INIDEP

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO PESQUERO

# INFORME TÉCNICO OFICIAL

| Número | Páginas | Dirección |
|---|---|---|
| 025 | 27 | DIRECCIÓN DE PESQUERIAS DE PECES |

Programa / Gabinete: Pesquerías de Peces Pelágicos

Fecha de aprobación: 20 de Julio de 2020

Actividad: PPEL 1: Estudio del rendimiento potencial de anchoíta bonaerense.

## DIAGNÓSTICO DE LA POBLACIÓN DE ANCHOÍTA BONAERENSE (*Engraulis anchoita*) Y ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA BIOLÓGICAMENTE ACEPTABLE DURANTE EL AÑO 2020.

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

| SOLICITADO POR | Institución | Cargo |
|---|---|---|
| | | |

| PREPARADO POR | PREPARADO POR | APROBADO POR |
|---|---|---|
| Firma: Nombre: ORLANDO, PAULA | | Jefe de Programa / Gabinete |
| Firma: Nombre: BURATTI, CLAUDIO CESAR | | Director de área |
| Firma: Nombre: GARCIARENA, A. DAVID | | Dra. CLAUDIA RAQUEL CAROZZA DIRECCIÓN NACIONAL INVESTIGACIÓN INIDEP Director Nacional de Investigación |
| | | Director del INIDEP |
| | | |

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

# DIAGNÓSTICO DE LA POBLACIÓN DE ANCHOÍTA BONAERENSE (*Engraulis anchoita*) Y ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA BIOLÓGICAMENTE ACEPTABLE DURANTE EL AÑO 2020.

Por

Paula Orlando[1], Claudio C. Buratti[1,2] y A. David Garciarena[1]

[1] Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP)
[2] Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP)

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

## Resumen

La anchoíta (*Engraulis anchoita*) tiene una amplia distribución en el Atlántico Sudoccidental desde los 23°S hasta los 48°S y un papel ecológico clave. En Argentina existen dos grupos poblacionales: el bonaerense y el patagónico. Se ajustó un modelo estadístico de capturas por edad para el efectivo bonaerense de anchoíta, que contempla la estacionalidad de la pesquería, a partir de datos sobre la pesca comercial entre los años 1990 y 2019 y de índices de abundancia derivados de campañas de investigación. Los resultados reiteran que la abundancia de la población manifiesta pequeñas o moderadas variaciones interanuales. La biomasa total a mediados de octubre habría alcanzado, según el año, entre 1 y 5 millones de toneladas, cuyo valor medio fue 2,3 millones; y su fracción reproductora, entre 0,6 y 3,6 toneladas (media= 1,72 millones). La abundancia de los reproductores de 2 años y mayores del último año con pesca superó los niveles que se determinaron como puntos de referencia objetivo ($BR_{66}$) y límite ($BR_{40}$) mediante un análisis de biomasa desovante por recluta. La variabilidad asociada a los resultados (abundancia, reclutamientos y estacionalidad de la explotación) se incorporó a un proceso de simulación en el cual la evolución del *stock* fue proyectada y se asumieron distintos valores de mortalidad por pesca (tasa *F*), constantes en años sucesivos. Se encontró de esa manera, el máximo valor de *F* que resultara compatible con la Regla de Control de Capturas de esta pesquería. La misma consiste en determinar la máxima tasa de mortalidad pesquera para el año inmediato en función de los valores obtenidos como Puntos Biológicos de Referencia sólo si causan un riesgo menor o igual al 10% de que la biomasa de reproductores en el primer año proyectado sea inferior al valor límite. De lo contrario, se determinaría la mayor tasa que no provocase ese efecto. Aunque en la actualidad la población puede considerarse "saludable", y con el objeto de mantener un criterio precautorio para el desarrollo gradual y controlado de aquellas pesquerías que puedan considerarse explotadas por debajo de su potencial, se recomienda que el máximo de capturas de anchoíta bonaerense, durante el presente año, sea fijado nuevamente en 120 mil t.

## Introducción

La anchoíta (*Engraulis anchoita*) tiene una amplia distribución en el Atlántico Sudoccidental, desde Cabo Frío en Brasil (23°S) hasta la Patagonia (48°S), y desde aguas someras hasta fuera del talud continental (Angelescu, 1982). Constituye un importante eslabón dentro de la cadena trófica marina, formando parte tanto de la dieta de peces como de aves y mamíferos marinos (Angelescu, 1982). En Argentina se reconocen dos *stocks* separados a los 41º S: el bonaerense y el patagónico (Brandhorst *et al*., 1974; Hansen *et al*., 1984). El primero, presente entre 34º y 41ºS, es explotado desde las primeras décadas del siglo XX.

En el año 2011 el Marine Stewardship Council (Consejo para la Gestión Pesquera Sostenible) certificó por cinco años a la pesquería de anchoíta bonaerense con red de arrastre de media agua como sostenible y bien administrada. En diciembre de 2016 la pesquería fue re-certificada hasta diciembre de 2021.

Los volúmenes de anchoíta bonaerense desembarcados por la flota comercial argentina durante 2019 totalizaron apenas 1.956 toneladas, valor mínimo de las últimas décadas. Como es habitual, la actividad pesquera presentó una marcada estacionalidad; dado que los mayores desembarques ocurrieron durante la primavera. Las capturas se efectuaron en dos áreas, una en proximidad a Necochea y otra en la zona sur del área denominada “El Rincón”. Participaron de la zafra 16 embarcaciones, casi la mitad que el año previo. Seis de ellas correspondieron a la categoría de flota denominada “rada”, cinco a la flota costera, e igual cantidad a la fresquera de altura. El principal puerto de desembarque fue Mar del Plata, aunque como sucede desde hace unos años, una fracción importante de las capturas fue desembarcada en el puerto de Quequén por cinco barcos de rada asentados allí (Garciarena *et al*., 2020).

Luego de diez años sin campañas de investigación sobre el *stock* bonaerense, en 2019 se realizó una prospección acústica que cubrió la zona comprendida entre los 34º S y los 41º 30’ S. La estimación puntual de biomasa total (que comprende ejemplares de edades cero a seis y mayores) fue de 2.318.868 t, valor que estuvo en el rango de estimaciones previas. Como es frecuente, la mayor parte de esa biomasa fue aportada por los ejemplares de longitudes pequeñas. Debido a que la evaluación se realiza con los grupos de edades uno en adelante, se obtuvo un valor de biomasa sin considerar al grupo cero, para así poder incorporarlo al vector de índices de evaluación directa de abundancia (Buratti *et al*., 2019). Debido a que la anchoíta es utilizada principalmente en la industria del salado y la conserva, son los ejemplares más grandes (mayores a unos 140 mm) los pretendidos en la pesca. Sin embargo, el 85% de la biomasa estimada estuvo conformada por individuos menores a aquellos de longitudes de interés comercial.

El diagnóstico de la población de anchoíta bonaerense se realizó mediante un modelo estadístico de captura por edad (Hansen *et al*., 2012 a 2015, Orlando *et al*., 2016 a 2019). En el siguiente informe se presentan los resultados correspondientes al ajuste del mencionado modelo a los datos del periodo 1990-2019. A partir de un análisis de biomasa reproductiva por recluta se determinaron los puntos biológicos de referencia objetivo y límite, y se los comparó con la estimación actual del *stock* en el contexto de la Regla de Control de Capturas adoptada. Se efectuó también un análisis del riesgo biológico que implicarían distintos niveles de esfuerzo pesquero sobre el efectivo. Sobre la base de estos análisis y adoptando un criterio precautorio, se recomienda la cifra que pudiera resultar un máximo de extracción durante el año 2020.

## Materiales y Métodos

### 1- Información utilizada

- **Desembarques**

Se utilizaron como datos de entrada al modelo: los rendimientos totales anuales ($Y_y$) y cuatrimestrales ($Y_{yi}$) expresados en toneladas, corregidos por descartes; y los valores del factor $\gamma(M)_y$ (Mertz y Myers, 1996), relacionado con la explotación estacional del recurso y con su mortalidad natural (Tabla 1). Además, los millones de ejemplares de anchoíta capturados por grupo de edad y por cuatrimestre fueron incluidos de modo de conocer la estructura poblacional (Tabla 2).

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

- **Datos biológicos**

Dos matrices de peso medio por grupo de edad y por año: la primera, una matriz de pesos medios (en gramos) de los individuos capturados, empleada para calcular los rendimientos predichos y compararlos con las observaciones (Tabla 3). La segunda, una matriz de peso medio teórico por edad en el *stock* hacia mediados de octubre de cada año y su promedio, consignados en la Tabla 4. La media del periodo se utilizó en los análisis de biomasa reproductiva por recluta y en las proyecciones realizadas para calcular riesgos de sobrepesca.

Ojiva de madurez: proporciones de individuos maduros por grupo de edad en la época principal de reproducción, constantes en todo el periodo de estudio, siendo $P_m$= 0,52 para la edad 1 y $P_m$= 1,00 para el resto de las edades (Hansen y Madirolas 1999).

Mortalidad natural: el valor de la tasa instantánea de mortalidad natural $M$ = 1,01 (Hansen, 2011) considerada constante para toda edad y año.

Parámetros de crecimiento: los parámetros $W_\infty$, $K$ y $t_0$ del último año con pesca sirvieron para calcular los pesos medios en el *stock* a inicios del mismo año ($\bar{W}^0_{t,2019}$) que, para los grupos de edad 1 a 6+, fueron respectivamente: 4,06; 10,63; 22,82; 32,19; 38,18 y 41,66 gramos. Con estas cantidades se calculó el número de reclutas en el estado virgen y la biomasa teórica total presente al 1º de enero de 2019.

- **Información auxiliar**

Se utilizaron las estimaciones de biomasa de doce campañas anuales de investigación, desarrolladas en los meses de mayor actividad reproductiva (octubre-noviembre) de los años 1993 a 1996, 1999, 2001 a 2004, 2006, 2008 y 2019; a saber: estimaciones de biomasa total (en realidad de los grupos de edad 1 a 6+) evaluada de forma acústica (Madirolas *et al*., 2013) y de biomasa del *stock* desovante estimada por el método de producción diaria de huevos (MPDH) con datos de las primeras once campañas (Pájaro *et al*., 2013). Debido a que el análisis de las muestras de plancton lleva un tiempo extenso en el laboratorio y dado el contexto actual de aislamiento obligatorio motivado por la pandemia de COVID-19, la estimación de biomasa reproductiva mediante el MPDH correspondiente a la campaña de 2019 no se ha realizado hasta el momento. En la Tabla 5 se detallan las mencionadas estimaciones.

## 2- Modelo de evaluación

En un modelo proyectivo, como son los modelos estadísticos de capturas por edades, el estado actual de un recurso se evalúa representando su dinámica a partir de “condiciones iniciales” de abundancia y estructura, aquí estimadas a comienzos del año 1990. El modelo se estructuró en seis grupos de edad, siendo el último un “grupo plus” integrado por ejemplares de seis y más años de edad ($t$ = 6+), mientras que el primero ($t$ = 1) corresponde a los reclutas que se incorporan al *stock* cada 1º de enero. La abundancia anual de reproductores se computa hacia mediados de octubre debido a que la actividad reproductiva de la anchoíta es máxima en primavera (Ciechomski y Sánchez, 1986).

El modelo se implementó en un código para *AD Model Builder* (ADMB) versión 10.0 (Fournier *et al*., 2012). Su ajuste consistió en la búsqueda del vector de parámetros que redujo al máximo las diferencias entre distintas observaciones independientes acerca del recurso y su pesca (biomasa total y reproductiva, rendimientos totales, proporciones de captura por edad) y los valores predichos. Para

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

ello, se minimizó el menos logaritmo de una única función objetivo, integrada por distintas componentes de verosimilitud.

Se aprovecharon varias de las ventajas del ADMB para trabajar con modelos no lineales con muchos parámetros: (a) se usa información previa para restringir el espacio de estimación de algunos parámetros, fijando límites para los mismos, lo cual ayuda a mejorar la estabilidad del modelo; (b) la minimización se desarrolla por etapas, indicando en cuáles ciertos parámetros se mantienen como fijos, mientras los valores de otros se varían, hasta que en la etapa final todos son incluidos incluidos; (c) se incluyen algunas desviaciones en vectores especiales, cuyos elementos se calculan con la condición de sumar cero; y (d) se evalúa la certidumbre de las estimaciones mediante perfiles de verosimilitud y aproximaciones de las distribuciones posteriores de las cantidades de mayor interés.

- **Condiciones iniciales: año 1990**

El análisis partió del número de ejemplares de cada edad supuestamente presentes en enero de 1990 ($N_{t,1990}$). Estos fueron los primeros valores a ser estimados mediante el ajuste, modelándose esta condición inicial de manera estocástica; suponiendo que el *stock* estaba sometido a explotación y no necesariamente en equilibrio. El reclutamiento del primer año del análisis se estimó con límites inferior y superior de entre aproximadamente 49.000 y 362.000 millones de ejemplares, respectivamente.

Los valores de las edades 2 a 6+ se aproximaron mediante una expresión análoga a la ecuación [1], pero a partir de las observaciones de 1990, tanto del coeficiente de estacionalidad $\gamma(M)_{1990}$ como de las capturas en millones de ejemplares de los distintos grupos $C_{t,1990.}$

$$N_{t,1990} = \left[N_{t-1,1990} - C_{t-1,1990} * \gamma_{(M)t,1990} * \exp(M)\right] * \exp(-M) * \exp(\delta_t) \qquad [1]$$

Los desvíos $\delta_t$ se introdujeron como errores de proceso, es decir, se permitió que las cantidades $N_{t,1990}$ estimadas pudieran alcanzar entre 0,37 y 2,72 veces el valor teórico correspondiente a cada grupo en la pseudo – cohorte. Además, se forzó a que la suma de los desvíos sumara cero.

- **Reclutamientos (1991 – 2019)**

Los reclutamientos de cada enero, a partir de 1991 y hasta el último año del periodo de estudio, fueron predichos considerando la biomasa teórica de reproductores presente a mediados de octubre del año inmediato anterior ($\widehat{BR}_{y-1}$) y una versión estocástica, con errores de proceso *log*-normalmente distribuidos, de la función *stock*-recluta de Ricker (1954), con la debida corrección (por ej., Maunder y Deriso, 2003) de dicha función:

$$N_{1,y} = \alpha * \widehat{BR}_{y-1} * \exp\left(-\beta\, \widehat{BR}_{y-1}\right) * \exp(\varepsilon_y - 0{,}5 * \sigma_R^2) \qquad [2]$$

donde los valores del factor de error $\varepsilon_y$ se buscaron en la segunda fase de minimización, con la condición de sumar cero y dentro del intervalo -1,792 y 1,792. De acuerdo con información previa, se consideró que el desvío de los logaritmos de los reclutamientos fuera $\sigma_R$ = 0,7.

Las constantes de la función de reclutamiento se determinaron usando la siguiente re-parametrización expresada en las ecuaciones [3] y [4] (Cubillos, 1994; Cubillos *et al*., 2002). En las mismas, $\tau$ ("tau") es un factor de proporcionalidad entre la biomasa de reproductores producida por

COPIA ELECTRÓNICA NO VIDA

recluta en ausencia de pesca y la producida a nivel del reclutamiento teórico máximo, ecuación [5], adoptándose valores *a priori* de 0,77 para la media y 0,10 para el desvío.

$$\alpha = \frac{\exp(1) * Rv}{\tau * BRV} \qquad [3]$$

$$\beta = \frac{ln\left[\frac{\exp(1)}{\tau}\right]}{BRV} \qquad [4]$$

$$\tau = \frac{Rv * BR_{Rmax}}{BRV * R_{max}} \qquad [5]$$

La biomasa total virgen (*BTV*) a principios de un supuesto año pretérito fue otro parámetro del modelo requerido para determinar las constantes de la función *stock* – recluta. Su estimación se limitó dentro del intervalo de 985.000 y 7.275.000 toneladas.

Fue necesario obtener los números relativos de cada edad ($n_t$) por recluta de edad 1, en el equilibrio y sin pesca, para luego conocer el número de reclutas en estado virgen (*Rv*). Dichos números se calcularon usando expresiones simples de disminución exponencial:

$$nt = 1 \qquad t = 1$$

$$nt = 1 * \exp[-M * (t-1)] \qquad t = 2, 3, 4, 5 \qquad [6]$$

$$nt = 1 * \exp[-M * (t-1)]/[1 - \exp(-M)] \qquad t = 6+$$

Y luego, la cantidad absoluta de reclutas al estado virgen ($Rv = N_{1eq}$) se obtuvo con la ecuación [7], tomando como pesos medios por edad a inicios del año ($\bar{w}_t^0$) los correspondientes a enero de 2018.

$$Rv = \frac{BTV}{\sum_{t=1}^{6+} \bar{w}_t^0 * n_t} \qquad [7]$$

La abundancia de los restantes grupos de edad en la población virgen ($N_{t>1,eq}$) resultó de calcular $N_{t,eq} = Rv * nt$

La biomasa reproductiva virgen (*BRV*) a mediados de octubre se obtuvo a partir de:

$$BRV = \sum_{t=1}^{6+} \bar{w}_t' * m_t * N_{t,eq} * exp(-\frac{9,5}{12} * M) \qquad [8]$$

donde: $\bar{w}_t'$ es el peso de los ejemplares de cada edad al 15 de octubre de cada año, y $m_t$ la proporción de ejemplares maduros.



COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

- **Dinámica del recurso**

La tasa de mortalidad natural $M$ = 1,01 fue constante para todos los años y todas las edades (Hansen, 2011). Por otro lado, la tasa de mortalidad por pesca se consideró separable en dos componentes a estimar por el modelo: un factor para cada año del periodo del diagnóstico ($F_y$), y una componente dependiente de la edad (factor de explotación, $S_t$), que se asumió constante desde 1990 hasta 2013. Los valores $S_t$ de los años siguientes fueron estimados de diferente manera debido a cambios observados en las proporciones de individuos por grupos de edad en las capturas, que sugerirían un cambio en el patrón de explotación. Las capturas teóricas por grupo de edad de cada año se calcularon mediante una ecuación (Mertz y Myers, 1996) que permitió reflejar el conocido desplazamiento de los pulsos de pesca hacia el final del año.

- **Edades 2 a 6+ (1991 – 2019)**

El número de ejemplares de los grupos de edad mayores que 1 al inicio de cada año entre 1991 y 2019 se calculó mediante la ecuación [7] de Mertz y Myers (1996):

$$\left.\begin{aligned} N_{t,y} &= \left[N_{t-1,y-1} - \hat{C}_{t-1,y-1}\,\gamma(M)_{y-1}\exp(M)\right]\exp(-M) && t = 2, 3, 4, 5 \\ N_{6+,y} &= \left[N_{5,y-1} - \hat{C}_{5,y-1}\,\gamma(M)_{y-1}\exp(M)\right]\exp(-M) \\ &\quad + \left[N_{6+,y-1} - \hat{C}_{6+,y-1}\,\gamma(M)_{y-1}\exp(M)\right]\exp(-M) && t = 6+ \end{aligned}\right\} \quad [9]$$

donde $\gamma(M)_y$ es un parámetro anual de estacionalidad, considerado constante para todos los grupos de edad e incorporado como dato de ingreso de la misma forma que la tasa *M.*

Los valores teóricos de capturas anuales por edad, en millones de individuos, fueron:

$$\hat{C}_{t,y} = N_{t,y}\left[\exp(-M) - \exp(-M - F_y\,S_t)\right] / \gamma(M)_y \qquad [10]$$

Las estimaciones de las componentes anuales de la tasa de mortalidad por pesca, $F_y$, se limitaron al rango de 0,001 a 0,09 y se efectuaron en la primera fase de minimización de la función objetivo. Para calcular los elementos edad – específicos ($S_t$) del patrón de explotación de 1990 a 2013 se procedió de la siguiente manera: (a) se limitó al intervalo entre 0,5 y 4 años la estimación[1] del parámetro $t_{50}$, la edad cuyo factor de explotación sería la mitad del correspondiente al grupo totalmente reclutado a la pesquería; (b) se restringió al intervalo 0,5 – 2,5 años la estimación de la diferencia $t_{95} - t_{50}$; y (c) se consideró al grupo de edad 5 como totalmente reclutado (es decir, $S_5$ = 1,00). El factor correspondiente a la edad 6+ ($S_{6+}$) se estimó como parámetro independiente, con límites en 0,01 y 1,00, que permitió que la curva de explotación tuviera un aspecto acampanado o asintótico (SEDAR, 2013). Así, entre las edades 1 y 4 se ajustó una función logística equivalente a la empleada por Arteaga y Cubillos (2008):

$$S_t = \frac{1}{\left\{1 + \exp\left[-ln(19) * \frac{(t - t_{50})}{(t_{95} - t_{50})}\right]\right\}} \qquad t = 1, 2, 3, 4 \qquad [11]$$

[1] Durante la segunda fase de minimización de la función objetivo.



COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

Debido a cambios en las proporciones por edad en las capturas (Figura 1), es que los factores de explotación que se habrían experimentado entre 2014 y 2019 ($S_{t,(2014\ a\ 2019)}$) se estimaron sin responder a ninguna función, pero limitados al intervalo 0,001 a 1,00.

Las proporciones teóricas por edad [12] se obtuvieron a partir de las predicciones de las capturas anuales en millones de ejemplares por grupo de edad, calculadas según la ecuación [10].

$$\hat{p}_{t,y} = \hat{C}_{t,y} \ / \sum_{t=1}^{6+} \hat{C}_{t,y} \qquad [12]$$

Además, la suma producto de las predicciones mencionadas con los pesos medios observados por edad en las capturas comerciales ($\overline{w}^{c}_{t,y}$), permitió obtener los valores de las capturas totales en toneladas:

$$\hat{Y}_y = \sum_{t=1}^{6+} \left(\hat{C}_{t,y} * \overline{w}^{c}_{t,y}\right) \qquad [13]$$

- **Otros valores estimados**

- Se estimó la biomasa poblacional total a inicios del último año con pesca ($\hat{B}^{0}_{2019}$), que se utilizó como punto de de partida para las proyecciones y para analizar los riesgos asociados a distintas intensidades de explotación. En el cálculo intervienen las cantidades teóricas de peces en el mar en ese momento del año y los pesos correspondientes:

$$\hat{B}^{0}_{2019} = \sum_{t=1}^{6+} \overline{w}^{0}_{t,2019} * N_{t,2019} \qquad [14]$$

- También se estimó la biomasa al 15 de octubre de cada año ($\hat{B}'_y$), porque su comparación con estimaciones acústicas integró la función objetivo:

$$\widehat{B'}_y = \sum_{t=1}^{6+} \overline{w}'_{t,y} * N'_{t,y} \qquad [15]$$

donde $\overline{w}'_{t,y}$ corresponde a los pesos a mediados de octubre y $N'_{t,y}$ a los ejemplares sobrevivientes al 15 de octubre de cada año, que se predijeron mediante un procedimiento análogo al de Pope (1972): las capturas teóricas por edad ($\hat{C}_{i,t,y}$) durante los dos primeros cuatrimestres se asumieron cobradas instantáneamente a mediados de los mismos. En cambio, se asumió que a un mes y medio del comienzo del último tercio del año (esto es, al 15 de octubre), sólo se habría extraído la mitad de las capturas predichas para ese cuatrimestre. Durante los periodos previos a cada pulso de remoción habría actuado exclusivamente la mortalidad natural $M$. Para la obtención de esos números de interés se aplicó la siguiente expresión:

$$N'_{t,y} = \{[\, N_{t,y} * \exp(-M * 2/12) - \hat{C}_{1,t,y}\,] * \exp(-M * 4/12) - \hat{C}_{2,t,y}\,\} * \exp\,(-M * 3{,}5/12) - \hat{C}_{3,t,y}/2$$

[16]



COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

los valores $\hat{C}_{i,t,y}$ se obtuvieron de multiplicar las predicciones de capturas anuales por edad (ecuación [10]) por las proporciones de las mismas observadas en cada cuatrimestre (Tabla 2).

- Por último, se estimó la abundancia anual de reproductores en el pico de actividad sexual ($\widehat{BR}_y$), ya que la comparación de estos valores con las observaciones de campañas efectuadas mediante el método de producción diaria de huevos (MPDH) integró la función objetivo. La biomasa se logró multiplicando cada término del segundo miembro de la ecuación [15] por la proporción ($m_t$), constante entre años, de ejemplares maduros por grupo de edad:

$$\widehat{BR}_y = \sum_{t=1}^{6+} \bar{w}'_{t,y} * N'_{t,y} * m_t \qquad [17]$$

- **Funciones de verosimilitud**

La función objetivo que se minimizó con el ADMB fue la suma de cinco términos: $L_1$ a $L_5$. Según el modelo, los errores de la captura respondieron a una distribución normal, mientras que la distribución de la composición por edades ajustada de los datos de pesca se asumió multinomial. A su vez, se supuso que las distribuciones de las estimaciones de biomasa total y de reproductores fuera *log*-normal.

***L₁*:** Rendimientos totales anuales

$$-L_1 = \frac{\sum_{y=1990}^{2019} \left(\frac{Y_y - \hat{Y}_y}{\hat{Y}_y}\right)^2}{2 * \sigma_Y^2} \qquad [18]$$

***L₂*:** Composición por edad de la captura

$$-L_2 = -k_{t,y} \sum_{y=1990}^{2019} g_y \sum_{t=1}^{6+} p_{t,y} * \ln(\hat{p}_{t,y}) \qquad [19]$$

***L₃*:** Biomasas totales estimadas por métodos acústicos

$$-L_3 = \frac{\sum_{y=1990}^{2019} \left[\ln(B_y) - \ln(\hat{B}'_y)\right]^2}{2\,\sigma_B^2} \qquad [20]$$

***L₄*:** Biomasas de reproductores estimadas por el método de producción diaria de huevos

$$-L_4 = \frac{\sum_{y=1990}^{2019} \left[\ln(BR_y) - \ln(\widehat{BR}_y)\right]^2}{2\,\sigma_{BR}^2} \qquad [21]$$

***L₅*:** Parámetro $\tau$ (“tau”)

$$-L_5 = \frac{(\hat{\tau} - 0{,}77)^2}{2\,\sigma_\tau^2} \qquad [22]$$

$L_1$: como aproximación de la desviación estándar $\sigma_Y$ (ecuación [18]) se usó el coeficiente de variabilidad de los valores observados de rendimiento (Tabla 1, $CV_Y$ = 0,513).

$L_2$: $k_{t,y}$ es el “tamaño efectivo de muestra”, considerado igual a 120, que fue ordinariamente el mínimo número de individuos que integraron las muestras, (adoptado desde Hansen *et al.,* 2012). Dado que las observaciones de edad a partir del año 2001 merecen mayor confianza que las anteriores (Orlando *et al*., 2016), las diferencias anuales entre las proporciones de captura por edad fueron ponderadas por un factor $g_y$ calculado como:

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

$$g_y = Y * \frac{g'_y}{\sum_{y=1990}^{2019} g'_y}$$

$g'_y$ = 1 para y = 1990, 1991,…, 2000;
$g'_y$ = 9 para y = 2001, 2002,…, 2019; [23]
$Y$ = 30 (número de años)

Términos $L_3$ y $L_4$: los coeficientes de variabilidad aritméticos, tanto de las estimaciones acústicas de biomasa (Tabla 5, $CV_B$ = 0,444) como de las estimaciones por el MPDH (Tabla 5, $CV_{BR}$ = 0,4508), se tomaron como base para aproximar la desviación estándar $\sigma_B$ en escala logarítmica (Sampson y Yin, 1998):

$$\sigma_B = \sqrt{\ln(1 + CV_B^2)} \quad [24]$$

- **Confiabilidad de las estimaciones**

Se generaron perfiles de verosimilitud de las estimaciones y se aproximaron las distribuciones posteriores bayesianas usando el procedimiento de cadenas de Markov mediante la técnica de Montecarlo (MCMC). Se realizaron 2,5 millones de simulaciones, guardándose una de cada 200 para evaluar la trayectoria de las estimaciones. Los parámetros analizados por estos procedimientos fueron: $\tau$, $\alpha$ y $\beta$ de la función *stock* – recluta, y la edad $t_{50}$ del factor de explotación.

- **Puntos Biológicos de Referencia**

Los puntos biológicos de referencia consideran la biomasa de reproductores de los grupos de edad 2 y mayores ($BR_{2+}$), y se establecieron mediante un análisis de biomasa reproductiva por recluta *BR/R* (Goodyear, 1993). En este análisis, las proporciones de sobrevivientes de los grupos de edad superiores a 1 al comienzo de cada año se calcularon con la fórmula [9]; las capturas por edad con la [10]; y el aporte de cada grupo a la biomasa reproductiva en octubre con las ecuaciones [16] y [17]. Se ingresaron las medias históricas de dichas cantidades en las expresiones que involucraron los reclutamientos, el parámetro $\gamma(M)_y$ o las proporciones por cuatrimestre en las capturas.

Se obtuvieron, a partir de magnitudes crecientes de la tasa de mortalidad pesquera, valores de:

- Biomasa por recluta de reproductores de los grupos de edad 2 y mayores, igual a 66% de la generada en ausencia de pesca $[BR_{2+}/R]_{F66}$, que resulta de aplicar una tasa $F_{ref} = F_{66}$, tal que $[BR/R]_{Fref}/[BR/R]_{F=0}$ = 0,66.

- Biomasa por recluta de reproductores de los grupos de edad 2 y mayores igual a 40% de la generada en ausencia de pesca. Este valor, designado como $[BR_{2+}/R]_{F40}$, surgiría de aplicar una $F_{ref} = F_{40}$, tal que $[BR/R]_{Fref}/[BR/R]_{F=0}$ = 0,40.

- Biomasa absoluta de reproductores de los grupos de edad 2 y mayores ($BR_{2+}$) asumiendo que se aplica la tasa $F_{66}$, puede denominarse simplemente $BR_{66}$, y se escogió como **Punto de Referencia Objetivo** para esta población.

- Biomasa absoluta de reproductores $BR_{2+}$, si se asume que se aplica la tasa $F_{40}$. Dicho nivel de *stock* parental, $BR_{40}$, se adoptó como **Punto de Referencia Límite**.

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

- Biomasa absoluta de reproductores $BR_{2+}$ generada por la tasa $F_{75}$, tal que $[BR/R]_{Fref}$ / $[BR/R]_{F=0}$ = 0,75. Este valor ha sido sugerido por el Marine Stewardship Council (Agnew *et al*., 2014) como punto de referencia objetivo para las especies clave de bajo nivel trófico, como lo es la anchoíta.

- **Proyecciones**

Luego del diagnóstico del *stock,* y una vez establecidos los PBR, se realizaron simulaciones en las que la evolución a futuro del *stock* resultó de experimentar magnitudes crecientes de mortalidad por pesca, incluyendo $F$ = 0 y los valores $F_{75}$, $F_{66}$ y $F_{40}$ determinados mediante el análisis de biomasa reproductiva por recluta. Los valores de $F$ se mantuvieron constantes durante un periodo de proyección de 16 años (2020-2035), modelándose una pesquería estacional y partiendo de las estimaciones del modelo estadístico referidas a comienzos del año 2019: número de ejemplares por edad $N_{t,2019}$ ($t$ = 1, 2, …, 6) y sus coeficientes de variación; y la biomasa total ($\hat{B}_{2019}$) y su desviación estándar. Se promediaron, para cada valor de $F$ probado, los resultados anuales de diez mil simulaciones ($j$) de las cantidades de interés que se enumeran a continuación: rendimiento, abundancia de reproductores ($BR_{2+}$) y el riesgo de que ésta fuera inferior al nivel límite, $BR_{40.}$

En cada simulación se procedió de la manera siguiente:

1) De una distribución normal con media = $\hat{B}^0_{2019}$ y desvío = $S_{\hat{B}^0_{2019}}$ se extrajo un valor aleatorio de biomasa inicial ($B_{aleat,j}$).

2) La fuerza relativa de las distintas clases anuales presentes a inicios del año 2019 se estimó generando, para cada grupo de edad, un número aleatorio $N^*_{t,j}$ de distribución *log*-normal. Esta tuvo a ln($N_{t,2019}$) como media, y a $\sigma_t$ como desvío en escala logarítmica, que fue aproximado a partir de los valores $CV_{Nt2019}$ y una expresión equivalente a la ecuación [24].

3) Se estimó la biomasa teórica ($B^*_{2019,j}$) de esta población al 1º de enero de 2019 efectuando:

$$B^*_{2019,j} = \sum_{t=1}^{6+} N^*_{t,j} * \bar{w}^0_{t,2019} \qquad [25]$$

4) Con estos valores se generaron nuevas cantidades de ejemplares al inicio del último año con pesca $N_{t,2019,j}$, expandiendo por edad la proporción en peso de los números aleatoriamente generados al valor de la biomasa simulada por azar e independientemente:

$$N_{t,2019,j} = \frac{N^*_{t,j} * B_{aleat,j}}{B^*_{2019,j}} \qquad [26]$$

5) Se calculó la tasa de mortalidad $F_{2019,j}$ que habría rendido, a partir de estos números por edad, las capturas que efectivamente se registraron ese año.

6) Se generaron reclutamientos ($N_{1,y,j}$) para los años 2020 a 2035, asumiendo una distribución *log*-normal, con los siguientes parámetros: media igual al promedio de los logaritmos de los reclutamientos de los últimos once años por el modelo estadístico, y desviación estándar de dichos logaritmos, esto es:

$$\overline{\ln \hat{N}_1} = \frac{\sum_{y=2009}^{2019} \ln(N_{1,y})}{11} \qquad [27]$$

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

$$\sigma_{\ln N_1} = \sqrt{\frac{\left(\sum \ln N_{1,y} - \overline{\ln N_1}\right)^2}{27-1}} \qquad y = 2009, \ldots, 2019 \qquad [28]$$

7) De la misma manera, se generaron valores anuales aleatorios, normalmente distribuidos, del parámetro $\gamma(M = 1{,}01)_{y,j}$, sobre la base de la media y desviación estándar observadas en todo el periodo de diagnóstico. Las proporciones cuatrimestrales en las capturas futuras se calcularon a partir de las relaciones registradas entre ambas variables durante el periodo.

8) Las cantidades restantes que describen la dinámica y la pesca del recurso (número de ejemplares de edad $t$ >1 al comienzo de cada año, biomasa total y de reproductores en octubre, y rendimientos) se calcularon empleando las ecuaciones equivalentes a las empleadas en el modelo de capturas por edad.

## Resultados

- **Diagnóstico**

En el periodo 1990-2019 los rendimientos medios de anchoíta bonaerense obtenidos por la flota comercial fueron aproximadamente 17.000 toneladas, los que representaron una pequeña fracción de las estimaciones de abundancia disponibles. Como ya fuera mencionado, en el año 2019 se registró el menor valor de captura, con sólo 1.900 toneladas. El patrón estacional de la pesquería, con capturas modestas durante el otoño y mayores volúmenes hacia el tercer cuatrimestre del año, se observó también en esta oportunidad: el 3% del total desembarcado se capturó en el segundo cuatrimestre, y el 97% restante en el tercero. Las relaciones encontradas entre la proporción de la captura anual observada en cada cuatrimestre ($PC_{i,y}$; $i$ = 1 a 3) y el valor anual del parámetro permitieron utilizar en las simulaciones las siguientes funciones:

$$\left.\begin{array}{ll} PC_{1,y} = 1 - (PC_{2,y} + PC_{3,y}) & \\ & \\ PC_{2,y} = 0 & \text{si } \gamma(M)_y > 0{,}837 \\ PC_{2,y} = 3{,}5126 - 4{,}1631 * \gamma(M)_y & \text{si } \gamma(M)_y \leq 0{,}837 \\ & \\ PC_{3,y} = 1 & \text{si } \gamma(M)_y > 0{,}837 \\ PC_{3,y} = -\,2{,}5042 + 4{,}1494 * \gamma(M)_y & \text{si } \gamma(M)_y \leq 0{,}837 \end{array}\right\} \qquad [29]$$

Los rendimientos totales, que son las observaciones con mayor certidumbre acerca de la pesquería, mostraron un muy buen ajuste al modelo (Figura 2).

No existió un ajuste tan estrecho a las evaluaciones directas: fue particularmente laxo en relación con la biomasa total obtenida en los cruceros acústicos. La realización de la campaña de investigación en el año 2019 posibilitó la obtención de un índice de abundancia reciente en la historia de explotación del efectivo. Esto se evidenció en el estrecho ajuste en el último año del periodo de estudio (Figura 3A). Los valores de biomasa de reproductores también registraron diferencias, aunque en menor medida, con las biomasas de reproductores resultantes del método de producción de huevos (Figura 3B). Sin embargo, queda aún pendiente la estimación de la biomasa reproductiva a partir del estudio de las muestras tomadas durante el crucero de 2019, cuyo resultado tendría un efecto para el ajuste de aquellos obtenidos por el modelo de evaluación.

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

Por otra parte, las proporciones de captura por edad (Figura 4) mostraron buen ajuste en todos los grupos de edad.

Los parámetros estimados por el modelo fueron 76. La Tabla 6 incluye los parámetros más relevantes de la estimación y sus correspondientes desvíos estándar, a saber: la proporción "tau" relacionada con la curva *stock* - recluta; la biomasa total virgen (*BTV*); el número de reclutas de edad 1 en 1990 ($N_{1,1990} = Rv$) y las componentes anuales $F_y$ de las tasas de mortalidad pesquera del periodo 1990 – 2019. Quizás los resultados más destacables sean las bajas magnitudes de $F_y$ (promedio = 0,036), muy inferiores a la tasa $M$ = 1,01, confirmando que el *stock* se encuentra sub-explotado.

En la Tabla 7 se muestran los estadísticos referidos a cantidades de interés calculadas a partir de los parámetros de la tabla anterior: *BRV*, constantes de la función *stock* – recluta, factores de explotación específicos por edad, predicciones del número de ejemplares por grupo de edad al 1º de enero de 2019 y su biomasa total.

Afortunadamente, la última campaña que proporcionó una evaluación directa de anchoíta bonaerense por el método hidroacústico fue en el año 2019. Esto permitió una mejor calibración del modelo, ya que el mismo posee un punto de ajuste hacia el fin del periodo de evaluación, permitiendo reducir la incertidumbre asociada a la falta de estimaciones puntuales de abundancia durante una década. Los resultados del presente diagnóstico se encuentran dentro de los límites obtenidos en estudios previos: la biomasa total a mediados de octubre varió entre 1,0 y 5 millones de toneladas (media = 2,3 millones); y el *stock* reproductor durante esa estación fluctuó entre 0,78 y 3,68 millones de toneladas (media = 1,72 millones). Aplicando los dos patrones de explotación (1990-2013 y 2014-2019) determinados en el modelo, la biomasa explotable estimada promedió unas 600 mil toneladas. La biomasa total estimada a inicios del último año con pesca, es decir en enero de 2019, fue de 2.114.000 toneladas (Tabla 7); mientras que la correspondiente a la presente en octubre fue de 1.700.000 toneladas Este último valor está en concordancia al estimado de manera directa, que arrojó un valor de 1.800.000 toneladas.

Los peces pelágicos pequeños como la anchoíta exhiben notables fluctuaciones en el reclutamiento, debido principalmente a variaciones en las condiciones ambientales (Patterson, 1992): se ha observado dicha fluctuación en los reclutamientos de anchoíta bonaerense y un aumento en los últimos dos años. El valor medio de reclutas en el periodo de estudio fue de 210.000 millones. Los estimados en los años más recientes, que hasta el año pasado presentaban estabilidad y se los consideraba menos robustos debido a que no había valores de ajuste desde 2008, ahora pudieron considerarse con mayor robustez y certidumbre (Figura 5). El promedio de los logaritmos de los reclutas ($\overline{\ln N_1} =$ 11,94) y su desviación estándar ($\sigma$ln ($N_{1,2009\text{-}2019}$) = 0,56) fueron incorporados en las proyecciones.

- **Confiabilidad de las estimaciones**

Los perfiles de verosimilitud, así como las aproximaciones normales de los parámetros: $\tau$, $\alpha$ y $\beta$ de la función *stock* – recluta y la edad $t_{50}$ del factor de explotación del modelo, no mostraron grandes discrepancias con las distribuciones posteriores aproximadas por el procedimiento MCMC (Figura 6). El caso contrario podría indicar que una u otra de las estimaciones fueran inadecuadas (Fournier, 2011).

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

- **Puntos biológicos de referencia y proyecciones**

Mediante el análisis de biomasa desovante por recluta, se estimó que en ausencia de pesca la biomasa reproductora (de los grupos de edad dos y mayores) generada por cada recluta a la edad 1 sería $[BR/R]_{F=0}$ = 6,037 g. El 66% de esa biomasa sobreviviría al aplicarse la $F_{66}$ = 1,1, y el 40% si la tasa fuera $F_{40}$ = 3. La abundancia absoluta de reproductores, suponiendo que sobreviviese una biomasa reproductiva por recluta a la tasa $F_{66}$ y que el reclutamiento fuese igual al promedio de los últimos once años (2009-2019), constituiría el **Punto Biológico de Referencia Objetivo** $BR_{66}$ = 698.000 toneladas deseable para esta población. En las mismas condiciones de reclutamientos, la biomasa que corresponde al **Punto Biológico de Referencia Límite**, de peligro, se calculó en 481.000 t. El valor de biomasa de reproductores correspondiente de aplicar la tasa $F_{75}$ fue de 780.000 toneladas. El valor actual (octubre de 2019) estimado por el modelo estadístico fue ($BR_{2+}$) = 800.000 t, lejos del límite. Es importante destacar que el valor estimado de manera directa, es decir, a partir de la campaña de evaluación realizada en octubre de 2019, fue de 860.000 toneladas.

Los puntos de referencia indicados se analizaron en el contexto de una Regla de Control de Capturas similar a la empleada en pesquerías australianas (SESSF, 2010). La Regla de Control de Captura propuesta para la pesquería de anchoíta bonaerense (Hansen *et al*., 2012) consiste en determinar la máxima tasa de mortalidad pesquera para el año inmediato ($F_{final}$) en función de los valores obtenidos como Puntos Biológicos de Referencia, según los siguientes condicionales:

$F_{Obj} = 0$; si $BR_{actual} \leq BR_{40}$
$F_{Obj} = F_{66}$; si $BR_{actual} \geq BR_{66}$
$F_{Obj} = F_{66} * [(BR_{actual} / BR_{40}) - 1]$; si $BR_{66} \geq BR_{actual} \geq BR_{40}$

Adicionalmente, se proponía que la $F_{Obj}$ resultante fuera adoptada sólo si causara un riesgo menor o igual al 10% de que la biomasa de reproductores ($BR_{2+}$) en el primer año proyectado fuera inferior al valor límite $BR_{40}$. De lo contrario, se determinaría la mayor tasa ($F_{seg}$) que no provocase ese efecto:

$F_{final} = F_{Obj}$; si $F_{Obj}$ => (Riesgo $BR_{2+,\,y+1} < BR_{40}) \leq 0{,}10$
$F_{final} = F_{seg}$; si $F_{Obj}$ => (Riesgo $BR_{2+,\,y+1} < BR_{40}) > 0{,}10$

Entonces, la recomendación de la captura máxima sería el rendimiento predicho al actuar esa tasa final sobre el *stock* presente a inicios del año al cual se refiere la recomendación, esto es: $CBA_{y+1} = Y\,[(F_{final};\, B_{y+1})]$.

La biomasa de reproductores de dos y más años en la última temporada reproductiva ($BR_{2+,2019}$) ha sido estimada en 800.000, lejos del nivel límite. Por lo tanto, la regla propuesta indicaría aceptar la $F_{Obj} = F_{66}$ = 1,1. Sin embargo, según las proyecciones que incorporan incertidumbre, si se aplicara dicha tasa se obtendría una captura de unas 305 mil toneladas, pero con una riesgo muy superior al 10% de que la biomasa reproductiva en el año siguiente ($BR_{2+,2020}$) sea inferior al nivel límite $BR_{40}$ = 481.000 (Figura 7). Las simulaciones mostraron que un riesgo aceptable se asocia con una $F_{seg}$ = 0,4, que rendiría una captura anual de 130.000 toneladas (Figura 8).

Las últimas temporadas de pesca han tenido particularidades como: aumento del porcentaje de ejemplares de edad 1 en las capturas, ausencia de los ejemplares de edad 6 y zafras de corta duración. A su vez, los volúmenes desembarcados de anchoíta argentina han alcanzado en 2019 un mínimo histórico, y desde hace varios años los pescadores no hallan ejemplares de gran tamaño (mayores a 150 mm) en la cantidad que solían hacerlo (Garciarena et al., 2020; Orlando et al.; 2020). Por lo expuesto, resulta conveniente continuar aplicando un criterio precautorio y desarrollar en forma gradual y controlada la pesquería que se halla por debajo de su potencial (Berkes et al., 2001; Caddy y

COPIA ELECTRÓNICA NO OFICIAL

Mahon, 1995; FAO, 1995). Se sugiere así, mantener la recomendación de captura de anchoíta bonaerense de 120 mil toneladas.

**Bibliografía**

Agnew DJ, Gutiérrez NL, Stern-Pirlot A & Hoggarth DD. 2014. The MSC experience: developing an operational certification standard and a market incentive to improve fishery sustainability. ICES J. of Mari. Sci. 71(2): 216–225.

Angelescu V. 1982. Ecología trófica de la anchoíta del Mar Argentino (Engraulidae, *Engraulis anchoita*). Parte II. Alimentación, comportamiento y relaciones tróficas en el ecosistema. Contrib. Inst. Nac. Inves. Desarr. Pesq. (Mar del Plata), Nº 409, 83 pp.

Arteaga M. & Cubillos LE. 2008. Análisis de los cambios de abundancia de sardina común (*Strangomera bentincki*): estructura año calendario *versus* año biológico. Lat. Am. J. Aquat. Res., (36) 2: 137-151.

Berkes F, Mahon R, McConney P, Pollnac R & Pomeroy R. 2001. Managing Small-scale Fisheries. Alternative Directions and Methods. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canada, 308 pp.

Brandhorst W, Castello JP, Cousseau MB & Capezzani DA. 1974. Evaluación de los recursos anchoíta (*Engraulis anchoita*) frente a la Argentina y Uruguay. VIII. Desove, crecimiento, mortalidad y estructura de la población. Physis, Buenos Aires, Secc. A, 33(86): 37-58.

Buratti CC, Orlando P, Castro Machado FJ, Temperoni B, Silva RI, Ascurra M, Cubiella A. 2019. Evaluación del *stock* bonaerense de anchoíta en la primavera de 2019. Inf Camp INIDEP Nº 31/2019. 29 p.

Caddy JF & Mahon R. 1995. Reference points for fisheries management. FAO Fisheries Tech. Pap., 347, 83 pp.

Ciechomski JD de & Sánchez RP. 1986. Problemática del estudio de huevos y larvas de anchoíta (*Engraulis anchoita*), en relación con la evaluación de sus efectivos pesqueros. Reseña de veinte años de investigación. Publ. Com. Téc. Mix. Fr. Marít., Montevideo, 1(1): 93 -109.

Cubillos L. 1994. Estimating the parameters of the stock – recruitment model of Ricker from a yield - per - recruit model in data – limited situations. Fish. Res. 20, 229 - 242.

Cubillos LA, Hernández A, Sepúlveda & Arcos DF. 2002. Equilibrium yield – curve analysis through an analytic age-structured production model: A sensitivity study for the Chilean jack mackerel fishery. Fish. Res. 54, 395 - 407.

FAO, 1995. Precautionary approach to fisheries. Part 1: Guidelines on the precautionary approach to capture fisheries and species introductions. FAO Fisheries Technical Paper 350, Part 1, 52 pp.

Fournier D. 2011. An Introduction to AD Model Builder for Use in Nonlinear Modeling and Statistics Version 10.0. http://www.admb-project.org/documentation/ manuals.

Fournier DA, Skaug HJ, Ancheta J, Ianelli J, Magnusson A, Maunder MN, Nielsen A & Sibert J. 2012. AD Model Builder: using automatic differentiation for statistical inference of highly parameterized complex nonlinear models. Optim. Methods Softw. 27: 233-249.

Garciarena AD, Orlando P. & Buratti CC. 2020. Anchoíta argentina: resultados de la temporada de pesca 2019 y estimación de algunos parámetros biológico-pesqueros de interés. Inf. Téc. Of. INIDEP Nº 17, 14 pp.

Goodyear CP. 1993. Spawning *stock* biomass per recruit in fisheries management: foundation and current use. In: S. J. Smith, J. J. Hunt and D. Rivard (ed.) Risk evaluation and biological reference points for fisheries management. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 120: 67-81.

Hansen JE. 2011. Parámetros biológicos relevantes para las pesquerías de anchoíta argentina (*Engraulis anchoita*). Estimaciones resultantes de reunir datos de campañas de investigación (años 1993 a 2008) y de muestras de capturas comerciales (1986 a 2009). Serie INIDEP Inf. Téc., 82, 18 pp.

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

Hansen JE, Garciarena AD & Buratti CC. 2012. Dinámica de la población de anchoíta bonaerense entre los años 1990 y 2011, de acuerdo con un modelo estadístico de capturas por edad. Inf. Téc. Of. INIDEP Nº 14, 28 pp.

Hansen JE, Garciarena AD & Buratti CC. 2013. Modelo estadístico de capturas por edad ajustado a datos sobre anchoíta bonaerense entre 1990 y 2012. Inf. Téc. Of. INIDEP Nº 15, 29 pp.

Hansen JE, Garciarena AD, Buratti CC & Orlando P. 2014. Dinámica poblacional de la anchoíta bonaerense entre 1990 y 2013. Recomendaciones de capturas máximas en el año 2014. Inf. Téc. Of. INIDEP 6, 32 pp.

Hansen JE, Garciarena AD, Buratti CC & Orlando P. 2015. Dinámica de la población y pesca comercial de anchoíta bonaerense entre 1990 y 2014. Recomendaciones de capturas máximas en el año 2015. Inf. Téc. Of. INIDEP 7, 31 pp.

Hansen JE, Gru DL & Cousseau MB. 1984. Características poblacionales de la anchoíta (*Engraulis anchoita*) del Mar Argentino. Parte I. El largo medio al primer año de vida, crecimiento y mortalidad. Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero 4: 21 - 48.

Hansen JE. & Madirolas A. 1999. Algunos resultados de las campañas primaverales de evaluación anual de anchoíta bonaerense efectuadas entre 1993 y 1996. Ser. Inf. Téc. INIDEP, 28. Contrib. INIDEP 1110, 18 pp.

Madirolas A, Cabreira A & Hansen JE. 2013. Revisión y síntesis de las estimaciones acústicas de abundancia de anchoíta argentina (*Engraulis anchoita*) efectuadas entre los años 1993 y 2008. Rev. Invest. y Des. Pesq., Mar del Plata, 23: 35 -48.

Maunder MN & Deriso RB. 2003. Estimation of recruitment in catch-at-age models. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 60: 1204–1216.

Mertz G. & Myers RA. 1996. An extended cohort analysis: incorporating the effect of seasonal catches. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 53, 159-163.

Orlando P, Buratti CC & Garciarena AD. 2016. Dinámica de la población de anchoíta bonaerense entre 1990 y 2015. Recomendaciones de capturas máximas en el año 2016. Inf. Téc. Of. INIDEP 19, 29 pp.

Orlando P, Buratti CC & Garciarena AD. 2017. Anchoíta bonaerense: dinámica poblacional entre 1990 y 2016. Recomendación de captura máxima en el año 2017. Inf. Téc. Of. INIDEP 26, 28 pp.

Orlando P, Buratti CC & Garciarena AD. 2018. Dinámica de la población de anchoíta bonaerense entre 1990 y 2017. Recomendaciones de capturas máximas en el año 2018. Inf. Téc. Of. INIDEP 29, 30 pp.

Orlando P, Buratti CC & Garciarena AD. 2019. Diagnóstico de la población de anchoíta bonaerense (*Engraulis anchoita*), y estimación de captura biológicamente aceptable durante el año 2019. Inf. Téc. Of. INIDEP 24, 29 pp.

Orlando P, Buratti CC, Garciarena AD. 2020. Factor de condición y composición en longitudes y edades de la anchoíta (*Engraulis anchoita*) desembarcada en las temporadas de pesca del periodo 2001-2019. Inf Invest INIDEP N° 24/2020. 13 p.

Pájaro M, Hansen JE, & Leonarduzzi E. 2013. Applying the nonparametric bootstrap tech-nique to assess the accuracy of biomass estimations of the Northern stock (34º - 41ºS) of Argentine anchovy (*Engraulis anchoita*) by the Daily Egg Production Method. Period 1993-2008. Rev. Invest. y Des. Pesq., Mar del Plata, 23: 69 -86.

Patterson K. 1992. Fisheries for small pelagic species: an empirical approach to management targets. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2, 321-338.

Pope JG. 1972. An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. Res. Bull. Int. Comm. Northwest Atl. Fish. 9: 65–74.

Ricker WE. 1954. Stock and recruitment. J. Fish.Res.Bd. Can., 11: 559-623.

Sampson DD & Yin Y. 1998. A Monte Carlo Evaluation of the Stock Synthesis Assessment Program. Fishery Stock Assessment Models, Alaska Sea Grant College Program, AK-SG-98-01: 315-338.

SEDAR. 2013. SEDAR 36 – South Atlantic Snowy Grouper Stock Assessment Report. SEDAR, North Charleston SC. 145 pp.

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

## Tablas

Tabla 1. Toneladas totales capturadas de anchoíta bonaerense, corregidas por descarte. Periodo 1990 - 2019.

| | Captura por cuatrimestre ($i$) | | | Rend. Total | Parám. estacional |
|---|---|---|---|---|---|
| Año ($y$) | 1 | 2 | 3 | $Y_y$ (t) | $\gamma(M)_y$ |
| 1990 | 132 | 1.178 | 10.299 | 11.609 | 0,816 |
| 1991 | 36 | 1.787 | 17.945 | 19.768 | 0,822 |
| 1992 | 263 | 2.440 | 16.096 | 18.800 | 0,808 |
| 1993 | 0 | 2.485 | 10.692 | 13.176 | 0,800 |
| 1994 | 385 | 3.368 | 14.541 | 18.294 | 0,792 |
| 1995 | 142 | 928 | 18.043 | 19.113 | 0,830 |
| 1996 | 128 | 1.901 | 16.350 | 18.379 | 0,817 |
| 1997 | 0 | 1.449 | 20.651 | 22.100 | 0,829 |
| 1998 | 209 | 1.080 | 18.582 | 19.871 | 0,828 |
| 1999 | 7 | 106 | 8.913 | 9.026 | 0,842 |
| 2000 | 0 | 1 | 12.860 | 12.860 | 0,845 |
| 2001 | 0 | 3.304 | 11.205 | 14.509 | 0,790 |
| 2002 | 0 | 902 | 20.254 | 21.155 | 0,835 |
| 2003 | 12 | 12.919 | 15.372 | 28.302 | 0,735 |
| 2004 | 1 | 11.343 | 28.986 | 40.330 | 0,777 |
| 2005 | 5 | 9.503 | 29.490 | 38.999 | 0,786 |
| 2006 | 1 | 13.260 | 33.858 | 47.119 | 0,777 |
| 2007 | 0 | 4.672 | 20.313 | 24.895 | 0,800 |
| 2008 | 1 | 8.029 | 13.280 | 21.309 | 0,754 |
| 2009 | 0 | 2.250 | 25.997 | 28.247 | 0,826 |
| 2010 | 10 | 4.772 | 17.929 | 22.711 | 0,794 |
| 2011 | 2 | 3.559 | 16.399 | 19.960 | 0,802 |
| 2012 | 0 | 2.868 | 12.263 | 15.131 | 0,799 |
| 2013 | 3 | 5.108 | 12.923 | 18.033 | 0,777 |
| 2014 | 12 | 201 | 13.568 | 13.781 | 0,841 |
| 2015 | 1 | 5.910 | 6.617 | 12.528 | 0,731 |
| 2016 | 0 | 108 | 8.626 | 8.734 | 0,842 |
| 2017 | 34,7 | 166 | 8.217 | 8.417 | 0,838 |
| 2018 | 0 | 0 | 8.524 | 8.524 | 0,850 |
| 2019 | 0 | 63 | 1.892 | 1.955 | 0,837 |

COPIA ELECTRONICA INIDEP

Tabla 2. Millones de ejemplares de anchoíta bonaerense capturados por grupo de edad y cuatrimestre, incluyendo descarte. Periodo 1990 – 2019.

| Año (*y*) | Edad 1 | | | Edad 2 | | | Edad 3 | | | Edad 4 | | | Edad 5 | | | Edad 6+ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cuatrimestre (*i*) | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 1990 | 0,1 | 0,7 | 5,7 | 1,4 | 12,4 | 108,4 | 2,2 | 20,0 | 175,2 | 0,7 | 5,8 | 50,7 | 0,1 | 1,2 | 10,4 | 0,0 | 0,1 | 1,1 |
| 1991 | 0,1 | 4,9 | 48,7 | 0,2 | 9,6 | 96,7 | 0,6 | 30,4 | 305,8 | 0,3 | 14,6 | 146,3 | 0,0 | 1,4 | 14,0 | 0,0 | 0,2 | 1,8 |
| 1992 | 0,4 | 3,4 | 22,7 | 3,0 | 27,4 | 180,5 | 5,6 | 51,6 | 340,2 | 0,8 | 7,6 | 49,8 | 0,2 | 1,5 | 10,1 | 0,1 | 0,5 | 3,4 |
| 1993 | 0,0 | 2,3 | 9,7 | 0,0 | 17,1 | 73,7 | 0,0 | 26,6 | 114,4 | 0,0 | 22,4 | 96,5 | 0,0 | 8,8 | 37,7 | 0,0 | 0,8 | 3,6 |
| 1994 | 3,0 | 25,8 | 111,2 | 4,2 | 36,6 | 158,2 | 4,6 | 40,6 | 175,1 | 2,1 | 18,3 | 78,9 | 0,7 | 6,2 | 26,6 | 0,3 | 2,6 | 11,1 |
| 1995 | 0,5 | 3,3 | 64,2 | 2,0 | 13,1 | 253,7 | 1,7 | 11,2 | 217,0 | 0,7 | 4,5 | 86,6 | 0,2 | 1,1 | 21,9 | 0,0 | 0,3 | 4,9 |
| 1996 | 1,4 | 21,4 | 183,6 | 1,2 | 18,1 | 155,5 | 1,4 | 20,8 | 178,9 | 0,6 | 8,4 | 72,4 | 0,1 | 2,0 | 17,1 | 0,0 | 0,4 | 3,7 |
| 1997 | 0,0 | 1,0 | 13,6 | 0,0 | 25,5 | 363,8 | 0,0 | 22,6 | 322,1 | 0,0 | 5,1 | 72,4 | 0,0 | 0,4 | 6,1 | 0,0 | 0,2 | 3,3 |
| 1998 | 0,3 | 1,8 | 30,4 | 0,9 | 4,5 | 76,9 | 4,4 | 22,7 | 390,1 | 0,8 | 4,3 | 74,4 | 0,2 | 0,8 | 13,1 | 0,0 | 0,1 | 2,0 |
| 1999 | 0,0 | 0,3 | 26,9 | 0,1 | 1,5 | 124,1 | 0,1 | 1,5 | 121,9 | 0,1 | 0,8 | 64,7 | 0,0 | 0,1 | 11,3 | 0,0 | 0,0 | 1,9 |
| 2000 | 0,0 | 0,0 | 10,9 | 0,0 | 0,0 | 274,6 | 0,0 | 0,0 | 155,4 | 0,0 | 0,0 | 32,9 | 0,0 | 0,0 | 7,3 | 0,0 | 0,0 | 1,2 |
| 2001 | 0,0 | 4,5 | 15,4 | 0,0 | 41,8 | 141,6 | 0,0 | 44,3 | 150,2 | 0,0 | 19,1 | 64,9 | 0,0 | 6,6 | 22,5 | 0,0 | 1,0 | 3,5 |
| 2002 | 0,0 | 0,1 | 2,4 | 0,0 | 12,4 | 277,9 | 0,0 | 12,6 | 282,3 | 0,0 | 4,6 | 103,3 | 0,0 | 1,6 | 35,4 | 0,0 | 0,3 | 7,7 |
| 2003 | 0,0 | 6,0 | 7,2 | 0,1 | 68,3 | 81,3 | 0,3 | 284,9 | 339,0 | 0,1 | 77,6 | 92,3 | 0,0 | 16,8 | 20,0 | 0,0 | 2,9 | 3,4 |
| 2004 | 0,0 | 3,4 | 8,7 | 0,0 | 82,0 | 209,4 | 0,0 | 112,4 | 287,2 | 0,0 | 151,9 | 388,1 | 0,0 | 33,5 | 85,7 | 0,0 | 2,7 | 6,8 |
| 2005 | 0,0 | 1,7 | 5,2 | 0,0 | 40,8 | 126,7 | 0,1 | 211,1 | 655,2 | 0,0 | 48,5 | 150,6 | 0,0 | 25,8 | 79,9 | 0,0 | 2,5 | 7,9 |
| 2006 | 0,0 | 4,6 | 11,7 | 0,0 | 49,9 | 127,3 | 0,0 | 121,3 | 309,8 | 0,0 | 240,0 | 612,9 | 0,0 | 28,2 | 72,1 | 0,0 | 5,2 | 13,3 |
| 2007 | 0,0 | 2,5 | 10,8 | 0,0 | 75,1 | 326,6 | 0,0 | 35,0 | 152,3 | 0,0 | 24,3 | 105,8 | 0,0 | 37,5 | 163,2 | 0,0 | 1,6 | 6,7 |
| 2008 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 89,3 | 147,7 | 0,0 | 126,3 | 208,9 | 0,0 | 32,5 | 53,8 | 0,0 | 21,0 | 34,7 | 0,0 | 10,9 | 18,1 |
| 2009 | 0,0 | 0,3 | 3,5 | 0,0 | 33,4 | 385,9 | 0,0 | 32,6 | 377,0 | 0,0 | 11,9 | 137,8 | 0,0 | 2,7 | 30,8 | 0,0 | 1,1 | 12,5 |
| 2010 | 0,0 | 0,9 | 3,3 | 0,1 | 37,4 | 140,4 | 0,2 | 88,1 | 331,1 | 0,1 | 36,1 | 135,5 | 0,0 | 8,1 | 30,4 | 0,0 | 0,8 | 2,9 |
| 2011 | 0,0 | 3,1 | 14,1 | 0,0 | 40,0 | 184,5 | 0,0 | 39,0 | 179,6 | 0,0 | 35,4 | 163,0 | 0,0 | 9,0 | 41,6 | 0,0 | 1,5 | 6,8 |
| 2012 | 0,0 | 3,6 | 15,4 | 0,0 | 61,3 | 262,0 | 0,0 | 36,5 | 155,9 | 0,0 | 12,1 | 51,6 | 0,0 | 4,2 | 17,8 | 0,0 | 1,1 | 4,6 |
| 2013 | 0,0 | 3,3 | 8,4 | 0,0 | 72,6 | 183,6 | 0,1 | 89,1 | 225,3 | 0,0 | 29,0 | 73,5 | 0,0 | 7,3 | 18,4 | 0,0 | 1,6 | 4,1 |
| 2014 | 0,1 | 1,4 | 92,1 | 0,4 | 6,5 | 435,2 | 0,1 | 1,8 | 119,4 | 0,0 | 0,2 | 15,2 | 0,0 | 0,1 | 4,1 | 0,0 | 0,0 | 1,0 |
| 2015 | 0,0 | 15,1 | 16,9 | 0,1 | 226,0 | 253,0 | 0,0 | 39,6 | 44,4 | 0,0 | 2,4 | 2,6 | 0,0 | 0,9 | 1,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2016 | 0,0 | 0,3 | 23,9 | 0,0 | 2,4 | 193,6 | 0,0 | 1,3 | 104,9 | 0,0 | 0,5 | 36,4 | 0,0 | 0,1 | 6,4 | 0,0 | 0,0 | 1,2 |
| 2017 | 0,1 | 0,6 | 28,6 | 0,8 | 3,9 | 193,1 | 0,4 | 2,0 | 96,6 | 0,1 | 0,6 | 28,6 | 0,0 | 0,1 | 7,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2018 | 0,0 | 0,0 | 120,2 | 0,0 | 0,0 | 166,3 | 0,0 | 0,0 | 86,4 | 0,0 | 0,0 | 39,6 | 0,0 | 0,0 | 12,1 | 0,0 | 0,0 | 0,1 |
| 2019 | 0,0 | 1,3 | 37,7 | 0,0 | 1,5 | 43,5 | 0,0 | 0,6 | 18,4 | 0,0 | 0,2 | 5,8 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

Tabla 3. Pesos medios (gramos) de anchoíta bonaerense, por grupo de edad y por año en las capturas. Periodo 1990 – 2019.

| | Pesos medios por edad (gramos) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Año (*y*) | Edad 1 | Edad 2 | Edad 3 | Edad 4 | Edad 5 | Edad 6+ |
| 1990 | 8,93 | 22,79 | 29,80 | 40,12 | 45,24 | 51,63 |
| 1991 | 13,73 | 20,27 | 29,90 | 37,23 | 45,48 | 49,03 |
| 1992 | 13,24 | 19,96 | 28,52 | 37,34 | 46,46 | 47,29 |
| 1993 | 12,12 | 20,69 | 30,45 | 37,96 | 45,73 | 49,30 |
| 1994 | 13,24 | 19,93 | 30,40 | 36,78 | 44,45 | 45,97 |
| 1995 | 16,21 | 20,67 | 32,27 | 39,93 | 47,77 | 51,62 |
| 1996 | 15,03 | 22,72 | 33,60 | 41,62 | 49,33 | 51,80 |
| 1997 | 17,32 | 23,15 | 28,49 | 33,54 | 40,01 | 43,83 |
| 1998 | 20,05 | 24,06 | 32,13 | 38,92 | 45,68 | 48,12 |
| 1999 | 7,92 | 19,79 | 26,47 | 37,78 | 42,44 | 48,72 |
| 2000 | 13,55 | 23,04 | 31,21 | 36,03 | 39,54 | 49,60 |
| 2001 | 16,14 | 23,58 | 29,90 | 33,50 | 36,24 | 39,65 |
| 2002 | 16,46 | 25,05 | 29,07 | 33,36 | 36,70 | 39,67 |
| 2003 | 13,62 | 21,47 | 28,31 | 33,03 | 37,46 | 39,44 |
| 2004 | 17,64 | 21,66 | 28,75 | 32,49 | 36,93 | 39,51 |
| 2005 | 10,57 | 22,93 | 27,61 | 33,94 | 37,63 | 40,61 |
| 2006 | 10,77 | 18,49 | 27,75 | 31,78 | 38,64 | 39,22 |
| 2007 | 9,38 | 21,40 | 28,67 | 32,61 | 37,34 | 42,05 |
| 2008 | - | 21,03 | 29,99 | 33,68 | 38,74 | 41,46 |
| 2009 | 9,17 | 22,63 | 29,40 | 32,45 | 36,99 | 42,80 |
| 2010 | 8,84 | 21,87 | 27,69 | 33,05 | 35,38 | 38,40 |
| 2011 | 11,32 | 21,58 | 27,70 | 33,50 | 37,29 | 39,92 |
| 2012 | 10,70 | 20,97 | 26,24 | 32,35 | 37,92 | 37,76 |
| 2013 | 9,94 | 20,98 | 26,56 | 29,79 | 35,40 | 38,68 |
| 2014 | 12,61 | 19,73 | 26,35 | 31,98 | 36,54 | 40,08 |
| 2015 | 9,74 | 20,38 | 25,44 | 30,89 | 34,29 | 40,08 |
| 2016 | 10,64 | 20,95 | 26,82 | 33,19 | 38,66 | 40,20 |
| 2017 | 9,9 | 21,6 | 26,91 | 30,92 | 35,00 | 40,20 |
| 2018 | 8,54 | 20,59 | 27,44 | 30,76 | 36,66 | 43,00 |
| 2019 | 8,6 | 16,91 | 25,24 | 29,66 | 35,62 | 37,81 |

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

Tabla 4. Pesos medios teóricos (en gramos) por edad en el *stock* de anchoíta bonaerense al 15 de octubre de cada año y valores medios del periodo 1990 – 2019.

| | Pesos medios por edad (gramos) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Año (*y*) | Edad 1 | Edad 2 | Edad 3 | Edad 4 | Edad 5 | Edad 6+ |
| 1990 | 10,10 | 20,00 | 29,86 | 38,42 | 45,31 | 50,60 |
| 1991 | 9,40 | 19,01 | 28,64 | 37,01 | 43,74 | 48,90 |
| 1992 | 9,01 | 18,72 | 28,40 | 36,70 | 43,28 | 48,23 |
| 1993 | 8,52 | 18,64 | 28,38 | 36,32 | 42,26 | 46,48 |
| 1994 | 8,54 | 18,52 | 28,07 | 35,80 | 41,56 | 45,63 |
| 1995 | 9,28 | 18,83 | 27,49 | 34,24 | 39,09 | 42,42 |
| 1996 | 8,93 | 18,99 | 28,49 | 36,13 | 41,76 | 45,73 |
| 1997 | 10,71 | 19,72 | 27,90 | 34,45 | 39,34 | 42,85 |
| 1998 | 9,83 | 21,31 | 31,51 | 39,15 | 44,38 | 47,81 |
| 1999 | 9,95 | 17,79 | 24,93 | 30,72 | 35,11 | 38,30 |
| 2000 | 11,05 | 20,09 | 28,77 | 36,20 | 42,13 | 46,68 |
| 2001 | 11,81 | 20,24 | 27,38 | 32,79 | 36,63 | 39,26 |
| 2002 | 10,82 | 19,39 | 27,18 | 33,45 | 38,18 | 41,60 |
| 2003 | 8,79 | 18,98 | 28,17 | 35,15 | 40,01 | 43,25 |
| 2004 | 8,64 | 19,78 | 28,85 | 34,90 | 38,60 | 40,77 |
| 2005 | 10,18 | 19,88 | 27,93 | 33,66 | 37,45 | 39,86 |
| 2006 | 9,85 | 19,20 | 27,72 | 34,47 | 39,43 | 42,91 |
| 2007 | 10,23 | 19,21 | 27,14 | 33,27 | 37,67 | 40,71 |
| 2008 | 8,12 | 17,00 | 25,23 | 31,72 | 36,44 | 39,72 |
| 2009 | 10,61 | 19,76 | 27,68 | 33,69 | 37,93 | 40,81 |
| 2010 | 9,74 | 19,71 | 27,48 | 32,61 | 35,73 | 37,57 |
| 2011 | 10,02 | 20,24 | 28,40 | 33,93 | 37,40 | 39,48 |
| 2012 | 9,87 | 19,62 | 27,48 | 32,90 | 36,34 | 38,45 |
| 2013 | 10,46 | 19,11 | 26,38 | 31,72 | 35,40 | 37,83 |
| 2014 | 9,93 | 18,75 | 26,52 | 32,49 | 36,75 | 39,67 |
| 2015 | 10,52 | 18,48 | 25,64 | 31,39 | 35,71 | 38,83 |
| 2016 | 9,96 | 19,58 | 27,76 | 33,74 | 37,79 | 40,42 |
| 2017 | 10,67 | 19,42 | 26,83 | 32,34 | 36,16 | 38,70 |
| 2018 | 10,79 | 18,78 | 26,31 | 32,69 | 37,77 | 41,65 |
| 2019 | 8,11 | 20,44 | 30,54 | 37,18 | 41,13 | 43,38 |
| Media | 9,81 | 19,31 | 27,77 | 34,31 | 39,02 | 42,28 |

COPIA ELECTRONICA INIDEP

Tabla 5. Evaluaciones directas de abundancia (en toneladas) de anchoíta bonaerense. $B_y$ = Biomasa de edades 1 a 6+ estimada por métodos acústicos en campañas de investigación (a partir de Madirolas *et al*., 2013); $BR_y$ = Biomasa de reproductores estimada por el método de producción diaria de huevos (tomado de Pájaro *et al*., 2013). S/D: año sin datos.

| Año | $B_y$ | $BR_y$ |
|---|---|---|
| 1990 | S/D | S/D |
| 1991 | S/D | S/D |
| 1992 | S/D | S/D |
| 1993 | 1.431.139 | 842.302 |
| 1994 | 2.697.438 | 672.121 |
| 1995 | 2.761.444 | 1.303.547 |
| 1996 | 5.321.268 | 1.831.895 |
| 1997 | S/D | S/D |
| 1998 | S/D | S/D |
| 1999 | 1.739.660 | 2.006.287 |
| 2000 | S/D | S/D |
| 2001 | 1.947.603 | 1.538.710 |
| 2002 | 2.013.592 | 3.666.293 |
| 2003 | 1.806.139 | 2.047.005 |
| 2004 | 2.973.942 | 2.840.202 |
| 2005 | S/D | S/D |
| 2006 | 1.484.248 | 1.847.413 |
| 2007 | S/D | S/D |
| 2008 | 2.827.639 | 2.103.410 |
| 2009 | S/D | S/D |
| 2010 | S/D | S/D |
| 2011 | S/D | S/D |
| 2012 | S/D | S/D |
| 2013 | S/D | S/D |
| 2014 | S/D | S/D |
| 2015 | S/D | S/D |
| 2016 | S/D | S/D |
| 2017 | S/D | S/D |
| 2018 | S/D | S/D |
| 2019 | 1.831.829 | S/D |

COPIA ELECTRONICA INIDEP

Tabla 6. Estimaciones de los parámetros y sus desvíos estándar.

| Parámetro | Estim. | D. est. | Parámetro | Estim. | D. est. |
|---|---|---|---|---|---|
| *ln* $\tau$ (“tau”) | -0,3 | 0,25 | $F_{2007}$ | 0,0564 | 0,025 |
| *ln BTV* | 15,1 | 0,3 | $F_{2008}$ | 0,0473 | 0,028 |
| *ln* $N_{1,1990}$ *(Rv)* | 11,7 | 0,4 | $F_{2009}$ | 0,0604 | 0,042 |
| $F_{1990}$ | 0,0272 | 0,016 | $F_{2010}$ | 0,0502 | 0,040 |
| $F_{1991}$ | 0,0460 | 0,026 | $F_{2011}$ | 0,0832 | 0,055 |
| $F_{1992}$ | 0,0446 | 0,024 | $F_{2012}$ | 0,0318 | 0,027 |
| $F_{1993}$ | 0,0348 | 0,018 | $F_{2013}$ | 0,0492 | 0,030 |
| $F_{1994}$ | 0,0522 | 0,026 | $F_{2014}$ | 0,0366 | 0,031 |
| $F_{1995}$ | 0,0422 | 0,020 | $F_{2015}$ | 0,0267 | 0,015 |
| $F_{1996}$ | 0,0252 | 0,012 | $F_{2016}$ | 0,0295 | 0,012 |
| $F_{1997}$ | 0,0212 | 0,010 | $F_{2017}$ | 0,0445 | 0,012 |
| $F_{1998}$ | 0,0138 | 0,007 | $F_{2018}$ | 0,0671 | 0,012 |
| $F_{1999}$ | 0,0085 | 0,004 | $F_{2019}$ | 0,0137 | 0,094 |
| $F_{2000}$ | 0,0117 | 0,005 | $S_{1,14\text{-}19}$ | 0,025 | 0,18 |
| $F_{2001}$ | 0,0124 | 0,006 | $S_{2,14\text{-}19}$ | 0,719 | 0,671 |
| $F_{2002}$ | 0,0148 | 0,007 | $S_{3,14\text{-}19}$ | 0,401 | 0,270 |
| $F_{2003}$ | 0,0173 | 0,008 | $S_{4,14\text{-}19}$ | 0,251 | 0,104 |
| $F_{2004}$ | 0,0327 | 0,015 | $S_{5,14\text{-}19}$ | 0,214 | 0,150 |
| $F_{2005}$ | 0,0341 | 0,015 | $S_{6,14\text{-}19}$ | 0,099 | 0,091 |
| $F_{2006}$ | 0,0722 | 0,029 | | | |

Tabla 7. Estimaciones de cantidades de interés calculadas a partir de los parámetros del modelo.

| Cantidad | Estim. | D. est. | Cantidad | Estim. | D. est. | Cantidad | Estim. | D. est. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *BRV* | 2.087.400 | 258.280 | $N_{1,2019}$ | 286.144 | 133.700 | $S_{1,90\text{-}13}$ | 0,005 | 0,00081 |
| *Alfa (α)* | 0,434 | 0,3 | $N_{2,2019}$ | 36.880 | 15.251 | $S_{2,90\text{-}13}$ | 0,225 | 0,01481 |
| *Beta (β)* | 6,04E-07 | 1,05E-07 | $N_{3,2019}$ | 8.188 | 3.112 | $S_{3,90\text{-}13}$ | 0,9398 | 0,01026 |
| $\hat{B}^0_{2019}$ | 2.114.300 | 834.160 | $N_{4,2019}$ | 4.684 | 1.628 | $S_{4,90\text{-}13}$ | 0,9988 | 0,00036 |
| | | | $N_{5,2019}$ | 2.705 | 960 | $S_{5,90\text{-}13}$ | 1 | 0,00 |
| | | | $N_{6,2019}$ | 2.862 | 900 | $S_{6,90\text{-}13}$ | 0,23427 | 0,02085 |

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

**Figuras**

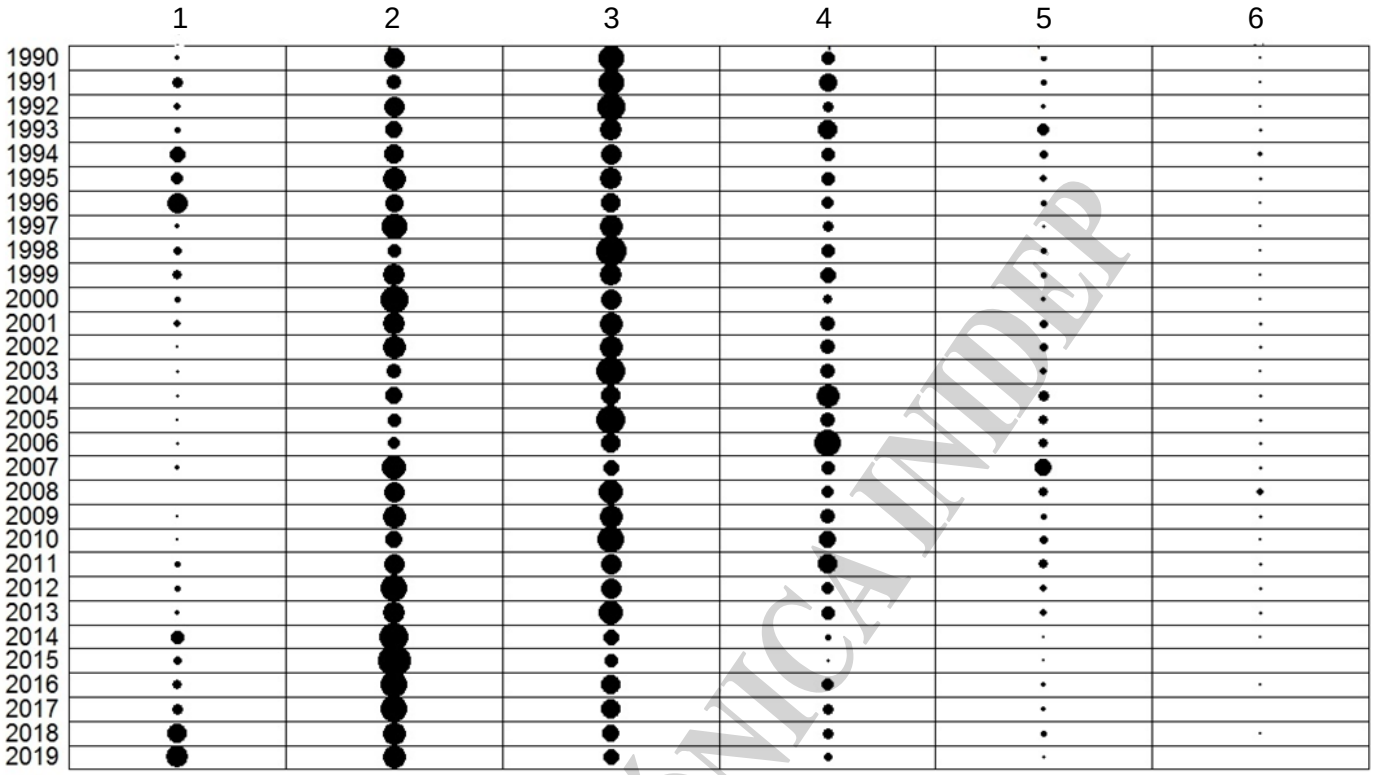


Figura 1. Proporciones observadas por edad en las capturas. Anchoíta bonaerense, periodo 1990-2019.

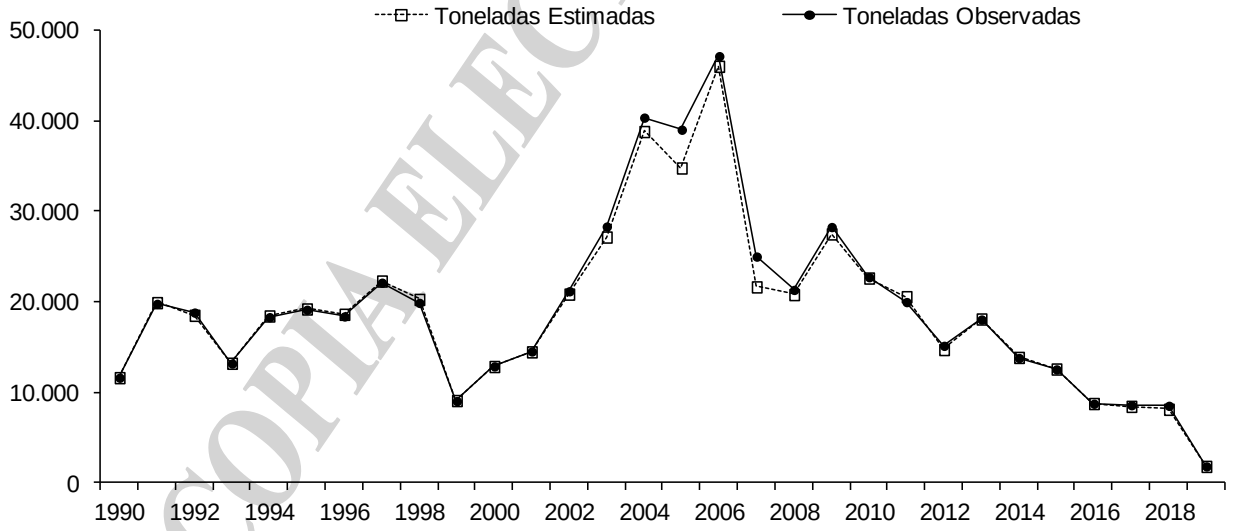


Figura 2. Rendimientos totales anuales de anchoíta bonaerense (en toneladas), y estimaciones de los mismos por el modelo estadístico de captura por edad ajustado.

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

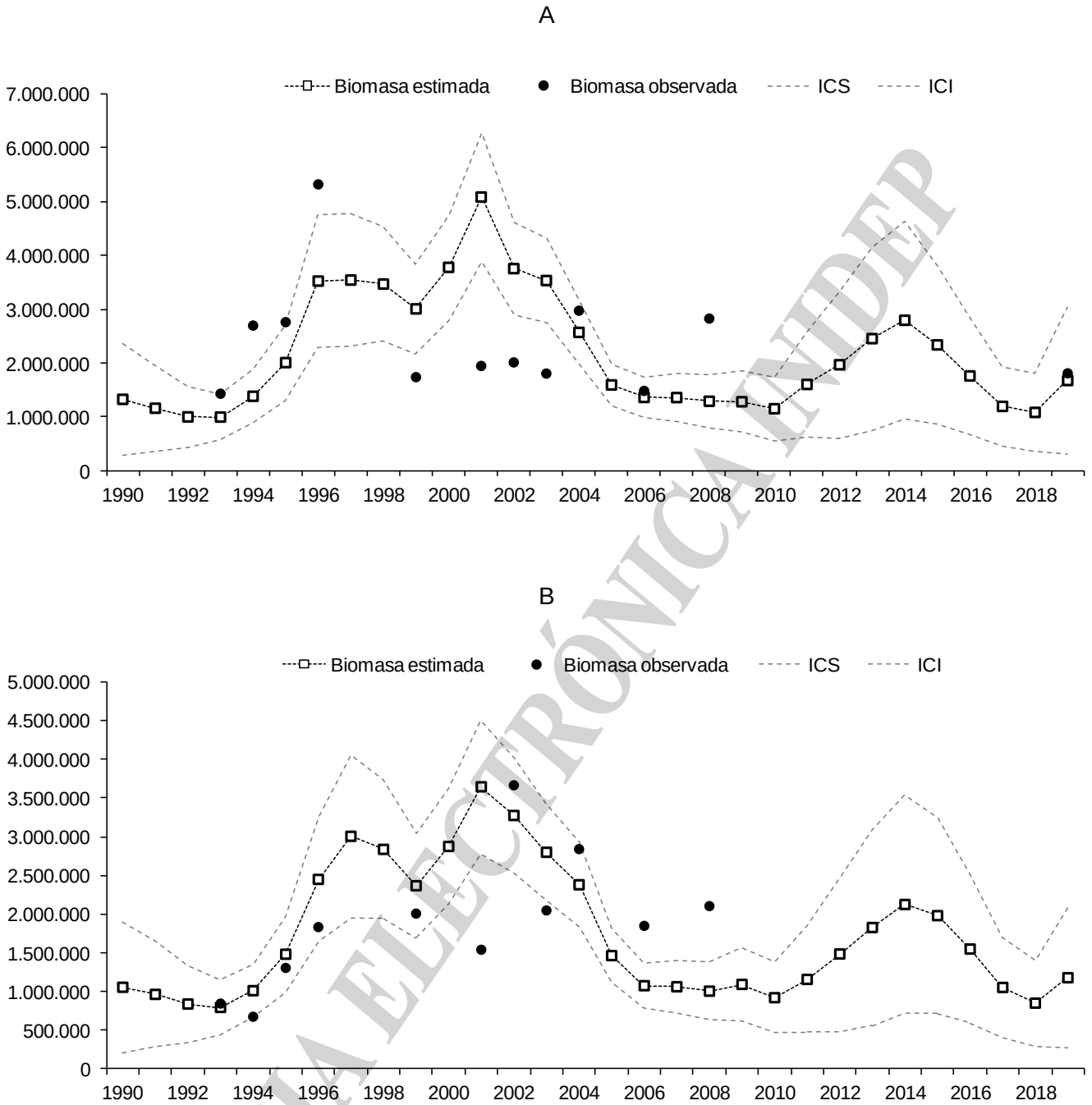


Figura 3. Trayectorias de las estimaciones del modelo de A: biomasas totales (t) de anchoíta bonaerense y B: biomasas de reproductores (círculos llenos), comparadas con las evaluaciones acústicas directas (línea punteada) y las observaciones del método de producción diaria de huevos (MPDH) (cuadrados vacíos).

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

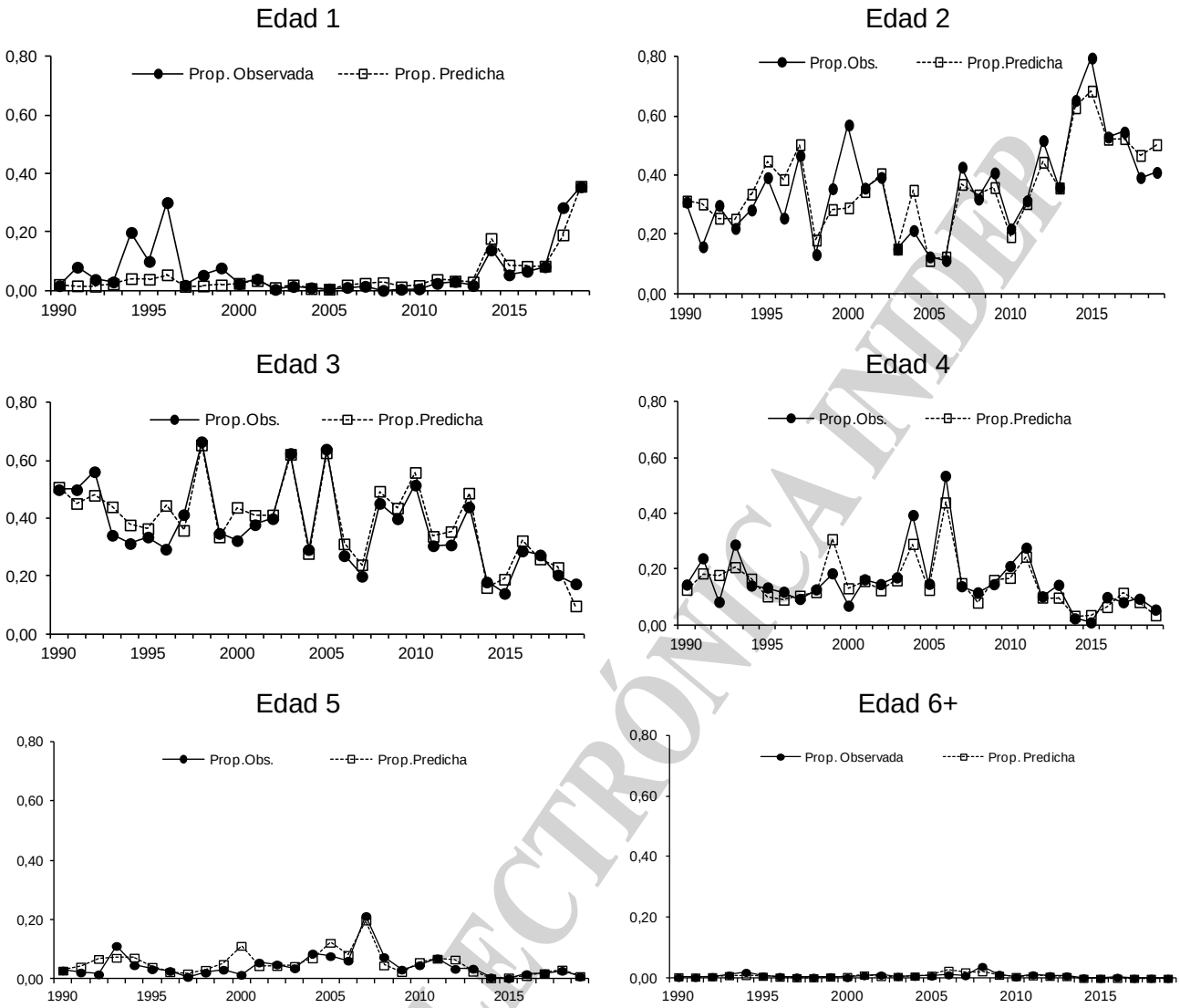


Figura 4. Capturas por edad, como proporciones observadas de los totales anuales (línea oscura y círculos llenos) y estimaciones del modelo estadístico (línea punteada, cuadrados vacíos).

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

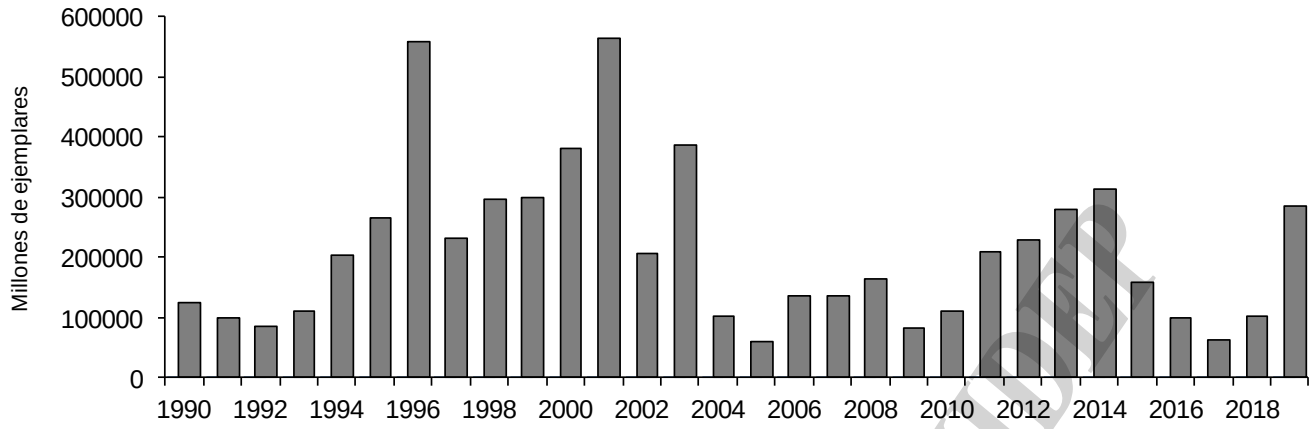


Figura 5. Reclutamiento anual a la edad 1, estimado mediante el modelo estadístico según el año de incorporación a la población.

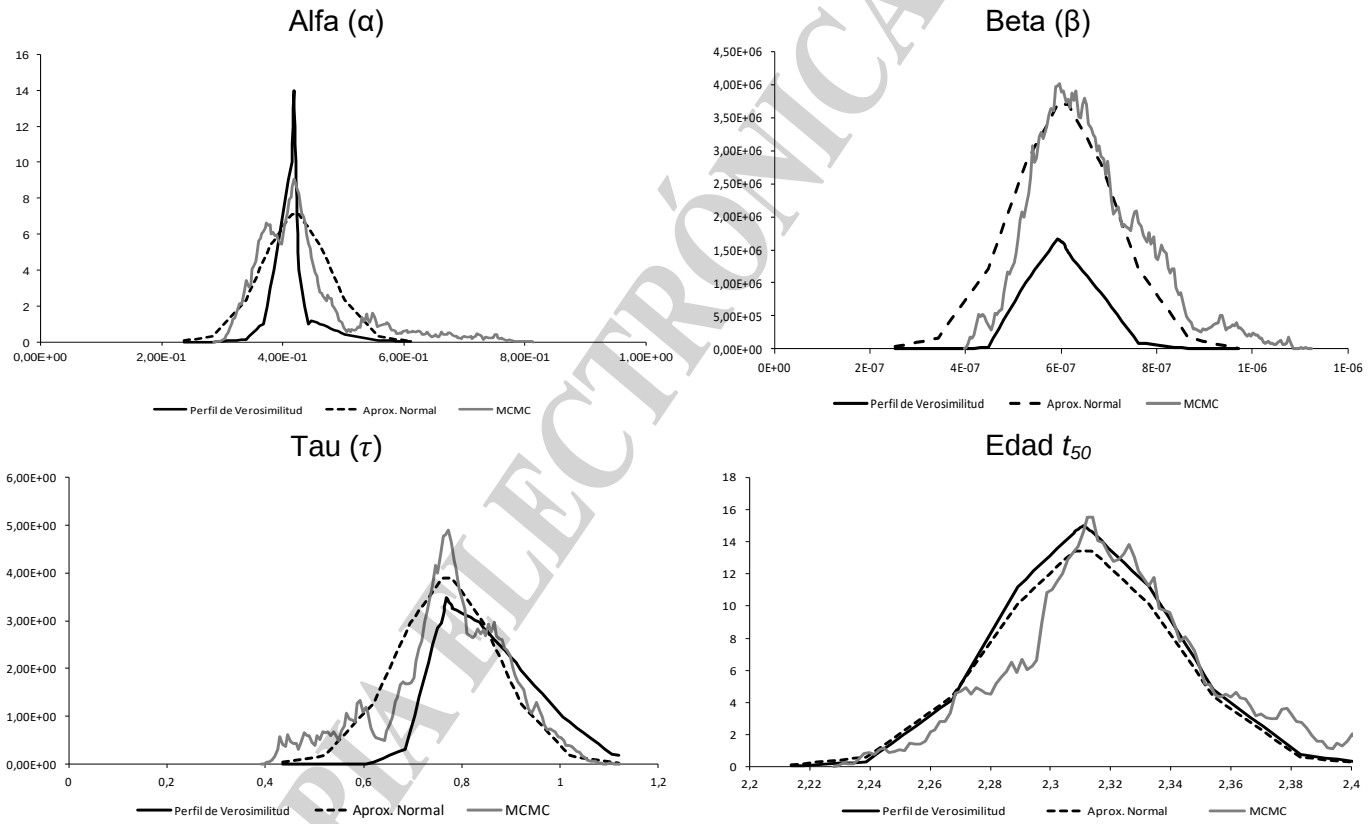


Figura 6. Perfiles de verosimilitud, aproximaciones Normales y por MCMC a las distribuciones posteriores de las estimaciones de distintos parámetros del modelo.

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

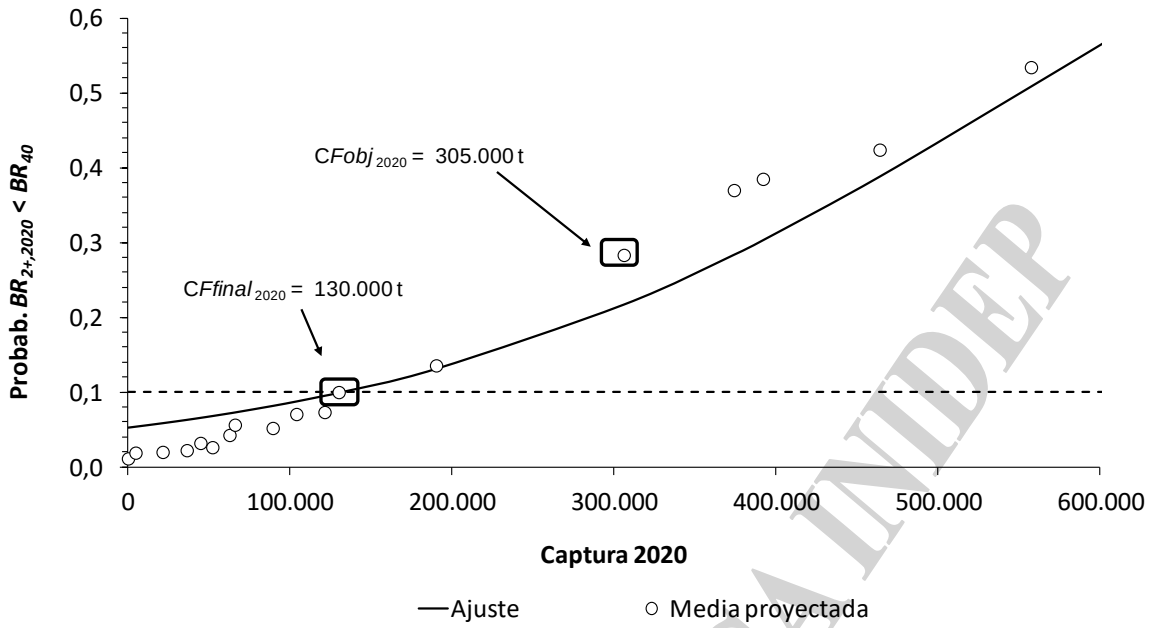


Figura 7. Proyecciones: curva de riesgo en función de las capturas en el año 2020, resultantes de aplicar distintas tasas de mortalidad pesquera futura.

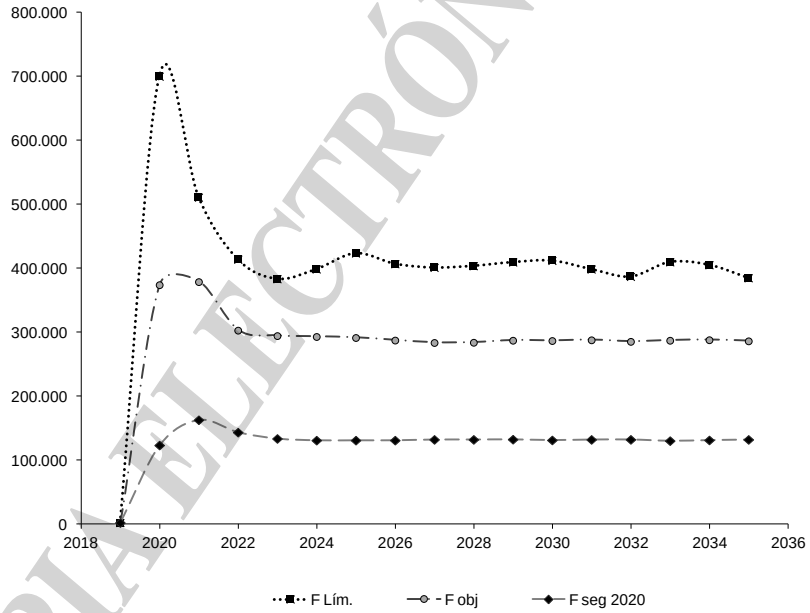


Figura 8. Proyecciones: Evolución simulada de la captura proyectada en función de distintas intensidades de mortalidad por pesca.

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP