

Parámetros de historia de vida de la anchoveta *Engraulis ringens* Jenyns, 1842, en la zona centro norte de Chile

Life history parameters of anchoveta *Engraulis ringens* Jenyns, 1842, in central north Chile

T. Mariella Canales¹ y Elson Leal¹

¹Departamento de Evaluación de Recursos, Instituto de Fomento Pesquero (IFOP),
Blanco Encalada 839, Valparaíso, Chile
mcanales@ifop.cl

Abstract.- In the central north of Chile (25°00'S-32°10'S) an anchoveta fishery (*Engraulis ringens*) operates on a small scale. In spite of being controlled by total allowed catches, the life history parameters used to estimate its abundance remain unknown. We estimated the basic biological parameters as growth, maturity and natural mortality for anchovy inhabiting the Chilean central north. The von Bertalanffy parameters were an annual growth rate (k) of 0.91 year⁻¹, asymptotic length (L_∞) at 18.72 cm, and age at zero length (t₀) of -0.01 year. The maximum value of the gonadosomatic index in September and the high frequency of mature stages between July and December, support that the main spawning period of anchoveta in the area would occur from August to October of each year. The mean maturity length (L_{m50%}) was estimated at 12.5 cm and the natural mortality (M) was 1.30 year⁻¹. The biological parameters of *E. ringens* located in central north of Chile are in concordance with the life history characteristics of small pelagic fish.

Key words: Growth, maturity, natural mortality

Resumen.- En Chile centro norte (25°00'S-32°10'S) se desarrolla una pesquería de anchoveta (*Engraulis ringens*) de pequeña escala. Aunque la pesquería es regulada a través de cuotas anuales de captura, los parámetros de historia de vida necesarios para las estimaciones de abundancia del recurso son aún desconocidos. Se estimaron los parámetros biológicos básicos como crecimiento, madurez y mortalidad natural de la anchoveta distribuida en la zona centro norte de Chile. Los parámetros de von Bertalanffy fueron estimados en una tasa anual de crecimiento (k) de 0,91 año⁻¹, longitud asintótica (L_∞) de 18,72 cm y una edad a la longitud cero (t₀) de -0,01 años. Los valores máximos del índice gonadosomático en septiembre y la alta frecuencia de estados maduros entre julio y diciembre, indican que la mayor actividad reproductiva de anchoveta en la zona ocurriría entre agosto y octubre de cada año. La longitud media de madurez (L_{m50%}) fue estimada en 12,5 cm y la mortalidad natural (M) en 1,30 año⁻¹. Los parámetros biológicos de *E. ringens* de la zona centro norte de Chile concuerdan con las características de historia de vida esperadas para un pez pelágico pequeño.

Palabras clave: Crecimiento, madurez, mortalidad natural

Introducción

En el Pacífico suroccidental *Engraulis ringens* Jenyns, 1842 (anchoveta), se distribuye desde los 4°S a los 42°S de latitud sur (Serra *et al.* 1979). En el área se distinguen tres poblaciones de esta especie, norte y centro del Perú, sur del Perú - norte de Chile y centro sur de Chile (Alheit & Ñiquen 2004). En Chile centro norte existe además una unidad pesquera de anchoveta explotada principalmente entre los 25°S y 32°S que podría corresponder a una unidad poblacional independiente de la ubicada al norte de los 25°S, que recluta, crece y se reproduce en el área. Aunque no se reportan estudios formales existen antecedentes aislados que permiten apoyar su independencia. Los cruceros oceanográficos desarrollados en la década de 1980 muestran focos discretos de desove de anchoveta en las bahías de Caldera y Coquimbo (Rojas *et al.* 1983). La aplicación del método de producción de huevos entre Arica y Chañaral

(18°S-26°S) evidenció en los años 1997, 2004 y 2005 un proceso de desove que se extiende al sur de los 26°S (Braun *et al.* 2005). Esto sugiere que la zona centro norte de Chile podría representar un hábitat favorable para la anchoveta, cuando por factores ambientales esta especie expande su área de desove al sur de los 26°S. En esta zona y particularmente en las bahías de Caldera y Coquimbo, existen patrones de circulación y focos de surgencia (Valle-Levinson & Moraga 2006) que podrían haber facilitado la retención y desarrollo de la anchoveta en la zona, conjuntamente con el surgimiento de una pesquería de pequeña escala cuyos niveles de desembarque han adquirido importancia artesanal desde el año 2003.

Con el objetivo de manejo del recurso, en 1996 esta unidad de pesquería fue declarada en estado de plena explotación (Decreto MINECON N°493, del 4 de julio de 1996) y a partir del año 2001 comenzó a ser administrada a

través del límite máximo de captura por armador (DFL N°19.713, del 25 de enero de 2001). Sin embargo, a pesar de estas medidas administrativas, los parámetros de historia de vida de anchoveta en esta zona son aún desconocidos, utilizándose actualmente en las estimaciones de abundancia del recurso entre los 25°S y 32°S, los parámetros de historia de vida de la anchoveta de la zona norte (18°20'-24°S). De esta forma, el objetivo de este trabajo fue estimar los parámetros de crecimiento, madurez y mortalidad natural que caracterizan a esta especie en la zona centro norte de Chile, los que forman parte de los antecedentes biológicos básicos para el establecimiento de posibles medidas de regulación pesquera.

Material y métodos

La información utilizada en este estudio proviene del muestreo biológico del desembarque de anchoveta cuyas capturas ocurren entre los 25°00'S y 32°10'S, cercanas a las localidades de Caldera y Coquimbo, en Chile centro norte. Las muestras fueron recolectadas mensualmente entre los años 1999 y 2005 por el Programa de Seguimiento de la Pesquería Pelágica Norte desarrollado por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP). El diseño de muestreo biológico correspondió a uno del tipo estratificado aleatorio simple, donde los estratos correspondieron a la zona y mes. Cada ejemplar fue medido en su peso total ($\pm 0,01$ g), longitud total (cm) y peso de gónada ($\pm 0,01$ g), extrayendo también sus otolitos. La gónada de cada hembra fue a su vez clasificada de acuerdo a su estado de madurez macroscópico (EMM) según la escala de desarrollo ovárico modificada de Holden & Raitt (1975).

Crecimiento

Se utilizó la lectura de edades sobre otolitos enteros disponibles para el periodo 2003 al 2005. Los pares de datos longitud y edad fueron utilizados para estimar los parámetros de crecimiento a partir de la ecuación de von Bertalanffy:

$$L_t = L_\infty (1 - \exp(-k(t - t_0)))$$

donde L_t es la longitud a la edad t , L_∞ la longitud asintótica, k la tasa de crecimiento anual y t_0 la edad hipotética a la cual el pez tiene longitud cero. La estimación de parámetros se realizó mediante mínimos cuadrados no lineales. En este estudio se realizó la corrección del parámetro t_0 utilizando la aproximación de López-Veiga (1979), la cual requiere de una medida estimada de la longitud de eclosión larval (L_0). Dado que no existen estimaciones específicas de este parámetro (L_0) para la anchoveta de la zona centro norte, se utilizó el valor reportado por Llanos-Rivera & Castro (2006) para la especie en la zona norte de Chile.

Los autores estiman L_0 de anchoveta frente a Antofagasta (23°S) en 2,5 mm a una temperatura de 15°C.

Época principal de desove y longitud de madurez

El período de mayor actividad de desove se determinó sobre la base de la variación mensual del índice gonadosomático (IGS) y EMM. El IGS fue estimado sobre una modificación de Nikolsky (1963), según la ecuación:

$$\overline{IGS} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{PG_i}{PT_i - PG_i}}{n} * 100$$

donde, PG_i es el peso de la gónada (g) y el PT_i el peso total (g) de cada espécimen, n es el número total de ejemplares analizados mensualmente.

La longitud de madurez se determinó sobre la base del criterio del 50% de la fracción de hembras maduras (Arancibia *et al.* 1994, Cubillos *et al.* 1999), considerando como maduras aquellas hembras que se encontraban en los estadios III, IV y V según la escala macroscópica de desarrollo ovárico utilizada. Debido a la falta de una adecuada identificación por tallas de los EMM en las hembras examinadas entre los años 1999 y 2003, el análisis considero sólo los ejemplares analizados los años 2004, 2005 y durante el período de mayor actividad reproductiva. La función de madurez asumió un modelo logístico de la forma:

$$P_l = \frac{1}{1 + \exp(a - b * l)}$$

donde, P_l es la proporción de hembras sexualmente maduras a la longitud l , a y b son parámetros de la función logística.

Asumiendo una distribución binomial de la variable aleatoria (P), la función de estimación log-verosímil tiene la forma:

$$L(a, b) = \sum k \ln(P_l) + (1 - h) \ln(1 - P_l)$$

donde, a y b son los parámetros a estimar, k indica presencia de individuos maduros (1) o ausencia (0), y P_l es la función logística previamente descrita.

La talla media de madurez se define cuando la función logística alcanza el 50% de probabilidad de observar individuos maduros y se obtiene a partir de los parámetros a y b , es decir:

$$L_{m50\%} = \frac{a}{b}$$

donde, $L_{m50\%}$ representa la longitud de madurez.

Tasa de mortalidad natural (M)

Utilizando los parámetros de crecimiento (t_o , k , L_∞) y madurez ($L_{m50\%}$) estimados en este estudio, la tasa de mortalidad natural (M) fue estimada a partir de los siguientes cuatro modelos empíricos:

Pauly (1980) desarrolló una relación entre la tasa de mortalidad natural, los parámetros de crecimiento y la temperatura promedio del hábitat (T). El modelo de regresión corresponde a:

$$\log_{10}(M) = -0,0066 - 0,279 \log_{10}(L_\infty) + 0,6543 \log_{10}(K) + 0,4634 \log_{10}(T)$$

donde la temperatura promedio anual del hábitat de anchoveta en el periodo 2003-2005 correspondió a 15,5°C¹.

Rikhter & Efanov (1976) relacionan la tasa de mortalidad natural (M) con la edad media de madurez ($t_{m50\%}$) según la siguiente expresión:

$$M = \left[\frac{1,521}{t_{m50\%}^{0,72}} \right] - 0,155$$

donde, $t_{m50\%}$ se estima utilizando la talla del 50% de hembras maduras obtenida en este estudio, según:

$$t_{m50\%} = t_o - \frac{1}{K} \ln\left(1 - \frac{L_{m50\%}}{L_\infty}\right)$$

Hoening (1983) relaciona la tasa de mortalidad total (Z) y la máxima edad observada ($t_{m\acute{a}x}$). Asumiendo Z igual M, la ecuación tiene la forma:

$$\ln(Z) = 1,44 - 0,982 \ln(t_{m\acute{a}x})$$

La edad máxima ($t_{m\acute{a}x}$) fue estimada sobre el supuesto que esta se alcanza cuando los peces crecen hasta un 95% de la longitud asintótica (Pauly 1980), donde:

$$t_{m\acute{a}x} = t_o - \frac{1}{k} \ln\left(1 - \frac{0,95 L_\infty}{L_\infty}\right) = t_o + \frac{3}{k}$$

Hewitt & Hoening (2005) plantean que la tasa de mortalidad natural (M) puede ser estimada según:

$$M = \frac{4,22}{t_{m\acute{a}x}}$$

Finalmente, los parámetros de historia de vida de *E. ringens* estimados en este estudio fueron analizados respecto de su cercanía con las invariantes de Beverton & Holt, las cuales corresponden a $Mt_{m50\%}$, M/k y $L_{m50\%}/L_\infty$. Estas constantes representan un tipo particular de simetría en los parámetros de historia de vida que se mantiene a través de las especies y poblaciones (Jensen 1996).

¹Fuente: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile

Resultados

En el estudio de crecimiento, se utilizó un total de 5.515 otolitos, provenientes de individuos distribuidos en un rango de tamaños entre 7,5 y 18,0 cm. Los análisis de madurez y época principal de desove consideraron un total de 3.346 individuos, cuyo rango de tamaño varió entre 9,5 y 18,0 cm.

Crecimiento

Los parámetros de crecimiento iniciales que describieron la curva de von Bertalanffy fueron estimados en valores de: $k = 0,546 \text{ año}^{-1}$, $L_\infty = 19,5 \text{ cm}$, $t_o = -1,0 \text{ años}$. Aquellos modificados luego de la corrección por la longitud de eclosión larval resultaron en: $k = 0,91 \text{ año}^{-1}$; $L_\infty = 18,72 \text{ cm}$ y $t_o = -0,01 \text{ años}$ (Fig. 1).

Época principal de desove y longitud de madurez

La actividad reproductiva medida a través del IGS evidenció un ciclo anual similar entre 1999 y 2005. Cada año los valores máximos del índice reproductivo ocurrieron desde fines del invierno (agosto) hasta mediados de la primavera (octubre), descendiendo a partir de noviembre, para alcanzar sus valores más bajos en abril y mayo (Fig. 2). El promedio mensual de este índice, considerando todos los años analizados, refleja el patrón anual descrito previamente en la actividad reproductiva de la anchoveta en la zona centro norte de Chile (Fig. 3).

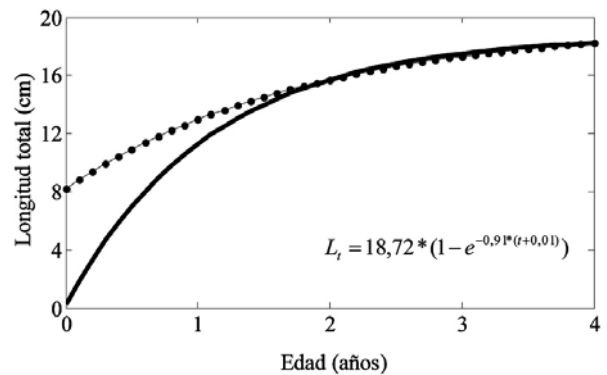


Figura 1

Curva de crecimiento inicial y modificada por la longitud de eclosión larval (L_o) (línea continua) para *E. ringens* de la zona centro norte de Chile. La ecuación corresponde a la curva corregida por L_o .

Initial estimated growth curve and modified by the eclosion length (L_o) (continuous line) of *E. ringens* in northern central Chile. The equation corresponds to the growth curve corrected by L_o .

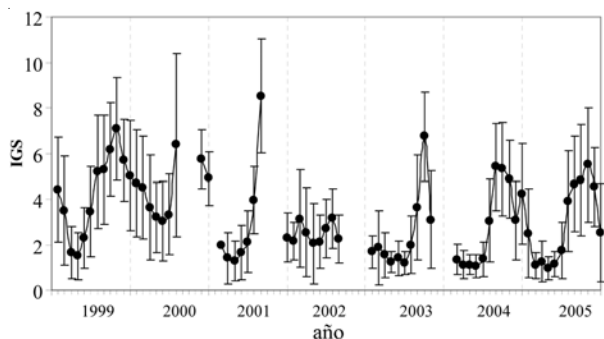


Figura 2

Variación mensual del índice gonadosomático de las hembras de *E. ringens* en la zona centro norte de Chile (1999-2005)

Monthly variations of the gonadosomatic index for females of *E. ringens* in northern central Chile (1999-2005)

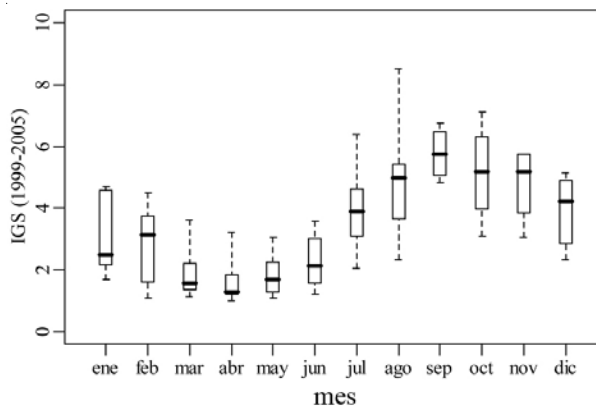


Figura 3

Patrón anual de variación del IGS de las hembras de *E. ringens* de la zona centro norte de Chile (1999-2005)

Annual pattern of variation in the IGS for females of *E. ringens* in northern central Chile (1999-2005)

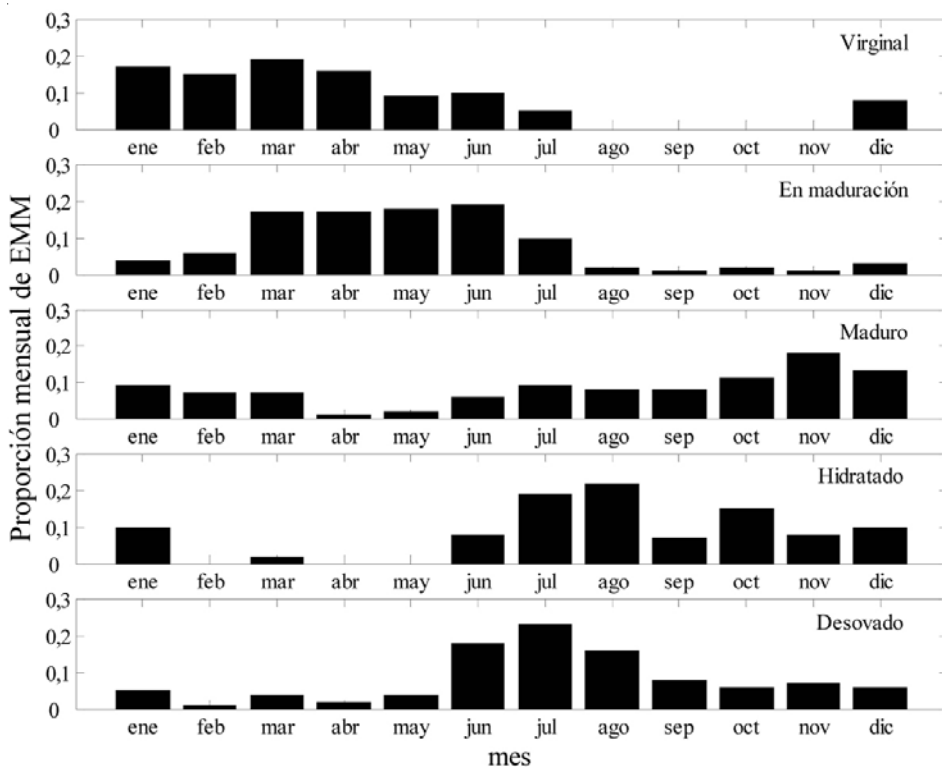


Figura 4

Proporción mensual de los estados de madurez macroscópica (EMM) de *E. ringens* en la zona centro norte de Chile (1999-2005)

Monthly proportions of macroscopic maturity stages (EMM) in *E. ringens* in northern central Chile (1999-2005)

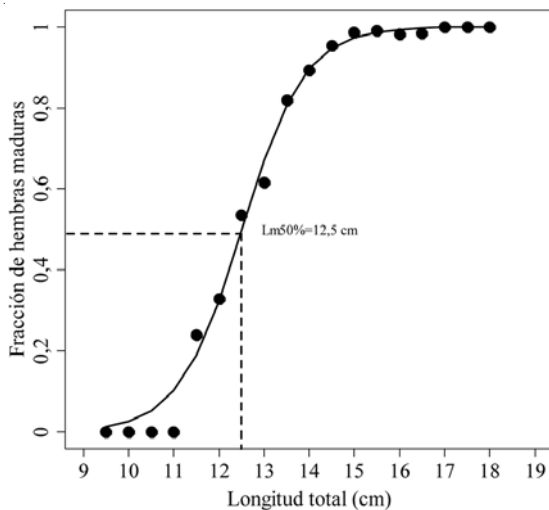


Figura 5

Proporción de hembras maduras por talla de *E. ringens* de la zona centro norte de Chile

Proportion of mature females by size of *E. ringens* in northern central Chile

Respecto de la evolución mensual de los EMM se observó una mayor proporción de hembras inmaduras (EMM I y II) desde diciembre a julio de cada año, en tanto que el estado maduro (EMM III) aumentó su frecuencia durante la segunda mitad del año. Las hembras en inminente actividad de desove y desovadas (EMM IV y V) presentaron valores máximos en julio y agosto, y aunque continúan presentes el resto del año muestran una menor proporción entre enero y mayo (Fig. 4).

La longitud de madurez ($L_{m50\%}$) de *E. ringens* en la zona de estudio, se estimó en 12,5 cm (Fig. 5), que equivale a una edad de 1,22 años considerando los parámetros de crecimiento modificados por la longitud de eclosión larval (L_0).

Mortalidad natural (M)

La estimación más alta de M se obtuvo con la aproximación de Pauly (1980) en 1,46 año⁻¹ y la más baja según el método de Rikhter & Efanov (1976) en 1,16 año⁻¹. El valor promedio entre los cinco métodos fue de 1,30 año⁻¹ (Tabla 1).

Las constantes de Beverton & Holt, estimadas en relación a los parámetros de historia de vida de la anchoveta centro norte, correspondieron a 1,56 en el caso de la invariante $Mt_{m50\%}$, 1,43 para M/k , y 0,67 para la razón de $L_{m50\%}/L_{\infty}$, esta última fue la más cercana al valor teórico esperado (Tabla 2).

Tabla 1

Mortalidad natural (M) de *E. ringens* en la zona centro norte de Chile estimada a partir de cuatro modelos empíricos

Natural mortality rate (M) of *E. ringens* in northern central Chile according to four empirical methods

Método	M (año ⁻¹)
Rikhter & Efanov (1976)	1,16
Pauly (1980)	1,46
Hoening (1983)	1,30
Hewitt & Hoenig (2005)	1,27
\bar{M} (año ⁻¹)	1,30

Tabla 2

Invariantes de Beverton & Holt para *E. ringens* de Chile centro norte

Invariants of Beverton & Holt of *E. ringens* in central north Chile

Invariante	Valor empírico	Valor teórico
$Mt_{m50\%}$	1,56	1,65
M/k	1,43	1,50
$L_{m50\%}/L_{\infty}$	0,67	0,66

Discusión

El objetivo de este estudio se sustentó en la necesidad de contar con los parámetros de historia de vida de la anchoveta en la unidad de pesquería centro norte. Debido a que es administrada en forma independiente de las pesquerías de anchoveta de la zona norte y centro sur, sus medidas de regulación requieren incorporar los rasgos biológicos específicos del recurso en la zona. De esta forma, los parámetros de historia de vida de la anchoveta en Chile centro norte corresponderían a un k de 0,91 año⁻¹, t_0 de -0,01 años, L_{∞} de 18,72 cm, $L_{m50\%}$ a 12,5 cm y M de 1,30 año⁻¹.

Uno de los problemas en el ajuste de la curva de crecimiento de von Bertalanffy en peces pelágicos pequeños, se asocia con la estimación de un valor apropiado del parámetro t_0 . En el presente estudio, la incorporación de la longitud eclosión larval (L_0) permitió obtener un valor mas cercano al teórico esperado (cero) para este parámetro, corrigiendo su estimación desde -1

hasta -0,01 año. Así, la longitud media de los individuos de edad cero disminuyó desde 8,5 a 0,25 cm, que corresponde al valor de L_0 . Dicha variación se manifestó también en la longitud promedio de los individuos de un año de edad, la cual disminuyó de 12,9 cm a 11,3 cm. La variación en t_0 tuvo un efecto importante sobre el parámetro k , aumentando el valor de la pendiente de la curva de crecimiento, reflejando de mejor forma el rápido crecimiento que caracteriza a los peces de ciclo de vida corto, especialmente durante el primer año de vida.

De acuerdo a la evolución mensual del IGS y a los EMM, *E. ringens* en la zona centro norte de Chile presentaría una mayor actividad reproductiva desde julio a diciembre y se mantendría en reposo relativo desde enero a junio. Estos resultados coinciden con lo descrito para la anchoveta de la zona norte y centro-sur de Chile (Cubillos 1990, Cubillos *et al.* 1999). De la misma forma, la longitud de madurez concuerda con lo reportado por Serra *et al.* (2006²) para la anchoveta de la zona norte, aunque es superior a la estimada por Cubillos *et al.* (1999) para la anchoveta de la zona centro sur. Sin embargo, es probable que debido al uso de una escala macroscópica de desarrollo ovárico, la función de madurez obtenida en este estudio fue distinta a las descritas para la especie en las otras unidades de pesquería, y cuyos estudios de madurez estuvieron basados en estados microscópicos. En ese sentido, se destaca la importancia de estudiar histológicamente el desarrollo del ovario de manera de precisar el proceso de maduración de los individuos, mejorando la estimación de abundancia y biomasa de la fracción madura de la población.

La mortalidad natural (M) de la anchoveta en la zona centro norte ($1,30 \text{ año}^{-1}$) resultó en un valor cercano al estimado por Cubillos (1991) para la especie en la zona norte de Chile ($1,2 \text{ año}^{-1}$) y superior al reportado por Cubillos *et al.* (2002) para la anchoveta de la zona centro sur ($0,7 \text{ año}^{-1}$). Esto posiblemente asociado a las diferencias en el parámetro de crecimiento (k) estimado para la especie en cada zona y que es usado para el cálculo de M .

Finalmente, la cercanía de los valores obtenidos para las relaciones $Mt_{m50\%}$, M/k y $L_{m50\%}/L_{\infty}$ en *E. ringens* de la zona centro norte respecto de los teóricos, permiten señalar que los resultados de este estudio son consistentes con los rasgos biológicos esperados para una especie de ciclo de vida corto (rápido crecimiento, madurez temprana, alta mortalidad natural) como es la anchoveta.

²Serra R, C Canales & G Bohm. 2006. Investigación evaluación de stock y CTP anchoveta y sardina española I y II regiones, 2007. Proyecto IFOP/SUBPESCA N° 30043732-0, pp. 1-20.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) y en particular al personal del Programa de Seguimiento de la Pesquería Pelágica Norte por la disponibilidad de los datos para llevar a cabo este estudio. Además agradecemos los valiosos comentarios y sugerencias de los evaluadores anónimos de este artículo.

Literatura citada

- Alheit J & M Ñiquen. 2004.** Regime shift in the Humboldt Current ecosystem. *Progress in Oceanography* 60: 201-202.
- Arancibia H, L Cubillos, J Remmaggi & R Alarcón. 1994.** Determinación de la talla de primera madurez sexual y fecundidad parcial en la sardina común, *Strangomera bentincki* (Norman, 1936) del área de Talcahuano, Chile. *Biología Pesquera* 23: 11-17.
- Braun M, V Valenzuela, G Claramunt, H Reyes, M Pizarro, V Cataste, G Herrera, P Moreno, C Gaspar & E Díaz. 2005.** Evaluación del stock desovante de anchoveta I y II regiones Año 2005. Informe Final. Proyecto FIP N° 2005-03: 1-155.
- Cubillos L. 1991.** Estimación mensual de la biomasa, reclutamiento, y mortalidad por pesca de la anchoveta (*Engraulis ringens*) de la zona norte de Chile en el período 1986-1989. *Biología Pesquera* 20: 49-59.
- Cubillos L, D Bucarey & M Canales. 2002.** Monthly abundance estimation for common sardine *Strangomera bentincki* and anchovy *Engraulis ringens* in the central southern area off Chile (34-40°S). *Fisheries Research* 57: 117-130.
- Cubillos L, TM Canales, D Bucarey, A Rojas & R Alarcón. 1999.** Época reproductiva y talla media de primera madurez de *Strangomera bentincki*, y *Engraulis ringens* en el período 1993-1997 en la zona centro sur de Chile. *Investigaciones Marinas* 27: 73-85.
- Hewitt D & JM Hoenig. 2005.** Comparison of two approaches for estimating natural mortality based on longevity. *Fishery Bulletin* 103: 433-437.
- Hoenig JM. 1983.** Empirical use of longevity data to estimate mortality rates. *Fishery Bulletin* 82: 898-903.
- Holden M & D Raitt. 1975.** Manual de ciencia pesquera. Parte 2. Métodos para investigar los recursos y su aplicación. FAO Documento Técnico de Pesca 115: 1-211.
- Jensen AL. 1996.** Beverton and Holt life history invariants result from optimal trade-off of reproduction and survival. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53: 820-822.
- Llanos-Rivera A & L Castro. 2006.** Inter-population differences in temperature effects on *Engraulis ringens* yolk-sac larvae. *Marine Ecology Progress Series* 312: 245-253.

- López-Veiga EC. 1979.** Fitting von Bertalanffy growth curves in short-lived fish species. A new approach. *Investigaciones Pesqueras* 43: 179-186.
- Nikolsky GV. 1963.** The ecology of fishes, 352 pp. Department of Ichthyology, Biology-Soil Faculty, Moscow State University, Moscow.
- Pauly D. 1980.** On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer* 39(3): 175-192.
- Rickhter VA & VN Efanov. 1976.** On one of the approaches to estimation of natural mortality of fish populations. *International Commission for the Northwest Atlantic Fisheries Research Document* 76/VI/8: 1-12.
- Rojas O, A Mujica, M Labra, G Lederman & H Miles. 1983.** Estimación de la abundancia relativa de huevos y larvas de peces. *Informe IFOP/CORFO* 83-31: 1-99.
- Serra R, M Aguayo, O Rojas, J Cañón & F Inostroza. 1979.** Anchoveta *Engraulis ringens* (Jenyns) Teleostomi Clupeiformes Engraulidae. En: CORFO-IFOP (eds). Estado actual de las principales pesquerías nacionales. Bases para un desarrollo pesquero: I Peces. *AP* 79/18: 1-52.
- Valle-Levinson A & J Moraga-Opazo. 2006.** Observations of bipolar residual circulation in two equatorward-facing semi-arid bays. *Continental Shelf Research* 26: 179-193.

Recibido el 27 de marzo de 2008 y aceptado el 20 de enero de 2009