



INIDEP

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO PESQUERO

INFORME TÉCNICO OFICIAL

Número 014	Páginas 19	Dirección Direcc. de Pesquerías Pelágicas y Ambiente Marino
Fecha de aprobación 11 MAY 2010	Programa / Gabinete Pesquerías de Peces Pelágicos	
		Actividad Estudio del rendimiento potencial de caballa

Estructura y abundancia del efectivo de caballa (*Scomber japonicus*) capturado al sur de 39°S y estimación de capturas biológicamente aceptables durante el año 2010.

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

SOLICITADO POR

Institución	Cargo
Institución	Cargo

PREPARADO POR

Firma:

Nombre: **CLAUDIO C. BURATTI**

Firma:

Nombre: **A. DAVID GARCÍARENA**

Firma:

Nombre: **JORGE E. HANSEN**

Firma: Nombre

Nombre:

Firma: Nombre

Nombre:

APROBADO POR

Jefe de Programa / Gabinete

Director de área

Director Nacional de Investigación

Dr. OTTO C. WÖHLER
DIRECTOR
Dirección Nacional de Investigación
INIDEP

Director del INIDEP

DNI 285 / - / - / -

Estructura y abundancia del efectivo de caballa (*Scomber japonicus*) capturado al sur de 39°S y estimación de capturas biológicamente aceptables durante el año 2010.

por

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

Resumen

Se estimó, mediante un nuevo ajuste de un modelo de producción estructurado por edades, la composición y abundancia del *stock* de caballa que es explotado al sur de 39°S de latitud. Con la finalidad de auxiliar este ajuste se utilizaron dos valores puntuales independientes de la biomasa de una fracción (edades 3 a 10) de la población, que en los años 1996 y 2000 fue evaluada de manera directa, por métodos acústicos, en sendas campañas. A partir del diagnóstico efectuado se llevaron a cabo análisis de riesgos, para determinar niveles de captura que pudieran recomendarse como biológicamente aceptables (CBA) en el año 2010. Esta información se complementó ajustando modelos de rendimiento por recluta. Los resultados actuales comprendieron estimaciones entre 11.700 y 18.000 toneladas. Como captura máxima a obtenerse de esta unidad de manejo se mantiene para el año en curso la recomendación efectuada el año anterior, ubicada en el orden de los niveles de pesca presentes, de 12.000 toneladas. Se enfatiza la necesidad de estudiar atentamente el estado del *stock*, en especial efectuando al menos una campaña anual de evaluación directa.

Introducción

En nuestro país, la caballa (*Scomber japonicus*) ha sido capturada por décadas casi exclusivamente por la flota de rada marplatense, operando sobre el efectivo norteño de la especie. Este se distribuye principalmente entre la boca del Río de la Plata y la latitud de 38°S, a diferencia de los individuos que integrarían un segundo conjunto demográfico y que habitarían entre 39° y 45°S (Perrotta y Aubone, 1991; Perrotta, 1992, Cremonte y Sardella, 1997; Roldán *et al.*, 2000).

Esta última población comenzó a ser explotada desde inicios de los años '90, fundamentalmente por buques "fresqueros" de altura, con redes de arrastre de fondo (Perrotta *et al.*, 1999). Ha rendido en ocasiones más de diez mil toneladas anuales, siendo la zona denominada "El Rincón" (39°- 41°30'S, al oeste de 59°W) el caladero más productivo. En efecto, en el último año aproximadamente un 80% de las extracciones de esta especie se obtuvieron entre los meses de septiembre y octubre en las cuadrículas 40°S – 60°W y 40°S – 61°W (Garcarena y Buratti, 2010).

En el presente informe se dan a conocer los resultados de una evaluación de la estructura y abundancia del *stock* de caballa que es explotado al sur de 39°S de latitud, efectuada nuevamente ajustando un modelo de producción estructurado por edades (Deriso *et al.*, 1985; Hilborn, 1990), como se ha realizado en años previos (Buratti *et al.*, 2008 *et seq.*). Con la finalidad de auxiliar este ajuste se utilizaron valores independientes, obtenidos en los años 1996 y 2000 por métodos acústicos, de la biomasa de parte de la población. A partir de los resultados obtenidos se llevaron a cabo análisis de riesgos, para determinar niveles de captura que pudieran recomendarse como capturas biológicamente aceptables (CBA) en el año 2010. Esta información se complementó aplicando los modelos predictivos clásicos de rendimiento por recluta que fueran propuestos por Beverton y Holt (1957) y por 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 2009, provistas por el Centro de Cómputos del INIDEP y ajustadas para considerar aquellas logradas en el área “El Rincón” (Tabla 1);
- el valor 0,38 para la tasa instantánea de mortalidad natural (M), tomado de Perrotta *et al.* (1999), y que se asumió constante sobre toda edad y en los distintos años;
- vectores también 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 de acuerdo con Sparre y Venema (1991) a partir de la curva de captura del año 2001 (Perrotta *et al.*, 2007);
- evaluaciones de biomasa de este efectivo de caballa (Tabla 4) en 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 incluyendo datos de desembarque del año 2009 (Garciaarena y Buratti, 2010).

Tabla 1. Capturas nominales (toneladas) de caballa al sur de 39°S de latitud. Período 1991-2009.

Año	Captura (t)	Año	Captura (t)
1991	243	2001	3.345
1992	2.153	2002	10.341
1993	4.320	2003	380
1994	6.035	2004	1.993
1995	10.259	2005	375
1996	8.059	2006	858
1997	8.868	2007	7.891
1998	2.875	2008	12.245
1999	6.540	2009	11.791
2000	10.114		

Tabla 2. Estimación de los pesos medios por grupo de edad (gramos) en el efectivo sureño de caballa en diferentes momentos del año. Período 1990-2009.

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. Proporción estimada de individuos maduros (Perrotta, 1995) y factores de selección por grupo de edad en el efectivo de caballa al sur de 39°S de latitud calculados con datos del período 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 los ejemplares de caballa de edades 3 a 10 estimada por métodos acústicos en el área “El Rincón”.

Año	Biomasa (t)
1996	77.175
2000	47.796

2. Modelo de producción estructurado por edades (MPEE)

2.1. Estimación de la abundancia de la población

Como en informes anteriores (Buratti *et al.*, 2008 *et seq.*) la cantidad de ejemplares de edad t al inicio de cada año y depende de la tasa de mortalidad pesquera aplicada el año previo (F_{y-1}) y fue estimada como:

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

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 $y = 1991, 1962, \dots, 2009$). A este efecto se empleó la función de Beverton y Holt:

$$N_{1,y} = \frac{BR_{y-1}}{\alpha + \beta BR_{y-1}} \exp(\Omega_y); \quad [2]$$

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:

$$BO_y = \sum_{t=1}^{10} (W_t^O N_{t,y}) \quad [3]$$

$$Bt_y = \sum_{t=1}^{10} (W_t^{ag} N_{t,y} \exp(-Z_{t,y} * 0,625)) \quad [4]$$

expresando W_t^O y W_t^{ag} 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:

$$C_y = \sum_{t=1}^{10} W_t^1 S_t F_y N_{t,y} \frac{1 - \exp[-(M + S_t F_y)]}{M + S_t F_y} \quad [5]$$

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

La biomasa total de reproductores (BR_y), considerada al 15 de noviembre por ocurrir en ese momento el pico de la actividad reproductiva, se estimó de la siguiente forma:

$$BR_y = \sum_{t=1}^{10} (W_t^{nov} N_{t,y} Pm_t \exp(-Z_{t,y} * 0,875)) \quad [6]$$

donde Pm_t es la proporción de individuos de edad t que alcanzan la madurez en esa época del año, y W_t^{nov} es su peso medio.

2.2. Ajuste del índice

Para auxiliar el ajuste del modelo se dispuso de un índice de abundancia integrado por dos estimaciones acústicas de biomasa, de campañas efectuadas en 1996 y 2000. De acuerdo con los resultados obtenidos por Buratti *et al.* (2009 b), sólo la biomasa del conjunto de grupos de edad 3 a 10, efectivamente evaluados mediante las

campañas ($BC_{3-10,y}$), expresada en relación con el primero de los cruceros, fue usada como índice de abundancia a comparar con las estimaciones del modelo de producción para las mismas edades. En cambio, en otros trabajos previos (Perrotta *et al.*, 2007; Buratti *et al.*, 2008 y 2009 a) las evaluaciones de los años 1996 y 2000 habían sido tomadas como índices de la abundancia total.

El índice se calculó como:

Índice:

$$BC_{3-10,y} \text{ relat } BC_{3-10,1996} = BC_{3-10,y} / BC_{3-10,1996}$$

y = 1996, 2000
fuente: campaña agosto

Se ha seguido asumiendo que entre el valor del índice y el estimado del modelo existe una relación lineal de la forma:

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

El valor anual del índice derivado de la evaluación de biomasa $BC_{3-10,y}$ del grupo de edades presentes en cada campaña, se consideró proporcional a la biomasa del mismo conjunto ($B_{t=3-10,y}$) estimada por el modelo al 15 de agosto, que fue la fecha de los cruceros, y fue calculado como:

$$\hat{I}_y = \hat{q} B_{t=3-10,y} \quad y = 1996; 2000$$

El coeficiente de proporcionalidad del índice (q) se calculó analíticamente (Polachek *et al.*, 1993):

$$q = \exp \left(\frac{1}{n} \sum_{y=1}^n \ln (I_y / \hat{I}_y) \right) \quad [7]$$

donde $n = 2$ fue el número de años con valores disponibles del índice de abundancia, mientras que \hat{I}_y representa el valor respectivo estimado por el modelo (biomasa de las edades 3 a 10 a mediados de agosto).

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

$$-\ln L = \sum \left(\frac{1}{2(\hat{\sigma})^2} \sum (\ln(\hat{I}_y) - \ln(I_y))^2 + n \ln \hat{\sigma} \right) \quad [8]$$

La desviación estándar residual $\hat{\sigma}$ de la serie de abundancia se estimó en la forma habitual:

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_y [\ln \hat{I}_y - \ln I_y]^2} \quad [9]$$

2.3. Proceso de ajuste y restricciones impuestas al modelo

Los parámetros de la función de Beverton y Holt que determina el reclutamiento se estimaron suponiendo que la estructura de edades de la población se encontraba en la condición de equilibrio en el año 1990, cuando el recurso era virgen. Para reducir la cantidad de constantes a estimar, los parámetros fueron calculados de la manera siguiente (Francis, 1992; 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) como se indica a continuación:

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

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

La rutina *Solver* del programa Excel se usó para encontrar el mínimo de la función objetivo, al tiempo que se variaban automáticamente las estimaciones de los siguientes parámetros:

- vector de tasas de mortalidad pesquera anuales (F_y , para $y=1991, 1992, \dots, 2009$);
- vector de factores de variación (Ω_y , para $y = 1991, 1992, \dots, 2009$) aplicados a los estimados determinísticos de los reclutamientos anuales;
- biomasa virgen total (K); y
- inclinación de la curva *stock* – recluta, h .

Como valores iniciales de estos estimadores (“semillas”) para comenzar el proceso de ajuste, se emplearon las últimas estimaciones disponibles, que cubrieron el período 1990-2008 (Buratti *et al.*, 2009 b), mientras que el valor de la tasa de mortalidad pesquera F_{2009} repitió inicialmente a la estimación F_{2008} y el valor semilla de Ω_{2009} fue 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 se consignan a continuación:

- que las capturas totales anuales estimadas por el modelo (C_y) fueran iguales que los valores nominales incluidos en la Tabla 1;
- que la variación del estimador h se limitara al rango 0,05 – 0,90; y
- que la variación de los factores aleatorios de reclutamiento, respecto de los valores determinados por la función *stock* – recluta, estuviera limitada al rango 0,5 – 3,0 (es decir, logaritmos de factores entre -0,69 y 1,09).

2.4. Análisis de riesgos y estimación de capturas biológicamente aceptables

A partir de las estimaciones de la estructura y del tamaño de la población efectuadas por medio del modelo de producción con estructura de edad, mediante análisis de riesgos se buscó determinar el mayor nivel futuro de pesca (tasa F) que pudiera considerarse seguro para el recurso. Con este fin, se simuló proyectar el estado teórico del *stock* por 25 años a partir de 2010, bajo intensidades crecientes de explotación. Las tasas pesqueras se mantuvieron constantes durante todo el período y en las 600 repeticiones de cada serie (o valor de F sometido a prueba). Se simularon 17 valores de F , 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).

Para calibrar el modelo se contó solamente con un par de evaluaciones directas, cuya precisión ha sido baja (Buratti *et al.*, 2009 b). Por este motivo, en cada repetición se sorteó la magnitud de la biomasa total a comienzos de 2009 (BO_{2009}) entre valores normalmente distribuidos alrededor de la estimación que resultó del modelo de producción estructurado por edades, con una gran desviación estándar $S_{BO_{2009}}$ que cumpliera la igualdad: $S_{BO_{2009}} = 0,80 * BO_{2009} / 1,96$.

En las proyecciones, los reclutamientos futuros ($R_y = 2010, 2011, \dots, 2025$) se generaron a partir de los parámetros calculados de la función *stock* – recluta, pero permitiendo que cada valor teórico variase respondiendo a una distribución log-normal, en la forma:

$$R_y = \frac{BR_{y-1}}{\alpha + \beta BR_{y-1}} \exp(\varepsilon_y) \quad \text{donde: } \varepsilon_y \sim N(0, \sigma_y)$$

La desviación estándar de los logaritmos de los reclutamientos se consideró igual para toda magnitud de la biomasa de reproductores ($\sigma_y = \sigma_{\ln R}$). Fue calculada a partir de los 19 valores R_y surgidos del modelo de producción entre 1991 y 2009, esto es:

$$\overline{\ln R} = \frac{\sum_{y=1991}^{2009} \ln R_y}{19} \quad ; y$$

$$\sigma_{\ln R} = \sqrt{\frac{\sum (\ln R_y - \overline{\ln R})^2}{19 - 1}}$$

Para recomendar niveles de explotación se buscó ubicar la “Captura anual biológicamente aceptable” (CBA) que implicaría a largo plazo un riesgo biológico de sobreexplotación igual o menor al 10%. Esta captura es la máxima que se obtendría en el año 2010 si, sobre los ejemplares presentes a inicios del año (que incluirían aquellos de edad 1 reclutados de manera aleatoria, y a los supervivientes del año 2009) se aplicara una determinada mortalidad por pesca (F_{ref}). Esta, en el largo plazo, debiera permitir que la biomasa de reproductores se mantuviera por encima de un nivel límite (BRL). Se evaluaron valores límites que representaron distintas 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.

Adicionalmente, se ha juzgado interesante comparar las capturas en el largo plazo estimadas mediante el procedimiento precedentemente explicado con aquellas resultantes de generar de otras maneras los reclutamientos futuros en las simulaciones. Con este fin se probaron también:

(a) Reclutamientos determinísticos a partir de la curva *stock* - recluta:

$$R_y = \frac{BR_{y-1}}{\alpha + \beta BR_{y-1}}$$

(b) Reclutamientos aleatorios y de distribución log-normal, pero alrededor de una única media igual al promedio histórico, independientemente del tamaño del efectivo parental:

$$R_y = \exp\left(\overline{\ln R} + \frac{\sigma_{\ln R}^2}{2}\right) \exp(\varepsilon_y) \quad \text{donde: } \varepsilon_y \sim N(0, \sigma_{\ln R}^2)$$

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 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 (1992-2009), en millones de ejemplares, obtenido por el modelo de producción.

4. Modelo de Thompson y Bell

Según este modelo, las ecuaciones que explicarían la dinámica del *stock* si este se supusiera actualmente en equilibrio, y las capturas correspondientes, son:

$$Y_c = C_t * W_t$$

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

$$F_{actual} = F \Rightarrow (\bar{Y}_{1991-2009} - Y_c)^2 = \min.$$

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

donde:

N_t = número de ejemplares de cada grupo de edad (t) para $t \geq 2$, considerándose $N_t = \bar{N}_1$, es decir, el valor del reclutamiento medio calculado por el modelo de producción, en el período 1992 a 2009.

F_{actual} = tasa de mortalidad por pesca (sobre todo grupo de edad) que aproxima el rendimiento medio observado desde el año 1991 ($\bar{Y}_{1991-2009}$). 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, de ejemplares de distintas edades (Tabla 5).

Tabla 5. Datos básicos usados para aplicar el 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

Uno y otro modelo de rendimiento por recluta fueron ajustados para estimar tanto el valor medio de F_{actual} , como las tasas de mortalidad pesquera $F_{0,1}$ y $F_{0,2}$. Estas dos tasas tienen amplia aplicación como puntos biológicos de referencia para determinar niveles permisibles de pesca, aunque responden a criterios arbitrarios y no puede establecerse *a priori* cuál será más indicada para una pesquería determinada (Caddy y Mahon, 1996). La $F_{0,1}$ se define como la mortalidad por pesca correspondiente al punto sobre la curva de rendimiento cuya pendiente es un décimo de la pendiente existente 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% ($T_c = 3,23$) se obtuvo aplicando la ecuación de von Bertalanffy a la talla media ($L_t = 34,0$ cm) observada en los desembarques de caballa provenientes del área El Rincón. Así se calculó también la edad media de

reclutamiento a la pesquería (T_r), atendiendo a que 23,0 cm es habitualmente la menor talla presente en los desembarques anuales (Perrotta *et al.*, 2007; Garciarena y Buratti, 2010).

5. Análisis de las capturas de equilibrio y de la evolución de la biomasa de la población bajo distintas tasas de mortalidad por pesca

Disponiendo de las estimaciones de los parámetros de la función *stock* – recluta del modelo de producción estructurado, el modelo de Thompson y Bell se usó también para calcular los reclutamientos, capturas, y biomasa de reproductores que, en condiciones futuras de equilibrio, se generarían bajo distintas tasas de mortalidad pesquera F . El procedimiento es conceptualmente similar al de estimación de las capturas en el largo plazo efectuado como parte de los análisis de riesgos, aunque sin incorporar variaciones aleatorias ni partir de la situación presente del efectivo pesquero. Para estos cálculos se emplearon ecuaciones análogas a las indicadas anteriormente en este informe como [2], [5] y [6]. Esta última se planteó de manera de expresar, en el equilibrio, la biomasa de reproductores producida por cada recluta:

$$BR_{eq} / R_{eq} = \sum_{t=1}^{10} (W_t^r \exp[-(t-1)(F * S_t + M)] Pm_t \exp[-0,875 * (F * S_t + M)])$$

De la misma manera, la ecuación de captura se formuló en términos del rendimiento por recluta (Y/R_{eq}) en estas condiciones:

$$Y / R_{eq} = \sum_{t=1}^{10} W_t^1 S_t F \exp[-(t-1)(F * S_t + M)] \frac{\{1 - \exp[-(M + S_t F)]\}}{M + S_t F}$$

Otras ecuaciones empleadas para llevar a cabo este análisis permiten estimar valores absolutos de biomasa de reproductores y rendimientos:

$$BR_{eq} = \frac{[(BR_{eq} / R_{eq}) - \alpha]}{\beta}$$

$$Y_{eq} = (Y / R_{eq}) \frac{BR_{eq}}{\alpha + \beta BR_{eq}}$$

Resultados y discusión

Modelo de producción estructurado por edades

Debe reiterarse que la mayor debilidad de la presente investigación reside en el índice de calibración para auxiliar el ajuste del MPEE. No se dispone en realidad de una serie de valores independientes de abundancia del efectivo, sino solamente de dos, el más reciente de los cuales corresponde a la campaña de evaluación acústica realizada en agosto del año 2000. Efectuada esta importante salvedad, como se ha indicado en el informe anterior (Buratti *et al.*, 2009 b), la biomasa del conjunto de edades 3 a 10

calculadas por el modelo de producción resultó próxima a la estimada durante las campañas de 1996 y 2000 (Fig.1).

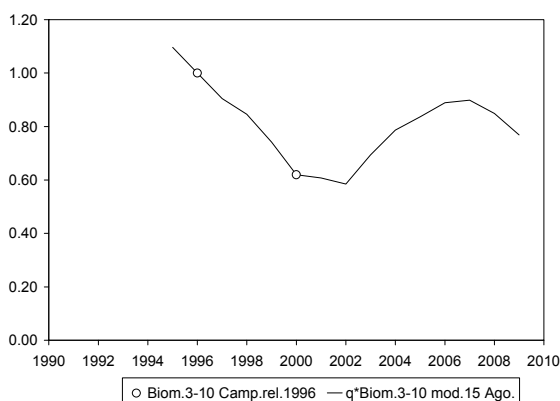


Figura 1. Ajuste del índice utilizado en la calibración del modelo de producción con estructura de edades: estimaciones de la biomasa de las edades 3 a 10 mediante las campañas de evaluación efectuadas en agosto de 1996 y 2000 ($BC_{3-10,y}$) vs. valores al 15 de agosto calculados por el modelo (ambos relativos al respectivo estimado del año 1996).

Desde el año 1990, la biomasa puntual del conjunto del efectivo al 15 de agosto habría alcanzado aproximadamente entre 75 mil y 133 mil toneladas, con una media de 94.500 t (Fig. 2), próxima a la estimación correspondiente a agosto de 2009 que fue de poco más de 92 mil toneladas. Como las capturas en las últimas dos temporadas fueron significativas, las tasas de explotación F/Z resultaron de las más altas soportadas por el *stock* hasta el presente (Fig. 3). No obstante, la relación entre la biomasa desovante que se estima existió en noviembre de 2009 y la biomasa desovante virgen (BR_{2009}/BRV) fue 0,67; es decir claramente superior a 0,30, indicando que la población se encontraría aún dentro de límites de seguridad (Goodyear, 1993).

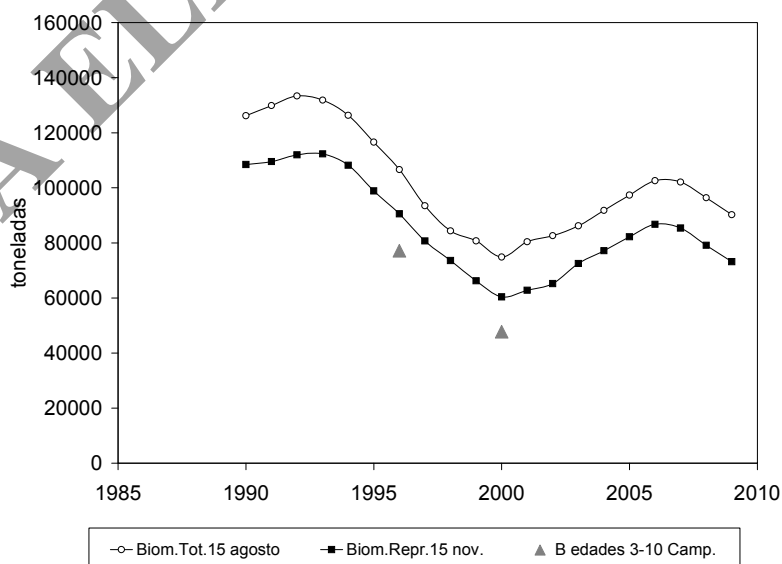


Figura 2. Estimaciones anuales de la biomasa total al 15 de agosto y de la biomasa de reproductores al 15 de noviembre según el modelo de producción, y evaluaciones acústicas de la abundancia de las edades 3 a 10 en las campañas realizadas en 1996 y 2000.

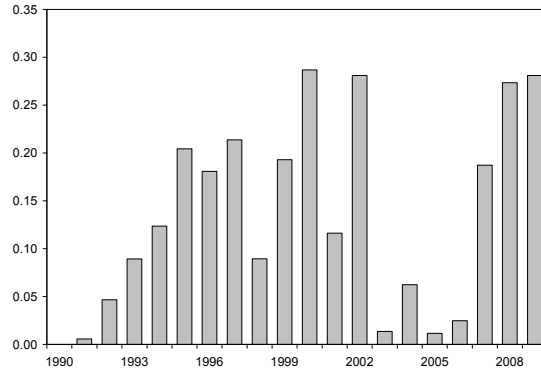


Figura 3. Tasas de explotación (F/Z) anuales sobre el efectivo de caballa al sur de 39°S, de acuerdo con los resultados del modelo de producción estructurado por edades.

Entre 1992 y 2009, la abundancia de la fracción de reproductores en el mes de noviembre habría variado entre 60 mil y 112 mil toneladas y el promedio de reclutas del grupo de edad 1 a principios de año se calculó en 142 millones de individuos siendo su desviación estándar de 28 millones (Fig.4). En la Tabla 6 se exponen los valores calculados de los parámetros del modelo, mientras que la Fig. 5 ilustra la dispersión de los reclutamientos alrededor de la curva teórica de Beverton y Holt.

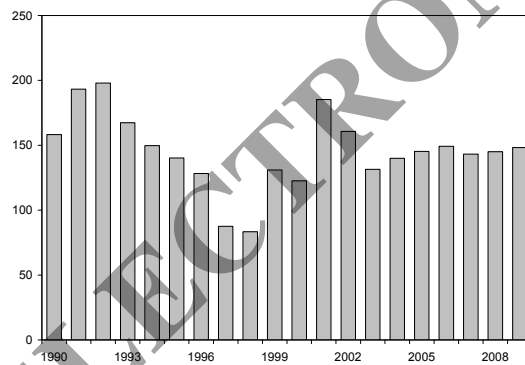


Figura 4. Millones de reclutas del efectivo de caballa al sur de 39°S de latitud, a inicios de cada año, estimados por el modelo de producción estructurado por edades.

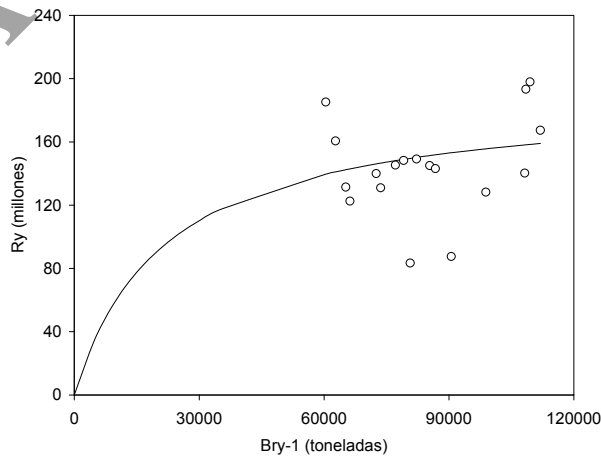


Figura 5. Curva de Beverton y Holt ajustada a los reclutamientos anuales (R_y) en función de la biomasa de los reproductores al 15 de noviembre del año previo (BR_{y-1}) según estimados del modelo de producción.

La Tabla 7 resume los resultados de los análisis de riesgos, en términos de las capturas que serían biológicamente aceptables (CBA) durante 2010, las cuales se estimaron entre 16.500 y 22.000 t, dependiendo del valor límite establecido para la biomasa de reproductores a largo plazo (BRL). En las últimas evaluaciones (Buratti *et al.*, 2008 y 2009 b) se prestó especial atención al objetivo 2 ($BR \geq 0,30 BRV$), que en esta oportunidad equivaldría a una CBA_{2010} de 18.000 t. Sin embargo, los rendimientos en el mediano plazo bajo la tasa de mortalidad pesquera asociada (F_{ref}), si esta se mantuviera constante, se calculan próximos a las 11.000 toneladas. Tanto la biomasa total como la de reproductores se predicen estables en dicho plazo; no en sus niveles actuales, pero no menores al 60% de los mismos.

Tabla 6. Estimaciones de los parámetros del modelo de producción con estructura de edad ajustado a los datos de caballa del sur de 39°S de latitud en el período 1990-2009. Referencias: α y β , constantes de la relación *stock* - recluta de Beverton y Holt; h , “parámetro de inclinación” de la misma; BRV, biomasa virgen de reproductores (15 de noviembre de 1990); BR_{2009} , abundancia de reproductores al 15 de noviembre del último año; K , biomasa virgen total a inicios de 1990; y BT_{2009} , biomasa total a inicios de 2009.

Parámetro	Estimación
α	114,32
β	$5,269 * 10^{-3}$
h	0,60
BRV	108.474 t
BR_{2009}/BRV	0,67
K	132.041 t
BT_{2009}/K	0,76

Tabla 7. Distintos niveles de la Biomasa Límite de Reproductores a largo plazo (BRL) posibles de ser seleccionados como objetivos para la pesquería de caballa al sur de 39°S, y resultado de los análisis de riesgos en función de determinar capturas biológicamente aceptables (CBA) en el año 2010.

Objetivo	BRL (t)	CBA_{2010} (t)
BRL > 25% BRV	27.000	22.000
BRL > 30% BRV	33.000	18.000
BRL > 35% BRV	38.000	16.500

Modelo de Beverton y Holt

La curva de rendimiento por recluta ajustada considerando que la edad de captura de 50% es de 3,23 años (34,0 cm de longitud total) no presentó un máximo definido (Fig. 6). La mortalidad por pesca que rendiría una captura de 5.720 toneladas, equivalente al promedio registrado entre los años 1991 y 2009 (F_{actual}) se calculó en 0,100, a la que corresponde un rendimiento de 0,040 kg/recluta. En tanto, a los puntos de referencia $F_{0,1}$ y $F_{0,2}$ (0,55 y 0,33) se asociaron valores de 0,099 y 0,082 kg/recluta, determinando tasas de explotación iguales a 0,21; 0,57 y 0,49, respectivamente. En condiciones de reclutamiento constante e igual a 142 millones de individuos, independientemente del tamaño del *stock* progenitor, las tasas de referencia resultarían en capturas anuales de 14.000 y 11.700 toneladas (Tabla 8).

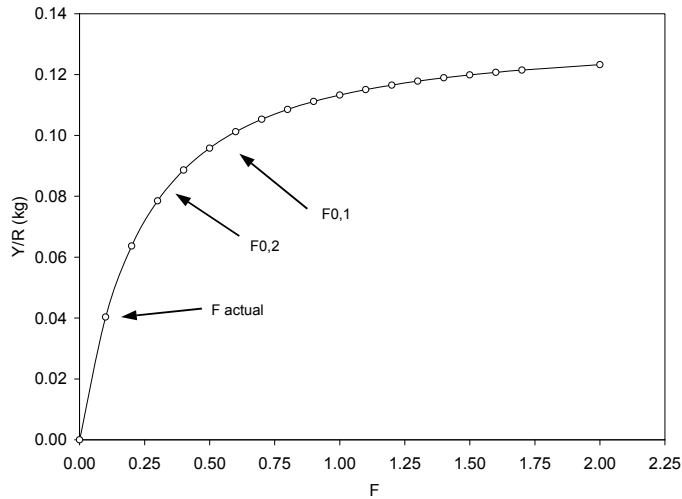


Figura 6. Rendimientos por recluta (kg) en función de la mortalidad por pesca (F) según estimados del modelo de Beverton y Holt (1957). Se indican el valor de la tasa (denominado F_{actual}) capaz de producir el rendimiento medio observado entre los años 1991 y 2009, así como los puntos de referencia $F_{0,1}$ y $F_{0,2}$.

Modelo de Thompson y Bell

De acuerdo con este modelo y atendiendo a la media de las capturas en el período 1991 – 2009, la tasa F_{actual} (Fig. 7) sería de 0,072, mientras que los puntos $F_{0,1}$ y $F_{0,2}$ se ubicaron en tasas de 0,40 y 0,26. Estas pronostican, bajo las condiciones de reclutamiento antes mencionadas, rendimientos anuales de 14.700 y 12.700 toneladas, respectivamente (Tabla 8).

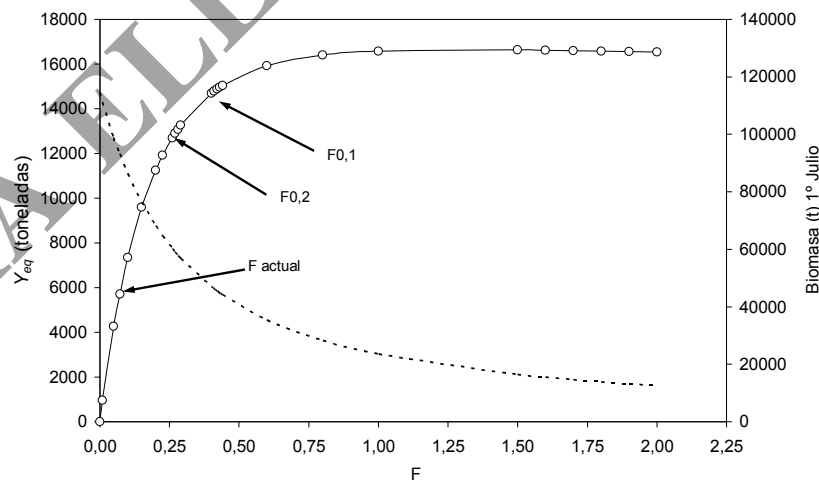


Figura 7. Rendimientos (en toneladas) en el equilibrio asumiendo reclutamientos constantes e iguales al promedio histórico, según las estimaciones correspondientes al modelo de Thompson y Bell (1934). Se indican igualmente los niveles asociados a la tasa F_{actual} , que produciría el promedio anual de capturas observado en el período 2000 - 2009, así como los puntos de referencia $F_{0,1}$ y $F_{0,2}$ y (en línea de trazos) la disminución pronosticada de la biomasa total (t) a mitad del año ante crecientes tasas de mortalidad pesquera.

Tabla 8. Capturas del *stock* sureño de caballa (Y_{eq} , en toneladas) bajo condiciones de equilibrio y reclutamientos constantes de 142 millones de ejemplares anuales, calculadas para valores de mortalidad por pesca iguales a las tasas $F_{0,1}$ y $F_{0,2}$ estimadas mediante los modelos de Beverton y Holt y de Thompson y Bell.

Y_{eq}	Beverton y Holt toneladas	Thompson y Bell toneladas
$F_{0,1}$	14.000	14.700
$F_{0,2}$	11.700	12.700

Capturas de equilibrio y biomasa de la población bajo distintas tasas de mortalidad por pesca

Otra forma de emplear el modelo predictivo de Thompson y Bell para determinar niveles potenciales de explotación, cuando se cuenta con estimaciones de los parámetros de la función *stock* – recluta de una población, es considerar los aportes que cada recluta hace a lo largo de su vida al rendimiento y a la biomasa de reproductores. Permaneciendo constantes el resto de los parámetros (tasa M y valores por edad de pesos medios, proporciones de ejemplares maduros y factores de selección) esos aportes dependen de la tasa F aplicada y de su efecto sobre el tamaño del efectivo. En este caso los reclutamientos futuros no se suponen iguales a las medias observadas, sino que son derivados a partir de las abundancias de reproductores que resultarían en el equilibrio bajo distintas tasas de mortalidad pesquera.

Debe reiterarse que, aunque sin considerar en realidad la situación actual del *stock* ni efectos aleatorios sobre los futuros reclutamientos, el procedimiento en esencia es similar a estimar capturas a largo plazo en los análisis de riesgos, y debería diferir muy poco de estos últimos cuando las cantidades de reclutas se calculan también de su relación con los reproductores en el año previo. Por este motivo, los resultados de ambos tipos de enfoque se muestran juntos en la Figura 8. La curva de rendimientos de equilibrio (Y_{eq}) muestra su máximo en aproximadamente 10.700 toneladas, que se obtendrían con una tasa $F = 0,275$ (que se define como F_{RMS} , esto es, la tasa pesquera que proporcionaría el Rendimiento Máximo Sostenible teórico). Hasta esos niveles de explotación, y aun con tasas algo mayores, esos rendimientos se pronostican en efecto iguales a las capturas en el largo plazo previstas en los análisis de riesgos en que se incorporó la relación *stock* – recluta. Las curvas de uno y otro origen se separan ligeramente sólo cuando $F \gg F_{RMS}$, por efecto de la cantidad de años que le llevaría a la población alcanzar la situación de equilibrio bajo tasas tan altas. En cambio, cuando los reclutamientos son tomados aleatoriamente alrededor de la media histórica, sin considerar la disminución del efectivo reproductor que necesariamente provocará la pesca, las capturas a largo plazo derivadas de los análisis de riesgos para la pesquería de caballa del Rincón resultan demasiado optimistas y, en realidad, serían imposibles de obtener.

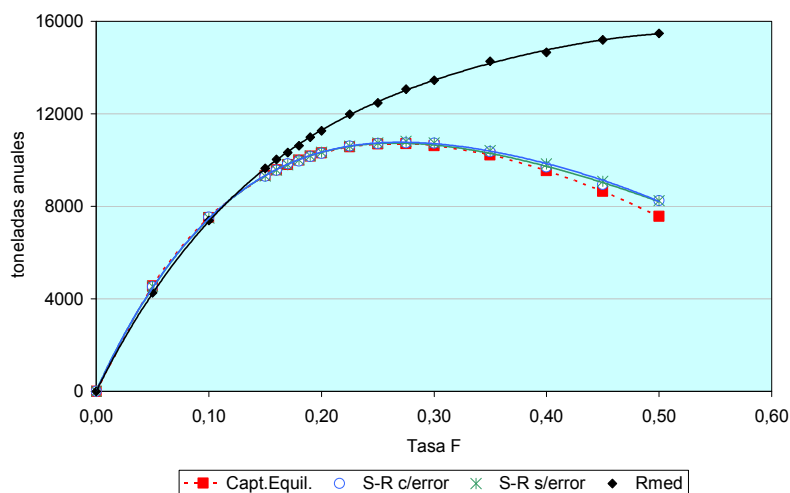


Figura 8. Capturas en el equilibrio (en toneladas) en función de tasas crecientes de mortalidad pesquera, según las estimaciones correspondientes al modelo de Thompson y Bell (línea de trazos), y capturas en el largo plazo predichas mediante análisis de riesgos considerando reclutamientos dependientes del efectivo reproductor, con o sin errores aleatorios (líneas superpuestas), o bien iguales a su media histórica (línea superior).

Consideraciones finales

Las capturas de caballa al sur de la latitud 39°S durante el último año alcanzaron 11.800 toneladas, aproximándose al rendimiento algo mayor de la pesquería en la temporada anterior, y también a la cifra de 12 mil toneladas propuesta como biológicamente aceptable (Buratti *et al.*, 2009 b) y establecida formalmente como captura permisible para ese año (Resol. CFP 18/09¹).

Los méritos relativos de los modelos de rendimiento por recluta y de producción para describir el potencial pesquero de esta población ya han sido comentados por Buratti *et al.* (2009 a y b), enfatizándose que éstos últimos no generarán mayor confianza al respecto, a menos que se disponga de información complementaria (evaluaciones directas mediante campañas de investigación) para auxiliar su ajuste, incluyendo datos recientes. Sin estimaciones acústicas desde el año 2000, el espectro de resultados actuales comprende igualmente capturas de niveles cercanos: entre 11.700 y 12.700 toneladas adoptando el punto de referencia $F_{0,2}$ de los modelos de rendimiento por recluta ajustados, y de 18.000 t analizando el riesgo de que la biomasa de reproductores en el largo plazo sea menor que 30% de aquella que habría existido cuando el efectivo no era explotado. Tales estimaciones no son totalmente independientes, puesto que en los modelos que analizan la contribución de cada recluta al rendimiento absoluto, éste se encuentra en función de la cantidad total de ejemplares incorporados cada año al *stock*, que a su vez ha sido tomada de los resultados del modelo de producción.

En este contexto, no es sencillo decidir cuáles son los “mejores datos científicos disponibles”. La incertidumbre aconseja inclinarse hacia la precaución, aunque no hay evidencias de que las tasas de explotación de los últimos años hayan provocado tendencias negativas en el conjunto del efectivo, ni en sus reclutamientos. Entendemos que es pertinente repetir durante el año 2010 la recomendación de captura máxima de 12.000 toneladas de caballa correspondiente a esta unidad de manejo. De manera complementaria, considerando que la explotación actual parece cercana al máximo potencial de la población, enfatizamos la importancia de estudiar atentamente la

¹ <http://www.cfp.gov.ar/actas.htm>

evolución de la misma, en particular efectuando al menos una campaña anual de evaluación directa.

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. Inf. Téc. Of. INIDEP 40/08, 18 pp.
- BURATTI, C.C.; GARCIARENA, A.D. y HANSEN, J.E. 2009 a. Evaluación del stock de caballa (*Scomber japonicus*) al sur de 39°S y recomendaciones de captura durante el año 2009. Inf. Téc. Of. INIDEP 20/09, 17 pp.
- BURATTI, C.C.; GARCIARENA, A.D. & HANSEN, J.E. 2009 b. Modificaciones a la evaluación del stock de caballa (*Scomber japonicus*) del sur de 39°S y a las recomendaciones de capturas máximas durante el año 2009. Inf. Téc. Of. INIDEP 35/09, 14 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.
- 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 BURATTI, C.C. 2010. Análisis de las capturas de caballa realizadas por la flota comercial durante 2009. Inf. Téc. Of. INIDEP 8/10, 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.
- 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. Ser. Inf. Téc. INIDEP, 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.; 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.; 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. Ser. Inf. Téc. INIDEP, 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". Período 1989-2003. Ser. Inf. Téc. INIDEP, 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.