M) \\ = p_{t-1} \exp(-M) / [1 - \exp(-M)] \end{cases} \quad \text{para } t \begin{cases} = 1 \\ = 2, 3, \dots, 9, 10 \end{cases}$$

y calculándose $N_{t,1990} = R_0 * p_t$

El modelo fue ajustado con la rutina *Solver* del programa Excel, minimizando el menos logaritmo de la función de máxima verosimilitud por medio de la variación automática de los siguientes estimadores:

- vector de tasas de mortalidad pesquera anuales (F_y , para $y=1991, 1992, \dots, 2008$);
- vector de factores de variación aplicados a los estimados determinísticos de los reclutamientos anuales (Ω_y , para $y=1991, 1992, \dots, 2008$);
- biomasa virgen total (K); y
- inclinación de la curva *stock* – recluta, h .

Para proceder a la minimización se ingresaron como valores de inicio (“semillas”) de los mencionados estimadores, tanto la tasa de mortalidad pesquera que rendiría la captura promedio de los últimos años, como una aproximación grosera de la biomasa virgen total de 90 mil toneladas, derivada de la media estimada por Perrotta *et al.* (2007). Los valores de Ω_y fueron inicialmente establecidos en cero.

Las opciones de la rutina incluyeron el método lineal de estimación por derivadas centrales, halladas por el método de Newton y usando escala automática, con una precisión de 10^{-6} , una tolerancia de 5% y convergencia a la milésima. Las restricciones impuestas fueron las siguientes:

- igualdad de las capturas totales anuales estimadas por el modelo (C_y) con aquellas nominales incluidas en la Tabla 1;
- variación del estimador h limitada al rango 0,05 – 0,90;
- variación de los factores aleatorios de reclutamiento, respecto de los valores determinados por la función *stock* – recluta, limitados al rango 0,5 – 3,0 (esto es: $-0,69 \geq \Omega_y \leq 1,09$).

2.4. Análisis de riesgo y estimación de capturas biológicamente aceptables

Una vez realizado el diagnóstico de la población por medio del modelo de producción con estructura de edad, se efectuaron simulaciones para proyectar su estado futuro y medir el riesgo biológico de colapso asociado a distintas intensidades de explotación. Dichas simulaciones se realizaron aplicando valores constantes de F_y por 25 años a partir de 2009. El procedimiento se repitió 600 veces para cada uno de 17 valores de F_y sucesivamente mayores sometidos a prueba, obteniéndose para cada año (y) las medias aritméticas y los desvíos estándares de la biomasa poblacional al inicio del año (BO_y), de la biomasa de reproductores en la época de puesta (BR_y), y de las capturas anuales (C_y).

En las proyecciones se introdujo cierta incertidumbre acerca de la estimación por el modelo de producción de la biomasa total a comienzos de 2008 (BO_{2008}). Esto se hizo sorteando valores normalmente distribuidos alrededor de dicha estimación, con una desviación estándar SBO_{2008} tal que: $SBO_{2008} = 0,30 * BO_{2008} / 1,96$. Además, se asumió incertidumbre en los reclutamientos futuros, suponiéndose que los mismos podrían tener una

distribución log-normal, con la media y el rango de variación que correspondieron a los valores surgidos del modelo de producción. El valor medio de dicha distribución se estimó como:

$$\mu_{\ln R} = \ln \bar{R} - (\sigma_{\ln \bar{R}}^2 / 2)$$

donde \bar{R} representa el valor de reclutamiento promedio surgido del modelo, y

$$\sigma_{\ln \bar{R}} = (\ln R_{m\acute{a}x} - \ln R_{m\acute{i}n}) / 2 * 1,96$$

donde $R_{m\acute{a}x}$ y $R_{m\acute{i}n}$ fueron los valores extremos máximo y mínimo resultantes del modelo.

El número de ejemplares de cada grupo de edad en el *stock* al comienzo del año, $N_{t,y}$ (para $t= 2$ a 10), se estimó según las fórmulas antes indicadas, sólo que incorporando como F_y los valores de F sometidos a prueba. También la biomasa total al inicio de cada año (BO_y), la de reproductores en el momento de la reproducción (BR_y), y las capturas proyectadas bajo las distintas tasas de mortalidad pesquera simuladas se calcularon con las ecuaciones ya expuestas.

Con el fin de realizar recomendaciones sobre los niveles de extracción se adoptó como punto de referencia la “Captura anual biológicamente aceptable” (CBA). Esta se obtendría aplicando al vector de números por edad del año 2008 (proyectado al 1° de enero de 2009 para toda edad superior a 1) un valor de mortalidad por pesca (F_{ref}) que, en el largo plazo, mantuviera un nivel de biomasa de reproductores con un riesgo biológico de sobreexplotación igual o menor al 10%. El riesgo se definió como la disminución de la biomasa del efectivo reproductor por debajo de un determinado límite (BRL). Los valores límites evaluados constituyen fracciones (25%, 30% y 35%) de la biomasa de reproductores existente cuando el recurso era virgen, esto es, el estimado del modelo correspondiente al 15 de noviembre de 1990.

3. Modelo de Rendimiento por Recluta de Beverton y Holt

Los rendimientos por recluta (Y/R , en kilogramos) fueron calculados mediante la expresión:

$$Y/R = F * \exp[-M * (T_c - T_r)] * W_{\infty} \left[\frac{1}{Z} - \frac{3S}{Z + K} + \frac{3S^2}{Z + 2K} - \frac{S^3}{Z + 3K} \right]$$

donde:

F = mortalidad por pesca

M = mortalidad natural

$Z = F + M$

T_c = edad media de primera captura (en años)

T_r = edad media de reclutamiento al área (en años)

W_{∞} = peso asintótico

K = parámetro de crecimiento de von Bertalanffy

$S = \exp[-K * (T_c - t_o)]$; siendo t_o = parámetro de crecimiento de von Bertalanffy

El rendimiento en peso (toneladas) que se obtendría aplicando los estimados de $F_{0,1}$ y $F_{0,2}$ se estimó como:

$$\text{Rendimiento} = \bar{N}_1 * Y/R * 1000$$

Siendo \bar{N}_1 = reclutamiento medio (1992-2008), en millones de ejemplares, obtenido por el modelo de producción.

4. Modelo de Thompson y Bell

Las ecuaciones pertinentes fueron:

$$Y_c = C_t * W_t$$

$$N_t = N_{t-1} * \exp(-F_{ajust} * S_t - M)$$

$$F_{actual} = F \Rightarrow (\bar{Y}_{1991-2008} - Y_c)^2 = \min.$$

$$C_t = N_t * (F_{actual} * S_t) / (F_{actual} * S_t + M) * (1 - \exp(-M - F_{actual} * S_t))$$

donde:

N_t = número de ejemplares por grupo de edad (t) para $t \geq 2$ y $N_1 = \bar{N}_1$, es decir, reclutamiento medio (1992-2008) obtenido en el modelo de producción.

F_{actual} = valor de mortalidad por pesca (sobre todo grupo de edad) que produce el valor más cercano al rendimiento medio observado en el periodo 1991-2008 ($\bar{Y}_{1991-2008}$). Se calculó por mínimos cuadrados mediante la rutina Solver de Excel.

S_t = factor de selección por grupo de edad equivalente al utilizado en el modelo de producción.

C_t = captura por grupo de edad (en millones de individuos).

W_t = peso medio (a mitad del año) por grupo de edad (Tabla 5).

Utilizando ambos modelos se estimaron, además de F_{actual} , las tasas de mortalidad pesquera $F_{0,1}$ y $F_{0,2}$. La primera constituye un criterio arbitrario usualmente utilizado para establecer niveles de explotación en recursos pesqueros, y adoptado como objetivo en la elección de puntos de referencia biológicos en el manejo de una pesquería (Caddy y Mahon, 1996). Ha sido definida como la mortalidad por pesca correspondiente al punto sobre la curva de rendimiento cuya pendiente es un décimo de la pendiente en su origen (Gulland y Boerema, 1973). La mortalidad por pesca $F_{0,2}$ corresponde al 20% de esa pendiente.

El valor de edad de captura del 50% ($T_c = 3,43$) se obtuvo aplicando la ecuación de von Bertalanffy a la talla media ($L_t = 34,5$ cm) observada en los desembarques de caballa provenientes del área El Rincón (Perrotta *et al.*, 2007). Así se calculó también la edad media de reclutamiento a la pesquería (T_r), atendiendo a que 23,0 cm fue habitualmente la menor talla presente en los desembarques anuales.

Resultados y discusión

- Modelo de producción estructurado por edades

Lamentablemente, tampoco en el año 2008 se realizó una campaña de evaluación acústica del efectivo que permitiera incorporar un nuevo valor del índice de ajuste. Como fuera señalado en la evaluación anterior (Buratti *et al.* 2008), las biomásas totales calculadas por el modelo de producción presentaron un buen ajuste a aquellas estimadas durante las dos únicas campañas de investigación disponibles, realizadas en 1996 y 2000 (Fig.1).

Tanto la biomasa total de la población como la de su fracción reproductiva habrían sido ligeramente menores en el año 2008 que en 2007. Durante el período analizado, los estimados de biomasa total al 15 de agosto estuvieron comprendidos entre 48.000 y 101.000 toneladas, con una media de 60.465 t, y sugiriendo una variación interanual moderada en la última década, con un valor de 50.004 t en 2008 (Fig.2). Se calculó un reclutamiento medio (1992-2008) de 95 millones de individuos (desviación estándar= 21 millones), mientras que los valores del *stock* parental estimados por el modelo fluctuaron entre 36 mil y 83 mil toneladas (Fig.3).

La tasa de explotación de la última temporada calculada a partir del estimado de mortalidad por pesca ($E=0,42$) fue la mayor de la serie 1991-2008 (Fig.4). Debe señalarse que las capturas nominales del año 2008 (12.245 t) superaron las estimaciones de CBA realizadas para ese año, cualquiera fuera el objetivo a largo plazo adoptado.

En la Tabla 6 se presentan las estimaciones de los parámetros del modelo. La relación entre la biomasa desovante estimada para el año 2008 y la biomasa desovante virgen (BR_{2008}/BRV) fue de 0,47. Este valor, si bien es menor al obtenido en 2007 (0,55), aún se encuentra por encima de 0,30, quedando así incluido en el rango que puede considerarse como de seguridad poblacional (Goodyear, 1993).

En la Tabla 7 se presentan los resultados de los análisis de riesgo y las estimaciones de capturas que serían biológicamente aceptables (CBA) durante 2009, que varían entre 5.200 y 8.600 t, de acuerdo con los distintos objetivos a largo plazo establecidos. De perseguirse el objetivo 2 ($BR \geq 0,30 BRV$), como en la evaluación del año anterior (Buratti *et al.*, 2008), podrían capturarse durante el año en curso unas 6.800 t. Si cada año se mantuviera constante la tasa de mortalidad pesquera (F_{ref}) que rendiría en esta temporada una captura semejante, los rendimientos pronosticados para el mediano plazo resultarían ser aproximadamente 50% respecto del obtenido en 2008, siempre que se produjeran reclutamientos en torno al promedio histórico. Por su parte, la biomasa total y de reproductores se predicen estables y en niveles próximos a 72-76% respecto a los existentes en la actualidad.

- Modelo de Beverton y Holt

Se obtuvieron resultados similares que en el año anterior (Buratti *et al.*, 2008), cuando la curva de rendimiento por recluta, para una edad de captura de 50% igual a 3,43 años (34,5 cm de longitud total), presentó una forma de domo aplanado, con un rendimiento máximo que se lograría con valores de mortalidad próximos a 1,0 (Fig. 5).

La mortalidad por pesca (F_{actual}) ajustada para producir el promedio de las capturas del período 1991-2008 fue de 0,16, con un rendimiento de 0,057 kg/recluta. Los estimados de

$F_{0,1}$ y $F_{0,2}$ (0,572 y 0,348) rendirían 0,102 y 0,085 kg/recluta, respectivamente. Los valores de rendimiento relativo que corresponden a las tasas F_{actual} , $F_{0,1}$ y $F_{0,2}$ representan 45%, 82% y 68% del que se lograría aplicando $F_{\text{máx}}$ (siendo $F_{\text{máx}}$ el punto de la curva en que el rendimiento por recluta es máximo).

Las tasas de explotación respectivas serían 0,30; 0,60 y 0,48. Con las tasas $F_{0,1}$ y $F_{0,2}$ se estiman capturas de 9.700 y 8.100 toneladas (Tabla 8).

- Modelo de Thompson y Bell

El valor de mortalidad por pesca ajustado a las capturas promedio en el periodo 1991-2008 (F_{actual}) fue 0,10 (Fig. 6). De aplicarse los estimados de $F_{0,1}$ y $F_{0,2}$ se obtendrían rendimientos de 11.200 t y 9.700 t, respectivamente (Tabla 8). El estimado de biomasa total a mitad del año fue algo superior a 63.000 t. Este valor, al igual que el de la evaluación anterior (Buratti *et al.*, 2008) se halla dentro del intervalo correspondiente a las campañas de evaluación acústica: 77.260 t en 1996 y 49.512 t en el año 2000.

Si bien se produjo un aumento significativo de los desembarques de caballa del último año respecto del anterior (55%), los estimados de mortalidad por pesca (F_{actual} , $F_{0,1}$ y $F_{0,2}$) por los modelos de rendimiento por recluta fueron prácticamente los mismos que los obtenidos en 2008 (Buratti *et al.*, 2008). Esto es debido a que en ambos análisis se ha considerado el promedio de las capturas registradas desde el año 1991, y ese valor no cambió mucho al incluir la mayor explotación del 2008.

Mientras las estimaciones de los modelos de rendimiento por recluta aproximan el potencial pesquero promedio de una población, tal vez pueda considerarse que un modelo de producción estructurado describe mejor sus fluctuaciones entre años. Así por ejemplo, en la pesquería de caballa al sur de 39° de latitud, las mayores capturas de la última temporada se reflejan en la estimación de una tasa de mortalidad pesquera también mayor. La CBA del año 2009 que resultaría de aplicar este modelo es de 6.800 t, si se busca evitar que la biomasa de reproductores en el largo plazo sea menor que el 30% del efectivo reproductor en ausencia de pesca. Ahora bien, una recomendación de capturas máximas se basará en el tipo de modelo que genere más confianza sobre su capacidad para representar el estado actual del efectivo. Si existe sólida información complementaria para auxiliar el ajuste, incluyendo datos recientes, las ventajas de los métodos de producción son poco discutibles. De otra forma, la incertidumbre asociada a las distintas estimaciones es difícil de comparar. Teniendo estas consideraciones en cuenta, no parece que la escasa información incorporada en el presente análisis (sólo los datos de desembarques totales del último año) sea suficiente para modificar las recomendaciones de Buratti *et al.* (2008), consistentes en fijar un máximo anual de capturas de 8.100 toneladas. Este valor es congruente con los predichos en el presente análisis mediante los modelos de Beverton y Holt y de Thompson y Bell, si se adoptara $F_{0,2}$ como punto de referencia.

Bibliografía

- BURATTI, C.C.; GARCIARENA, A.D. y HANSEN, J.E. 2008. Evaluación del stock de caballa (*Scomber japonicus*) en el área “El Rincón” (39°-41°30’S). Capturas biológicamente aceptables durante el año 2008. INIDEP Inf. Téc. 40, 18 pp.
- CADDY, J.F y MAHON, R. 1996. Puntos de referencia para la ordenación pesquera, FAO. Documento Técnico de Pesca. 347. Roma 1996, 109 pp.
- COLLETTE, B.B. y NAUEN, C.E. 1983. Scombrids of the world. FAO Species Catalogues, FAO Fisheries Synopsis, no. 125, vol. 2, 137 p.
- BEVERTON, R.J.H. y HOLT, S.J. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. Fish. Invest. Minist. Agric. Fish. Food G.B. (2 Sea Fish), 19: 533 pp.
- CREMONTE, F. y SARDELLA, N. 1997. The parasitofauna of *Scomber japonicus* Houttuyn, 1782 (Pisces: *Scombridae*) in two zones of the Argentine Sea. Fish. Res., 31(1-2): 1-9.
- DERISO, R.B.; QUINN, T.J. y NEAL, P.R. 1985. Catch age analysis with auxiliary information. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 42(4): 815-824.
- FRANCIS, R.I.C.C. 1992. Use of risk analysis to assess fishery management strategies: a case study using orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) on the Chatam Rise, New Zealand. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 49(5): 922 – 930.
- GARCIARENA, A. D. y HANSEN, J. E. 2008. Análisis de las capturas de anchoíta, obtenidas al norte de 41° S por la flota argentina durante 2008. Inf. Téc. Int. INIDEP 66, 14pp.
- GARCIARENA, A.D. y BURATTI, C.C. 2009. Análisis de los desembarques de caballa (*Scomber japonicus*), capturada por la flota comercial al sur de 39°S durante 2008. INIDEP Inf. Téc. 18, 13 pp
- GOODYEAR, C.P. 1993. Spawning Stock Biomass per Recruit in Fisheries Management: Foundation and Current Use, p. 67-81. En Smith, S. J., Hunt, J. J. y Rivard, D. [ed.] Risk evaluation and biological reference points for fisheries management. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 120.
- GULLAND, J.A. y BOEREMA, L.K. 1973. Scientific advice on catch levels. Fish. Bull., 71: 325-335.
- HANSEN, J.E. 2003. Estandarización de las capturas por unidad de esfuerzo obtenidas de las poblaciones bonaerense y patagónica de anchoíta (*Engraulis anchoita*) por la flota comercial de arrastre entre 1995 y 2002. INIDEP Inf. Téc. Int. 14, 10 pp.
- HILBORN, R. 1990. Estimating the parameters of full age-structured models from catch and abundance data. Bull. Int. N. Pac. Fish. Comm., 50: 207-213.
- PERROTTA, R.G. 1992. Growth of Mackerel (*Scomber japonicus* Houttuyn, 1782) from the Buenos Aires-north Patagonian region (Argentine Sea). Sci. Mar., 56(1): 7-16.
- PERROTTA, R.G. 1995. Caballa (*Scomber japonicus*). Muestreo de desembarque en el puerto de Mar del Plata (38° S-57° 30’W). Temporada de pesca 1991/92 y 1992/93. INIDEP Inf. Téc., 4, 22 pp.
- PERROTTA, R.G. y AUBONE, A. 1991. De nuevo sobre la morfometría de la caballa (*Scomber japonicus*). Frente Marít., 8 (A): 37-42.
- PERROTTA, R.G. y CHRISTIANSEN, H.E. 1993. Estimación de la frecuencia reproductiva y algunas consideraciones acerca de la pesca de la caballa (*Scomber japonicus*) en relación con el comportamiento de los cardúmenes. Physis (A) 48 (114-115), 14 pp.
- PERROTTA, R.G.; MADIROLAS, A.; VIÑAS, M.D.; AKSELMAN, R.; GUERRERO, R.; SANCHEZ, F.; LOPEZ, F.; CASTRO MACHADO, F. y MACCHI, G. 1999. La caballa (*Scomber japonicus*) y las condiciones ambientales en el área bonaerense de “El Rincón” (39°-40°30’). Agosto, 1996. INIDEP Inf. Téc., 26, 29 pp.

- PERROTTA, R.G.; VIÑAS, M.D.; HERNANDEZ, D.R. y TRINGALI, L.S. 2001. Temperature conditions in the argentine chub Mackerel (*Scomber japonicus*) fishing ground: Implications for fishery Management. *Fish. Ocean.*, 10: 275-283.
- PERROTTA, R.G.; VIÑAS, M.D.; MADIROLAS, A.; RETA, R.; AKSELMAN, R.; CASTRO MACHADO, F.; GARCIARENA, D.; MACCHI, G.; MORIONDO DANOVARO, P.; LLANOS, V. y URTEAGA J. 2003. La caballa (*Scomber japonicus*) y las condiciones del ambiente en el área "EL RINCON" (39° 40'-41°30'S) del Mar Argentino. Septiembre, 2000. *INIDEP Inf. Téc.*, 54, 25 pp.
- PERROTTA, R.G.; GARCIARENA, D. y HERNANDEZ, D.R. 2007. Muestreo de desembarque de caballa (*Scomber japonicus*) en el puerto de Mar del Plata (38°S) y determinación de niveles de captura en el área "El Rincón". Periodo 1989-2003. *INIDEP Inf. Téc.*, 63, 27 pp
- POLACHEK, T.; HILBORN, R. y PUNT, A.E. 1993. Fitting surplus production models: comparing methods and measuring uncertainty. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 50: 2597 – 2607.
- PUNT, A.E. y JAPP, D.W. 1994. Stock assessment of the kingklip *Genypterus capensis* off South Africa. *S. Afr. J. Mar. Sci.*, 14: 133-149.
- ROLDAN, M.I.; PERROTTA; R.G.; CORTEY, M. y PLA, C. 2000. Molecular and morphologic approaches to discrimination of variability patterns in chub Mackerel, *Scomber japonicus*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 253: 63-74.
- SPARRE, P. y VENEMA, S.C. 1991. Introduction to tropical fish stock assessment. Part 1. Manual. *FAO Fish. Tech. Pap.*, 306.2, Rev.2, 94 pp.
- THOMPSON, W.F. y BELL, F.H. 1934. Biological statistic of Pacific halibut fishery. 2. Effects of changes on intensity upon total yield and yield per unit of gear. *Rep.Int.Fish. (Pacific Halibut) Comm.*8: 49 pp.

Tabla 1. Capturas nominales (toneladas) de caballa al sur de 39° de latitud. Periodo 1991-2008.

Año	Captura (t)	Año	Captura (t)
1991	243	2000	10.114
1992	2.153	2001	3.345
1993	4.320	2002	10.341
1994	6.035	2003	380
1995	10.259	2004	1.993
1996	8.059	2005	375
1997	8.868	2006	858
1998	2.875	2007	7.891
1999	6.540	2008	12.245

Tabla 2. Estimación de los pesos medios por grupo de edad (gramos) en el efectivo sureño de caballa en diferentes momentos del año. Periodo 1990-2008.

Edad	1° de enero	1° julio	15 de agosto	15 de noviembre
1	89,18	127,25	137,60	159,18
2	170,37	217,46	229,72	254,74
3	267,45	319,37	332,55	359,06
4	372,36	425,65	438,94	465,43
5	478,61	530,71	543,54	568,96
6	581,52	630,72	642,74	666,41
7	678,06	723,35	734,34	755,90
8	766,48	807,37	817,24	836,56
9	846,00	882,38	891,13	908,20
10	916,53	948,51	956,18	971,11

Tabla 3. Estimación de la proporción de individuos maduros y del factor de selección por grupo de edad en el efectivo de caballa al sur de 39° de latitud. Periodo 1989-2002.

Edad	Proporción de maduros	Factor de selección
1	0,30	0,51
2	0,90	0,76
3	1	0,90
4	1	0,93
5	1	0,96
6	1	1
7	1	1
8	1	1
9	1	1
10	1	1

Tabla 4. Biomasa de caballa estimada por métodos acústicos en el área “El Rincón”.

Año	Biomasa (t)
1996	77.260
2000	49.512

Tabla 5. Datos de entrada para la aplicación del modelo de Thompson y Bell.

Edad	Talla media (L_t) (cm)	Peso medio (W_t) (gramos)
1	26,0	156,78
2	30,0	250,28
3	33,3	352,40
4	36,0	456,33
5	38,3	557,05
6	40,2	651,31
7	41,7	737,26
8	43,0	814,10
9	44,0	881,74
10	44,9	940,59

Tabla 6. Estimadores de los parámetros del modelo de producción con estructura de edad ajustado a los datos de caballa al sur de 39° de latitud en el periodo 1990-2008. Los parámetros α y β son las constantes de la relación *stock-recluta* de Beverton y Holt, h es el “parámetro de inclinación” de la misma; BRV es la biomasa virgen de reproductores (15 de noviembre de 1990); BR₂₀₀₈ la abundancia de reproductores que existiría al 15 de noviembre de 2008; K la biomasa virgen total que existiría a inicios de 1990 y BT₂₀₀₈ la biomasa total a inicios de 2008.

Parámetro	Estimación
α	276,97
β	$4,76 * 10^{-3}$
h	0,38
BRV	82.364 t
BR ₂₀₀₈ / BRV	0,47
K	102.745 t
BT ₂₀₀₈ / K	0,58

Tabla 7. Resultados de los análisis de riesgo y capturas biológicamente aceptables (CBA) en el año 2009, correspondientes a distintos objetivos a largo plazo establecidos para la pesquería de caballa sureña, a partir de las estimaciones del modelo de producción con estructura de edad ajustado a los datos del período 1990 – 2008.

Objetivo	BRL (t)	CBA ₂₀₀₉ (t)
BRL > 25% BRV	21.000	8.600
BRL > 30% BRV	25.000	6.800
BRL > 35% BRV	29.000	5.200

Tabla 8. Capturas biológicamente aceptables (CBA) en toneladas para el año 2009 estimadas por los modelos de Beverton y Holt y Thompson y Bell, de aplicarse los valores de mortalidad por pesca $F_{0,1}$ ó $F_{0,2}$.

CBA ₂₀₀₉	Beverton y Holt toneladas	Thompson y Bell toneladas
$F_{0,1}$	9.700	11.200
$F_{0,2}$	8.100	9.700

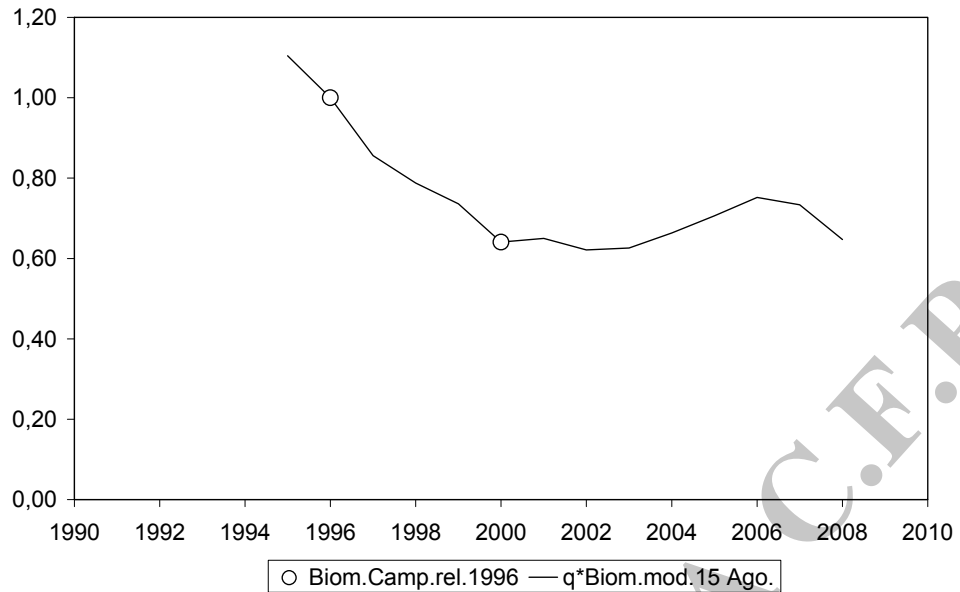


Figura 1. Ajuste del índice utilizado en la calibración del modelo de producción con estructura de edades (función *stock* – recluta de Beverton y Holt): biomasa total estimada en las campañas de evaluación (BC_y) efectuadas en agosto de 1996 y 2000 vs. biomasa al 15 de agosto estimada por el modelo (valores relativos al año 1996).

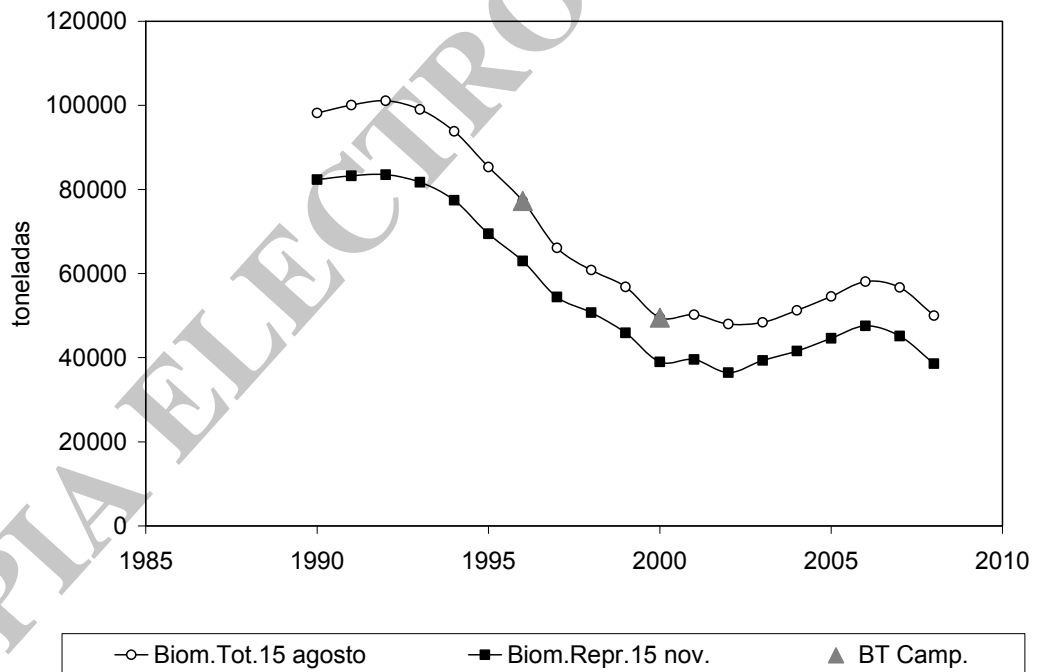


Figura 2. Estimaciones anuales de la biomasa total al 15 de agosto y de la biomasa reproductiva al 15 de noviembre según el modelo de producción, y evaluaciones acústicas de la abundancia total en las campañas realizadas en 1996 y 2000.

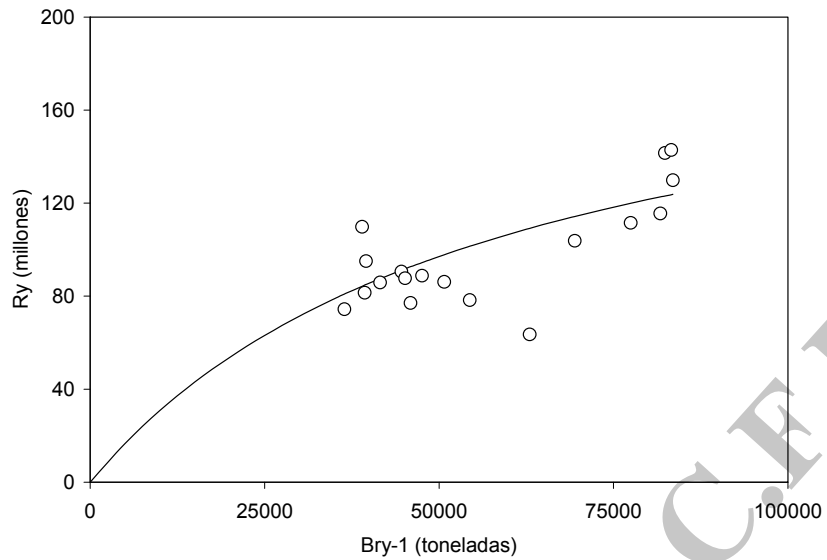


Figura 3. Reclutamientos anuales (R_y) en función de la biomasa parental al 15 de noviembre (BR_{y-1}) según estimados anuales del modelo de producción y curva de Beverton y Holt ajustada a esos valores.

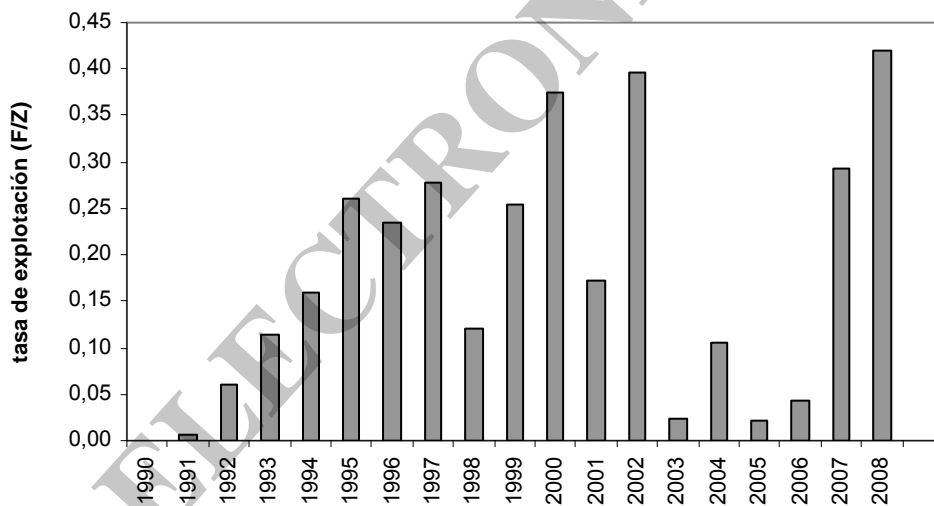


Figura 4. Tasas de explotación calculadas a partir de los estimados de mortalidad por pesca del modelo de producción estructurado en edades. Periodo 1991-2008.

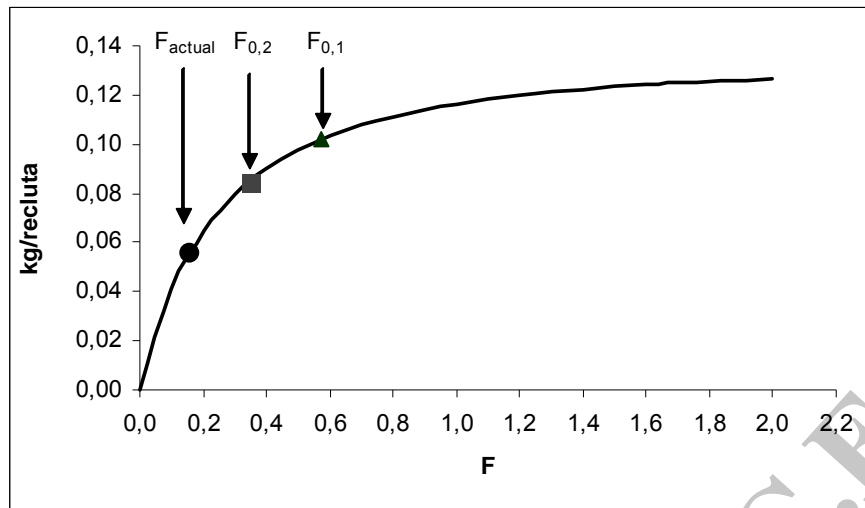


Figura 5. Rendimientos por recluta (kg/recluta) en función de la mortalidad por pesca (F) según estimados del modelo de Beverton y Holt (1957). Se indican el valor de mortalidad por pesca (denominado F_{actual}) que produce el rendimiento medio observado en la serie 1991-2008, así como los puntos de referencia $F_{0,1}$ y $F_{0,2}$.

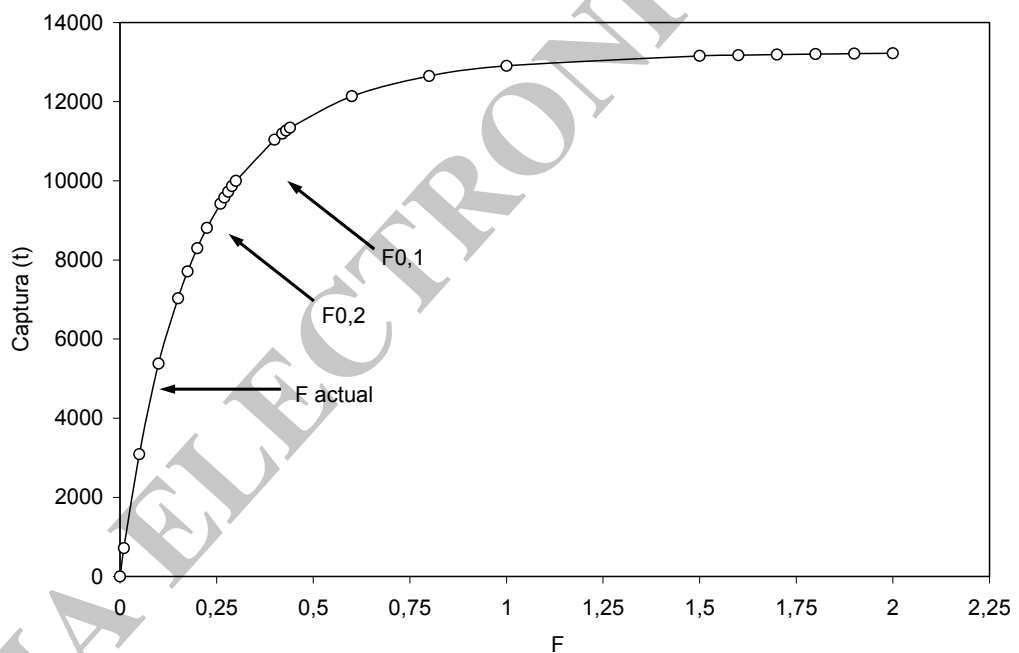


Figura 6. Rendimientos (t) obtenidos en función de la mortalidad por pesca (F) según estimados del modelo de Thompson y Bell (1934). Se indican el valor de mortalidad por pesca (denominado F_{actual}) que produce el rendimiento medio observado en la serie 1991-2008, así como los rendimientos que se obtendrían con los puntos de referencia $F_{0,1}$ y $F_{0,2}$.