

Verificación de la edad y crecimiento de besugo *Epigonus crassicaudus* (de Buen, 1959) admitiendo error en la determinación de la edad

Age verification and growth of the Chilean cardinalfish *Epigonus crassicaudus* (de Buen, 1959) admitting ageing error

Luis A. Cubillos¹, Mario Aguayo², Marcia Neira², Evelin Sanhueza² y Claudio Castillo-Jordán¹

¹Laboratorio Evaluación de Poblaciones Marinas (EPOMAR), Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción, Casilla 160-C, Concepción, Chile

²Instituto de Investigación Pesquera, Casilla 350, Talcahuano, Chile
lucubillos@udec.cl

Abstract. - With the aim of verifying the age readings in whole otoliths of cardinalfish *Epigonus crassicaudus*, two readers conducted independently three readings, with an elapsed time of 15 days among readings, of the annular structure of otoliths from 96 fish with length ranging between 20 and 37 cm. In addition, the age readings in whole otoliths were compared with readings on thin transverse sections, recording also the frequency of the most marked secondary rings. Finally, the growth parameters in length of the von Bertalanffy growth function (VBGF) were estimated by admitting ageing error. A nonlinear model with random effects (NLRE) was used, in which the error structure of the sampled age distribution is specified. The estimation of the growth parameters was compared with the performance of a standard nonlinear model (SNL) of estimation. The results showed that the annular structure in whole otoliths can be determined with high precision. Also there are not significant differences in the age determination between whole otoliths and thin transverse sections. In the last technique a higher frequency of secondary rings was counted than in whole otoliths. The estimates of growth parameters with NLRE were more consistent than those estimates obtained with the SNL model. It is concluded that the age readings in whole otoliths is determined with high precision, which is an easy technique to be implemented for monitoring the age structure of cardinalfish. It was confirmed that the growth in length of the VBGF for cardinalfish is represented by an asymptotic length close to 45 cm of total length and a growth coefficient ranging between 0.16-0.18 yr⁻¹.

Key words: Reproducibility, otoliths, VBGF, demersal habitat, central southern Chile

Resumen. - Con el objeto de verificar la lectura de edades en otolitos enteros de besugo *Epigonus crassicaudus*, dos lectores leyeron tres veces en forma independiente y con intervalos de 15 días entre lecturas, la estructura anular de los otolitos de 96 peces de entre 20 y 37 cm de longitud total. Además, la lectura de edad en otolitos enteros se contrastó con las lecturas en secciones delgadas transversales, comparándose además la frecuencia de anillos secundarios más marcados. Finalmente, se estimaron los parámetros de crecimiento en longitud de la función de crecimiento de von Bertalanffy (FCBV), admitiendo el error en la determinación de la edad. Para ello se utilizó un modelo no lineal con efectos aleatorios (NLEA), donde se especifica la estructura de error de la distribución de edad. La estimación de los parámetros se comparó con la aplicación de un modelo no lineal estándar (NLE). Los resultados mostraron que la estructura anular registrada en otolitos enteros es determinada con una alta precisión. No existen diferencias significativas en la determinación de la edad entre otolitos enteros y secciones transversales delgadas. Con esta última técnica se contabilizó una mayor frecuencia de anillos secundarios que en otolitos enteros. Las estimaciones de los parámetros de crecimiento con el modelo NLEA fueron más consistentes que los estimados con el modelo NLE. Se concluye que la lectura de edad en otolitos enteros es determinada con una alta precisión, constituyéndose en una técnica fácil de implementar para vigilar la estructura de edad de besugo. Se confirma que el crecimiento en longitud de la FCVB de besugo está representado por una longitud asintótica cercana a los 45 cm y un coeficiente de crecimiento del orden de 0,16-0,18 año⁻¹.

Palabras clave: Reproducibilidad, otolitos, FCVB, hábitat demersal, centro-sur de Chile

Introducción

La determinación de la edad en los otolitos *sagittae* de peces teleósteos puede presentar diversos grados de dificultad, y por lo general se debe aplicar más de una técnica para establecer el grado de consistencia de la determinación de la edad (Beamish & Fournier 1981, Morales-Nin 1992). No obstante, al aplicar diferentes

métodos de preparación de los otolitos se podrían obtener resultados distintos, por ejemplo, cuando se determina la edad en otolitos enteros y en secciones transversales. Asimismo, dos lectores independientes podrían también llegar a resultados distintos.

Aunque la confirmación del significado temporal de un incremento de crecimiento o validación de la edad es el aspecto primordial en un estudio de edad, también es

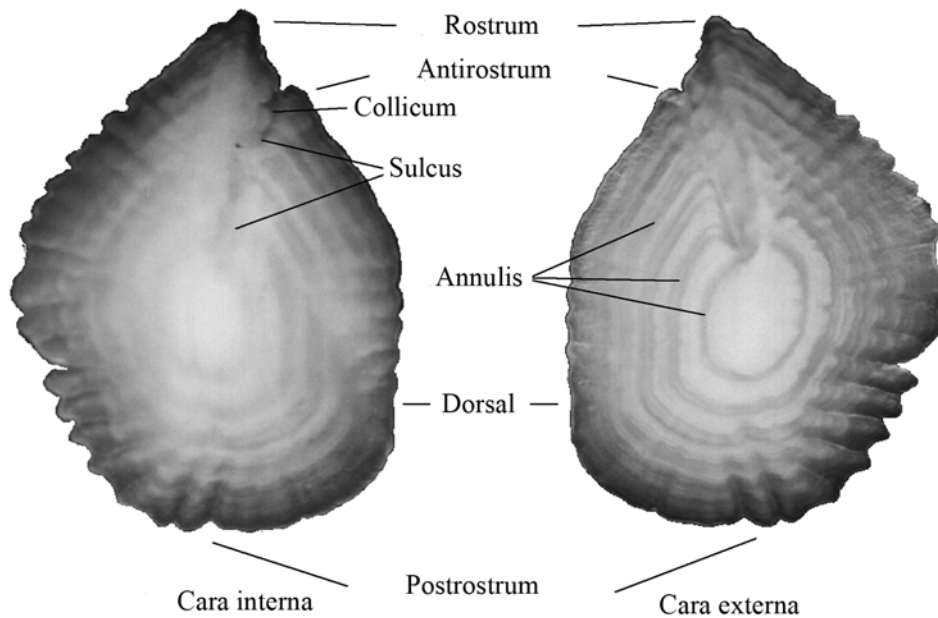


Figura 1

Otolito sagitta de besugo *E. crassicaudus* (26 cm LT), izquierda: cara interna, y derecha cara externa

Sagitta otolith of cardinalfish *E. crassicaudus* (26 cm TL), left: internal face, and right external face

importante el proceso de verificación (Wilson *et al.* 1987, Beamish & McFarlane 1987, Kimura & Lyons 1991). Se entiende por verificación la confirmación de la interpretación numérica de la estructura analizada con diferentes lectores y diferente tratamiento de la estructura para su lectura. El proceso de verificación es análogo al de establecer la precisión de la determinación de la edad, considerando la precisión como el grado de reproducibilidad o consistencia del conteo de los anillos de crecimiento (Wilson *et al.* 1987).

Por otra parte, Cope & Punt (2007) demuestran que el error en la determinación de la edad puede ser incorporado en el proceso de estimación de los parámetros de crecimiento en longitud de la función de crecimiento de von Bertalanffy (FCVB) a través de modelos no lineales con efectos aleatorios (NLEA). Los mismos autores también demuestran que las estimaciones de los parámetros de la FCVB fueron más precisas para varios casos de peces con historias de vida diferentes.

En Chile, el besugo *Epigonus crassicaudus* (de Buen, 1959) es un pez demersal de gran importancia comercial para la pesquería industrial de arrastre que se desarrolla en la zona centro-sur (Wiff *et al.* 2005, 2008). La edad

de esta especie se ha determinado a través de la lectura de otolitos enteros (Gálvez *et al.* 2000), registrándose una edad máxima de 15 años. El otolito *sagitta* de esta especie se caracteriza por presentar una forma ovoide, con un borde ventral al igual que el dorsal irregular. La abertura del *sulcus* es heterosulcoide con una abertura, con *colliculum* heteromorfo y sin *collum*. El *rostrum* es ligeramente marcado y termina en punta, el *antirostrum* es pequeño y levemente redondeado (Fig. 1). A su vez, en los otolitos de besugo los anillos de crecimiento anuales se observan bien marcados, y están constituidos por un anillo opaco y uno hialino o translúcido, pero en la estructura anular a veces se observan anillos secundarios que podrían ser erróneamente identificados como *annuli* (Cubillos *et al.* 2009). En los otolitos de besugo, los anillos secundarios se observan como anillos hialinos finos más o menos marcados que no alcanzan un recorrido concéntrico completo alrededor del núcleo. Los objetivos de este trabajo fueron: a) verificar la interpretación de la edad de besugo determinada mediante la técnica tradicional de lectura de anillos anuales macroestructurales de crecimiento en el otolito entero, confrontada con el método de lectura de anillos en secciones transversales de otolitos, b) establecer el grado

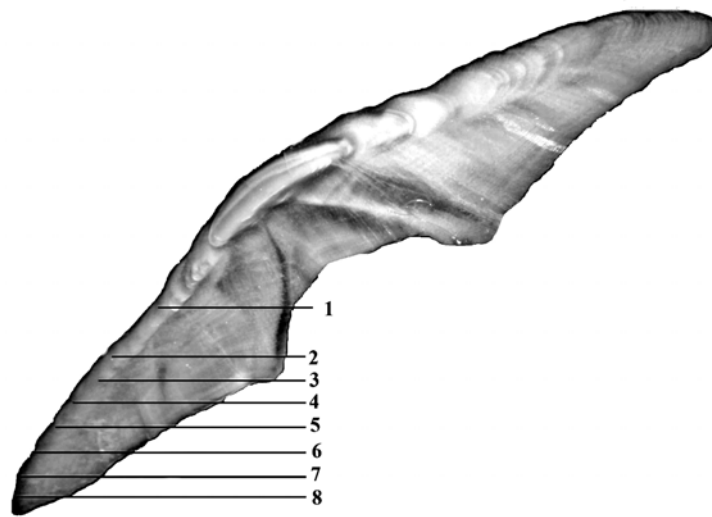


Figura 2

Ejemplo de corte transversal a nivel del foco de un otolito de besugo *E. crassicaudus*, indicándose la interpretación de los anillos hialinos anuales

Example of a thin transverse section of an otolith of cardinalfish *E. crassicaudus*, showing the interpretation of hyaline annual rings

de consistencia y de precisión que existe en los resultados obtenidos entre e intra-lector y entre métodos, y c) estimar los parámetros de crecimiento en longitud de besugo admitiendo explícitamente el error en la determinación de la edad.

Material y métodos

Obtención de la información

Se utilizaron muestras de otolitos de besugo que fueron muestreados a bordo de embarcaciones de la flota de arrastre industrial que operó en la zona centro-sur (33°S-42°S) frente a Chile, entre 1998 y 2007. La recolección de otolitos permitió cubrir el rango de tallas que usualmente aparece en la pesca comercial, y que está representado por peces de 20 a 40 cm de longitud total (Gálvez & Rebolledo 2001).

Experimento de lectura

Con el objeto de verificar el grado de precisión de la edad en otolitos enteros, intra e interlectores, se seleccionaron aleatoriamente los otolitos de 96 peces, cubriendo todo el rango disponible de tallas (20-37 cm). Dos lectores determinaron la edad sin conocer la longitud

del pez, ni la fecha de muestreo. Cada lector realizó tres lecturas completamente independientes, con un desfase de 15 días entre cada lectura.

La lectura de los anillos hialinos anuales (*annulis*) en el otolito entero se realizó previa hidratación en agua destilada por 5 a 12 h, tiempo que se determinó suficiente para evidenciar los anillos hialinos de crecimiento, que fueron usados en la lectura. La observación del otolito entero se realizó con lupa estereoscópica. Para el conteo de los anillos hialinos, los otolitos se colocaron en una cápsula petri con agua, y con fondo negro para mejorar la nitidez de los anillos de crecimiento. La iluminación fue de preferencia incidente o reflejada desde un ángulo lateral, lo que permitió que los anillos más estrechos, indicativos de una etapa de crecimiento lento del pez, se vieran oscuros (hialino) y los anillos más anchos que corresponden a un periodo de crecimiento rápido se vieran más claro o blanquecinos (opaco).

Con el objeto de analizar la consistencia entre métodos de preparación del otolito, un lector determinó la edad y la frecuencia de anillos secundarios en otolitos enteros, y posteriormente en secciones delgadas transversales a través del núcleo (Fig. 2). Para este procedimiento, de la colección de otolitos se seleccionaron tres pares al azar

por clases de talla de 1 cm, cubriendo el rango de tallas comprendido entre 20 y 40 cm de longitud total. El otolito izquierdo fue utilizado para lectura de los anillos de crecimiento anuales en otolitos enteros, en tanto que el otolito derecho se usó para obtener una sección transversal a la altura del núcleo (foco) del otolito. Los cortes se efectuaron con una máquina de alta precisión Isomet-Buehler, provista de discos diamantados de 0,15 mm que permiten obtener cortes con superficie bien pulimentadas. Previo al corte de los otolitos, estos fueron incluidos en diferentes sustancias que solidifican y que evitan el quiebre de ellos tal como resina poliéster (Bedford 1983), acrílico en spray, o parafina sólida (Piñeiro *et al.* 2008). Previo a la lectura, la superficie del corte fue pulida con un abrasivo de tipo comercial ('Brasso®'), lo que permite aumentar la nitidez de los anillos anuales. Luego fueron montados en plasticina humedeciendo la superficie del corte con una capa de bálsamo sintético diluido para resaltar los anillos.

Análisis estadístico

El análisis estadístico considera que las lecturas de cada lector son independientes y que ninguno conoce las lecturas del otro. Se calculó la edad promedio determinada por cada lector para cada ejemplar de besugo, sobre la base de las tres lecturas realizadas por cada uno. Posteriormente se graficaron las edades promedio determinadas por un lector respecto de la edad promedio determinada por el otro, y se comparó la pendiente e intercepto de la regresión lineal resultante considerando la hipótesis nula de una pendiente igual a 1 e intercepto igual a cero. Finalmente, con el objeto de detección del sesgo de las lecturas entre lectores, entendido como cambios sistemáticos o irregulares respecto de una línea de 1:1 (Campana *et al.* 1995), se graficaron las lecturas de edad de un segundo lector, cuya media e intervalo de confianza al 95% en el eje de la ordenada se corresponde con cada una de las edades informadas por otro lector que se considera como control.

Para establecer la precisión de la estimación de edad se utilizó el error porcentual promedio, denominado APE por sus siglas en inglés, y que según Beamish & Fournier (1981) se expresa por:

$$APE = \frac{100}{N} \sum_{j=1}^N \left[\frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|T_{ij} - T_j|}{T_j} \right] \quad (1)$$

donde N es el número de peces, R es el número de veces que la muestra fue leída, T_{ij} es la i -ésima determinación de edad del j -ésimo pez, T_j es la edad promedio calculada

para el j -ésimo pez. Además, se empleó el índice de Chang (1982) que considera el coeficiente de variación (V) como prueba de reproducibilidad de la edad entre e intralectores utilizando un índice de precisión (D). Este índice ha demostrado ser una medida de precisión más robusta en este tipo de estudios (Campana *et al.* 1995), y se expresa por:

$$D = \frac{100}{N} \cdot \sum_{j=1}^N \frac{V}{\sqrt{R}} = \frac{100}{N} \cdot \sum_{j=1}^N \frac{1}{\sqrt{R}} \cdot \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(T_{ij} - T_j)^2}{R-1}}}{T_j} \quad (2)$$

donde el coeficiente de variación corresponde a:

$$V_j = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(T_{ij} - T_j)^2}{R-1}}}{T_j} \quad (3)$$

La notación es la misma señalada para la ecuación 2.

En el caso de las diferentes técnicas de preparación del otolito (Entero *vs.* Cortes transversales a través del núcleo) se puso a prueba la hipótesis nula de igualdad en la varianza de la edad (prueba de homogeneidad de varianza) antes de comparar la edad promedio identificada con cada técnica con una prueba t de Student. Finalmente, el número de anillos secundarios identificados en los otolitos preparados con las diferentes técnicas se comparó respecto del tamaño de los ejemplares mediante regresión lineal bajo la hipótesis que a mayor tamaño podría identificarse un mayor número de anillos secundarios.

Estimación del crecimiento incluyendo el error en la determinación de la edad

Se utilizó la metodología de Cope & Punt (2007), quienes establecen que la longitud observada a la edad (l_j) para el j -ésimo individuo en la muestra se puede formular por:

$$l_j = L_j + \varepsilon_{L,j} \approx N(0, \sigma_{L,j}^2) \quad (4)$$

donde L_j se calcula con la función de crecimiento de von Bertalanffy (FCVB), *i.e.*

$$L_j = L_\infty [1 - \exp(-k(T_j - t_0))] \quad (5)$$

donde L_j es la longitud a la edad T para el j -ésimo individuo, L_∞ es longitud asintótica, k es el coeficiente de crecimiento de Brody, t_0 es la edad teórica cuando la longitud del pez es cero, y T_j es la edad verdadera del j -ésimo individuo. Se asume que el coeficiente de variación (CV) de los procesos de error que están distribuidos normalmente es el mismo para todos los individuos en la población. La

desviación estándar del error de proceso en longitud por individuo j , $\sigma_{L,j}$ es por lo tanto dado por:

$$\sigma_{L,j} = CV_L \cdot L_j \quad (6)$$

por lo tanto, toda la varianza en los datos está asociada con el error de proceso en la longitud estimada, y L_∞ , k , y t_0 que son parámetros desconocidos a ser estimados. Para estimar los parámetros se utiliza la siguiente función de verosimilitud:

$$l = \prod_j \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{L,j}}} \exp \left[-\frac{(l_j - L_j)^2}{2\sigma_{L,j}^2} \right] \quad (7)$$

y cuyos parámetros han sido previamente definidos.

Tradicionalmente, solo una edad por individuo se usa para ajustar la FCVB, utilizando un modelo no lineal estándar (NLE) para estimar los parámetros. Al disponer de múltiples lecturas (t_{ij} ; $i = 1, 2, \dots, r$) para cada individuo j , se usan usualmente tres aproximaciones para obtener un único valor para la edad del individuo: a) Se selecciona un lector de edad y solo sus lecturas se usan para ajustar el modelo, b) se promedian múltiples lecturas, c) se toma el valor de la mediana para disminuir la influencia de valores atípicos ('outliers').

La formulación para la relación entre las edades observadas y las verdaderas es:

$$t_{ij} = T_j + \varepsilon_{T,ij} \quad (8)$$

donde

$$\varepsilon_{T,ij} \approx N(0, \sigma_{T,j}^2)$$

donde la desviación estándar de los errores de lectura de edad por individuo j , $\sigma_{T,j}$, se basa en la suposición que el CV del error de lectura de edad es constante (esto es, $\sigma_{T,j} = CV_T \cdot T_j$) siendo CV_T el coeficiente de variación del error de lectura de edad. Cuando se tiene un único valor para la edad del individuo, el valor de CV_T no puede ser estimado dentro del modelo debido a la falta de grados de libertad. Solamente puede ser estimado cuando se cuenta con múltiples lecturas de edad, y asumiendo que la edad no esta sesgada se puede plantear que

$$CV_T = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n CV_{t,j}^2}{n}} \quad (9)$$

donde $CV_{t,j}$ es el coeficiente de variación para cada individuo j . Con los modelos aquí planteados para los errores en las longitudes observadas y para la estimación

de edades, el modelo no lineal con efecto aleatorio (NLEA) requiere finalmente caracterizar la distribución de las edades verdaderas. Para este propósito, tanto la distribución exponencial como la distribución Gamma se usaron para describir la población muestreada. Estas dos distribuciones, elegidas por Cope & Punt (2007), consideran que la distribución exponencial es una representación simplificada de una estructura de edad, decayendo en forma continua en el tiempo y constituye una caso especial de la distribución Gamma, la que contiene un parámetro adicional, pero que es bastante flexible para caracterizar la composición por edad muestreada atribuible a tendencias en el reclutamiento y/o la selectividad del muestreo.

La función de verosimilitud para el modelo de efecto aleatorio es dado para cada caso por:

a) Modelo Exponencial

$$L = \prod_j \int \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{L,j}}} \exp \left[-\frac{(l_j - L_j)^2}{2\sigma_{L,j}^2} \right] \prod_i \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{T,j}}} * \exp \left[-\frac{(t_{ij} - T_j)^2}{2\sigma_{T,j}^2} \right] \lambda \exp(-\lambda T) dT \quad (10)$$

b) Modelo Gamma

$$L = \prod_j \int \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{L,j}}} \exp \left[-\frac{(l_j - L_j)^2}{2\sigma_{L,j}^2} \right] \prod_i \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{T,j}}} * \exp \left[-\frac{(t_{ij} - T_j)^2}{2\sigma_{T,j}^2} \right] \frac{(T/\beta)^{\gamma-1} \exp[-(T/\beta)]}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} dT \quad (11)$$

Se utilizó el programa de interfase en Microsoft Excel® para acceder al procedimiento de estimación de los parámetros de la FCVB con efectos aleatorios, disponible en AD Model Builder (ADMB-RE, <http://otter-rsch.com/admbre/admbre.html>).

Resultados

Verificación de la edad

El error porcentual promedio (APE) y el índice de precisión (D) indican que la determinación de la edad fue muy consistente por dos lectores independientes, observándose en general que el lector 1 fue más preciso que el lector 2 (Tabla 1).

Al comparar mediante regresión lineal la edad promedio calculada por los lectores se observó un coeficiente de correlación ($r = 0,84$), lo que implica un alto grado de asociación en la determinación de la edad de los peces entre lectores. A su vez, el intercepto no fue significativo ($P = 0,751$) y la pendiente fue significativa ($P < 0,05$), pero

Tabla 1

Medidas de precisión (%) para intra-lector e inter-lector de la lectura de edad en otolitos enteros de besugo *E. crassicaudus*.

APE = error porcentual absoluto, V = coeficiente de variación, D = índice de precisión

Precision measurement (%) for intra-reader and inter-reader of age readings in whole otoliths of cardinalfish *E. crassicaudus*.

APE = absolute percentage error, V = coefficient of variation, D = precision index

| Lector | APE (%) | V (%) | D (%) |
|-----------------------|---------|-------|-------|
| Lector 1 | 3,99 | 5,17 | 2,99 |
| Lector 2 | 5,03 | 6,52 | 3,76 |
| Lector 1 vs. Lector 2 | 13,35 | 14,07 | 8,12 |
| Lector 2 vs. Lector 1 | 15,88 | 17,30 | 9,99 |

no fue estadísticamente diferente de 1 según el IC de 95% [0,96; 1,26] (Fig. 3). No obstante, también se observó un incremento en la dispersión en las edades mayores. En efecto, cuando se grafica la edad promedio calculada por el lector 2 respecto de la primera y segunda lectura de edad del primer lector, se pueden identificar desviaciones importantes (Fig. 4). Se observa que el lector 2 tiende a sobreestimar la edad respecto del lector 1, situación que es más evidente en las comparaciones pareadas del número de edades (Tabla 2).

En cuanto a la comparación de diferentes técnicas de preparación del otolito para la lectura de edades, la edad media de las lecturas en otolitos entero fue de 6,88 años ($\sigma^2 = 4,06$; $n = 52$) y en las secciones delgadas fue de 6,98 años ($\sigma^2 = 4,22$; $n = 52$). No hubo diferencias significativas entre las varianzas de las lecturas de los anillos anuales hialinos (prueba F, $P = 0,449$), ni en la edad media de las lecturas (prueba *t*-Student, $P = 0,810$). La lectura de la edad ya sea en otolito entero o en las secciones delgadas fue muy precisa, ya que el lector 1 alcanzó un error porcentual promedio de 1,35%. A su vez, la relación entre las edades no mostró desviaciones sistemáticas ($r^2 = 0,979$, $n = 52$, $P < 0,05$). No obstante, con la técnica de secciones delgadas se pudo apreciar un mayor número de anillos secundarios que fluctuaron entre 1 y 5, con un promedio de 3,01 ($\sigma^2 = 1,08$; $n = 52$), comparados con los anillos secundarios en otolitos enteros que fluctuaron entre 1 y 3 con un promedio de 2,13 ($\sigma^2 = 1,08$; $n = 52$). El mayor número de anillos secundarios en las secciones delgadas fue significativamente mayor que la frecuencia promedio detectada en otolitos enteros ($P < 0,05$), y fue directamente proporcional con el tamaño de los ejemplares (Fig. 5).

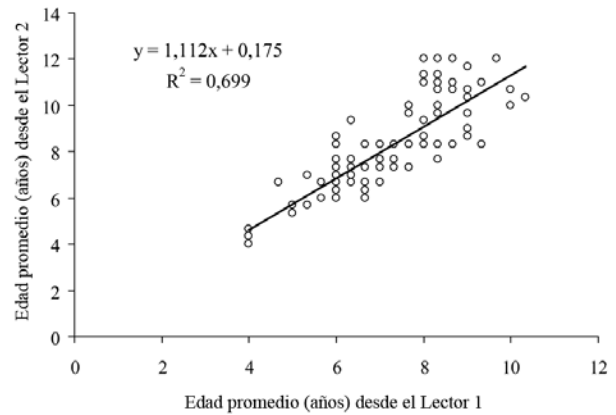


Figura 3

Relación entre la edad promedio de besugo del lector 2 y del lector 1; cada lector realizó tres lecturas a un mismo otolito

Relationships between the average age of cardinalfish from reader 2 and reader 1; each reader carried out three readings to the same otolith

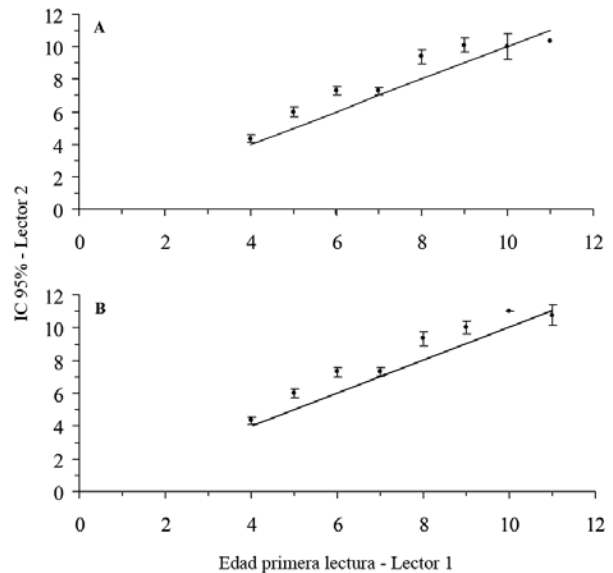


Figura 4

Comparación pareada entre lectores. La barra vertical representa el intervalo de confianza al 95% de la edad promedio determinada por un lector a todos los peces que fueron determinados a una edad dada por el lector 1. La recta representa una equivalencia de 1:1

Paired comparison between readers. The vertical bar represents 95% confidence interval for the average age determined by a reader for all fish that were aged by reader 1. The line represents an equivalence of 1:1

Tabla 2

Comparación pareada de la frecuencia de edades obtenidas por el lector 2 respecto de la primera lectura del lector 1 en otolitos enteros de besugo *E. crassicaudus*

Paired comparison of the age frequency obtained by reader-2 in relation to the first reading of reader-1 in whole otoliths of cardinalfish *E. crassicaudus*

| | | Lector 2 - Primera lectura | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------|----------------------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|-------|----|
| Edad | | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | Total | |
| Lector 1 - Primera lectura | 4 | 4 | | | | | | | | | | 4 | |
| | 5 | | 1 | 7 | 2 | | | | | | | 10 | |
| | 6 | | | 5 | 6 | 4 | 2 | 1 | | | | 18 | |
| | 7 | | | 4 | 9 | 5 | 1 | | | | | 19 | |
| | 8 | | | | 2 | 9 | 1 | 6 | 4 | 1 | 1 | 24 | |
| | 9 | | | | | 1 | 4 | 5 | 2 | 4 | | 16 | |
| | 10 | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 4 | |
| | 11 | | | | | | | | 1 | | | 1 | |
| | 12 | | | | | | | | | | | 0 | |
| | 13 | | | | | | | | | | | 0 | |
| | Total | | 4 | 1 | 16 | 19 | 20 | 8 | 13 | 8 | 6 | 1 | 96 |

| | | Lector 2 - Segunda lectura | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------|----------------------------|---|---|----|----|----|----|----|----|-------|----|--|
| Edad | | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Total | | |
| Lector 1 - Primera lectura | 4 | 3 | 1 | | | | | | | | 4 | | |
| | 5 | | 3 | 4 | 3 | | | | | | 10 | | |
| | 6 | | | 2 | 12 | 3 | 1 | | | | 18 | | |
| | 7 | | | 3 | 8 | 5 | 3 | | | | 19 | | |
| | 8 | | | | 5 | 1 | 6 | 5 | 5 | 2 | 24 | | |
| | 9 | | | | | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 16 | | |
| | 10 | | | | | | 1 | | 3 | | 4 | | |
| | 11 | | | | | | | | 1 | | 1 | | |
| | 12 | | | | | | | | | | 0 | | |
| | 13 | | | | | | | | | | 0 | | |
| | Total | | 3 | 4 | 9 | 28 | 12 | 14 | 8 | 13 | 5 | 96 | |

| | | Lector 2 - Tercera lectura | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------|----------------------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|-------|----|
| Edad | | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | Total | |
| Lector 1 - Primera lectura | 4 | 1 | 3 | | | | | | | | | 4 | |
| | 5 | | 3 | 5 | 2 | | | | | | | 10 | |
| | 6 | | | 3 | 7 | 6 | 2 | | | | | 18 | |
| | 7 | | | 3 | 9 | 7 | | | | | | 19 | |
| | 8 | | | | 2 | 8 | 3 | 3 | 4 | 4 | | 24 | |
| | 9 | | | | | 3 | 3 | 5 | 2 | 3 | | 16 | |
| | 10 | | | | | | 1 | 2 | 1 | | | 4 | |
| | 11 | | | | | | | 1 | | | | 1 | |
| | 12 | | | | | | | | | | | 0 | |
| | 13 | | | | | | | | | | | 0 | |
| | Total | | 1 | 6 | 11 | 20 | 25 | 11 | 8 | 7 | 7 | 0 | 96 |

Crecimiento en longitud con error en la determinación de la edad

La estimación de los parámetros de crecimiento en longitud ya sea admitiendo error en la lectura de edad con efectos aleatorios (NLEA), o ya sea con el procedimiento no lineal estándar (NLE) que solamente atribuye una variación natural en la longitud a la edad que se atribuye al proceso de crecimiento se resumen en la Tabla 3. El método NLE usualmente estimó valores positivos para el parámetro t_0 , lo que se debe a que las edades actuales comienzan en los cuatro años. En cambio,

el método con efectos aleatorios (NLEA) estimó un valor cero ya sea considerando que la estructura de edad sigue una función exponencial o gamma. Se observa además que con el método NLE, y considerando que existe correlación entre los parámetros de la FCVB, la estimación positiva de t_0 determinó una tendencia a sobrestimar el coeficiente de crecimiento k , y por ende, a subestimar la longitud asintótica L_∞ . El método NLEA fue más consistente en la estimación de los parámetros de crecimiento en longitud, incluso entre lectores (Fig. 6), y la función Gamma fue la que mejor reflejó la población muestreada (Fig. 7).

Tabla 3

Resultados del ajuste de los parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy a los datos de longitud con múltiples lecturas de edad de besugo *E. crassicaudus*. El prefijo NLEA implica el ajuste con efectos aleatorios, con estructura de error Exponencial (Exp) o Gamma (Gam) para la estructura de edad muestreada, según el primer lector (L1), segundo lector (L2), o ambos. El prefijo NLE implica el ajuste no lineal estándar de los parámetros, considerando la media aritmética (A), mediana (M), o primera lectura (P) según el lector 1, lector 2, o ambos. EE = error estándar, CV = coeficiente de variación

Results of the fitting the parameters of the von Bertalanffy growth function to length data with multiple readings of cardinalfish *E. crassicaudus*. NLEA prefix implies fitting with random effects, with Exponential (Exp) or Gamma (Gam) error structure for the sampled population, and according with reader-1 (L1), reader-2 (L2), or both. NLE prefix implies standard nonlinear fitting of growth parameters by considering the arithmetic average (A), median (M), or first readings (P) according to reader-1, reader 2, or both. EE = Standard error, CV = Coefficient of variation

| Lector | Código | L_∞ (cm) | EE | k (año ⁻¹) | EE | t_0 (año) | EE | CV | CV |
|--------|----------|--------------------|------|-----------------------------|-------|----------------|------|----------------------|------------------|
| | | | | | | | | Error en Longitud | Error en Edad |
| L1 | NLEA_Exp | 44,0 | 2,02 | 0,177 | 0,016 | 0,00 | 0,00 | 0,06 | 0,08 |
| | NLEA_Gam | 45,4 | 2,33 | 0,167 | 0,016 | 0,00 | 0,00 | 0,06 | 0,08 |
| | NLE_A | 39,1 | 3,59 | 0,274 | 0,107 | 1,10 | 0,92 | 0,10 | - |
| | NLE_M | 36,1 | 1,92 | 0,392 | 0,129 | 1,68 | 0,73 | 0,10 | - |
| | NLE_P | 45,3 | 9,02 | 0,163 | 0,095 | -0,18 | 1,44 | 0,10 | - |
| L2 | NLEA_Exp | 42,9 | 1,25 | 0,165 | 0,010 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,07 |
| | NLEA_Gam | 43,7 | 1,37 | 0,159 | 0,010 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,07 |
| | NLE_A | 39,9 | 3,1 | 0,215 | 0,067 | 0,78 | 0,89 | 0,10 | - |
| | NLE_M | 40,7 | 3,54 | 0,191 | 0,063 | 0,26 | 0,99 | 0,10 | - |
| | NLE_P | 39,8 | 3,23 | 0,216 | 0,073 | 0,74 | 1,01 | 0,10 | - |
| Ambos | NLEA_Exp | 45,3 | 1,58 | 0,157 | 0,011 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,12 |
| | NLEA_Gam | 46,8 | 1,85 | 0,147 | 0,011 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,12 |
| | NLE_A | 42,1 | 5,09 | 0,196 | 0,081 | 0,59 | 1,07 | 0,10 | - |
| | NLE_M | 41,6 | 4,76 | 0,196 | 0,079 | 0,39 | 1,06 | 0,10 | - |

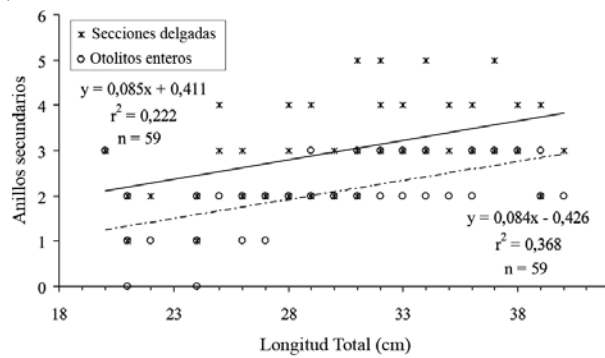


Figura 5

Frecuencia de anillos secundarios detectados en secciones delgadas transversales (cruces y línea continua) y otolitos enteros (circulo y línea segmentada) de besugo *E. crassicaudus*

Frequency of secondary rings identified in the thin transverse sections (cross and continuous line) and whole otoliths (circle and segmented line) of cardinalfish *E. crassicaudus*

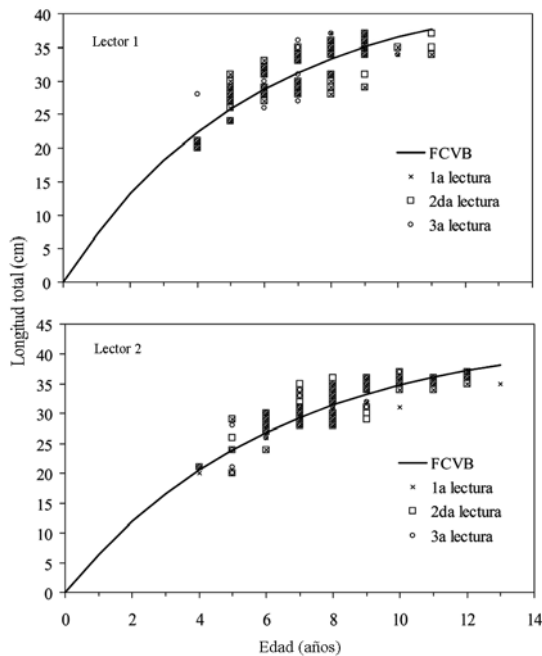


Figura 6

Función de crecimiento de von Bertalanffy para besugo *E. crassicaudus* según el ajuste con efectos aleatorios y error en la lectura de edad

Von Bertalanffy growth function for cardinalfish *E. crassicaudus* according with the fit with random effects and error in the age readings

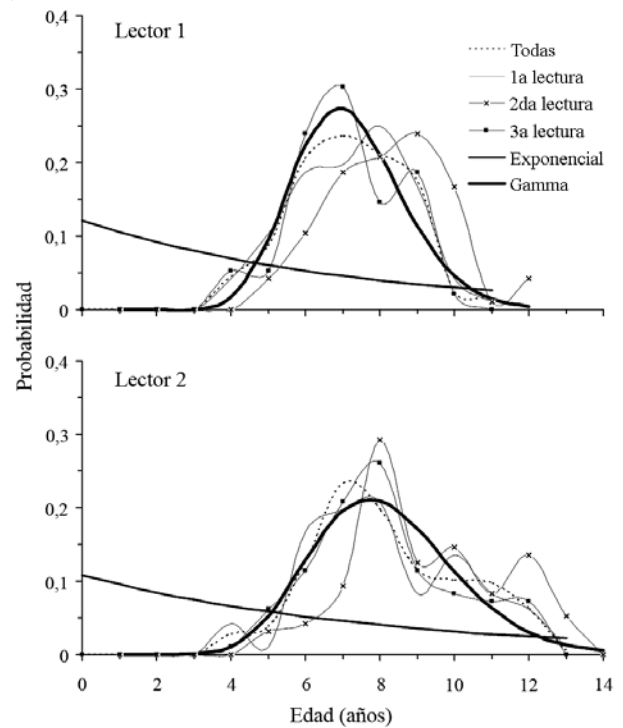


Figura 7

Distribución de edad muestreada para el besugo *E. crassicaudus* según el lector 1 y lector 2. Se muestran los ajustes de las funciones Exponencial y Gamma que caracterizan la distribución de edades en el ajuste de los parámetros de crecimiento con efectos aleatorios

Sampled distribution of age for cardinalfish *E. crassicaudus* according with reader 1 and reader 2. The fits of the Exponential and Gamma functions characterizing the age distribution in the growth parameters with random effects are shown

Discusión

En Chile, el besugo comenzó a ser explotado comercialmente en 1997 por la flota industrial de arrastre que opera normalmente sobre la merluza común (*Merluccius gayi*), y muchos aspectos biológicos y pesqueros comenzaron a ser conocidos a partir de 1998-1999 en un estudio técnico realizado por Gálvez *et al.* (2000). En dicho estudio se determinó por primera vez la edad en otolitos enteros y los parámetros de crecimiento en longitud. La edad máxima registrada fue de 15 años, y con un rango que comenzó a los 3 años, similar al rango de edades encontrado en este estudio, aunque en este caso con una menor representación de longitudes (sólo cinco ejemplares por cada talla). Asimismo, el primer

annulus fue validado recientemente mediante microincrementos de crecimiento, asumiendo que estos fueron de periodicidad diaria (Cubillos *et al.* 2009). En cuanto a la determinación de la edad en otolitos enteros, se puede establecer que la interpretación macroestructural de edades en los otolitos de besugo aquí realizada es consistente en términos del rango de edades que ha sido comunicada por Gálvez *et al.* (2000) y por Cubillos *et al.* (2009).

Se destaca que el besugo puede ser clasificado como una especie de profundidad, las que normalmente se caracterizan por su crecimiento lento, gran longevidad y baja fecundidad (Clark *et al.* 1993). En efecto, el besugo forma parte de la fauna acompañante de la pesquería de 'orange roughy' (*Hoplostethus atlanticus*) y alfonsino (*Beryx splendens*) (Niklitschek *et al.* 2007), tal como es el caso de *Epigonus telescopus* que concurre regularmente en la pesca de 'orange roughy' en Nueva Zelanda. Al respecto, para *E. telescopus* se determinó como especie muy longeva con una edad máxima no menor a 94 años, según la técnica radiométrica que esta, (Andrews & Tracey 2007). En tanto, Tracey *et al.* (2000) consideraron que esta especie es de crecimiento lento, con una edad de reclutamiento próxima a los 45 años, y una edad máxima de 104 años, según la lectura de secciones transversales de los otolitos. Claramente, tal estrategia de vida no se corresponde con la del besugo en Chile, que si bien presenta un crecimiento lento, la edad máxima registrada ha sido solamente de 15 años (Gálvez *et al.* 2000).

En este estudio se demuestra que la macroestructura anular del otolito de besugo es consistente, y que un lector con experiencia puede lograr una precisión aceptable inferior al 10%, aunque hacia el borde podría ocurrir una subestimación de la edad sino se examina con cuidado. La técnica de preparación tampoco influye en la interpretación de la estructura anular de los otolitos, ya que no se encontraron diferencias significativas en la determinación de la edad en secciones delgadas transversales con aquellas leídas de otolitos enteros.

Los parámetros de crecimiento en longitud que fueron estimados en este estudio deben ser considerados con precaución ya que los ejemplares jóvenes de crecimiento rápido no estuvieron presentes en las muestras. En efecto, la fracción juvenil menor a 20 cm no aparece regularmente en las capturas (Gálvez & Rebolledo 2001, Wiff *et al.* 2005), y ha sido la causa principal de que el método NLE haya estimado valores positivos para el parámetro t_0 y sobrestimación del coeficiente de crecimiento k , y subestimación de la longitud asintótica, dada la correlación estadística que existe en los

parámetros de crecimiento de la FCVB. Al admitir error en la determinación de la edad, los parámetros de crecimiento en longitud fueron muy consistentes ya sea para lector 1 o lector 2 (Fig. 6). Las estimaciones de la longitud asintótica (L_∞) fue próxima a los 45 cm de longitud total y el coeficiente de crecimiento cercano a 0,16-0,18 por año. Valores similares fueron comunicados por Gálvez *et al.* (2000) para la FCVB ($L_\infty = 45,2$ cm, $k = 0,112$ año⁻¹, $t_0 = -0,775$ años), sobre la base del método de retrocálculo de la longitud para representar el crecimiento en longitud de los peces no observados en las muestras. Se concluye que el besugo es una especie de crecimiento lento, y que la determinación de la edad en otolitos enteros es precisa y aceptable en términos de su implementación para la vigilancia de la estructura de edades de este recurso.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. Jason M Cope (University of Washington, Seattle, WA, USA) por facilitar el programa VBGF con efectos aleatorios. Se agradece a los evaluadores anónimos del manuscrito, cuyos comentarios y sugerencias permitieron mejorar la presentación. LC agradece el financiamiento otorgado a través del Proyecto FIP N° 2007-36 'Edad, crecimiento y mortalidad natural de besugo'.

Literatura citada

- Andrews AH & DM Tracey. 2007.** Age validation of orange roughy and black cardinalfish using lead-radium dating. Final Research Report for Ministry of Fisheries Research Project DEE2005-02, Objective 1, 40 pp., National Institute of Water and Atmospheric Research, New Zealand.
- Beamish RJ & DA Fournier. 1981.** A method for comparing the precision of a set of age determinations. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 38: 982-983.
- Beamish RJ & GA McFarlane. 1987.** Current trends in age determination methodology. En: Summerfelt RC & GF Hall (eds). Age and growth of fish, pp. 15-42. Iowa State University Press, Ames.
- Bedford B. 1983.** A method for preparing sections of large number of otoliths embedded in black polyester resin. Journal du Conseil 41: 4-12.
- Campana SE, MC Annand & JI McMillan. 1995.** Graphical and statistical methods for determining the consistency og age determinations. Transactions of the American Fisheries Society 124: 131-138.
- Chang WYB. 1982.** A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 39: 1209-1210.
- Clark MW, CJ Kelly, PL Connolly & JP Molloy. 2003.** A life history approach to the assessment and management of

- deepwater fisheries in the Northeast Atlantic. *Journal of Northwest Atlantic Fisheries Science* 31: 401-411.
- Cope JM & AE Punt. 2007.** Admitting ageing error when fitting growth curves: an example using the von Bertalanffy growth function with random effects. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 64: 205-218.
- Cubillos L, M Aguayo, C Castillo-Jordán, J Peñailillo, M Neira, E Sanhueza, M Pedraza-García & M Salamanca. 2009.** Edad, crecimiento y mortalidad natural de besugo. Informe Técnico del Fondo de Investigación Pesquera FIP – IT/2007-36: 1-150.
- Gálvez M & H Rebolledo. 2001.** Estructura de longitud y relación longitud-peso en besugo (*Epigonus crassicaudus*), en la zona centro-sur de Chile. *Investigaciones Marinas* 29: 39-49.
- Gálvez M, H Rebolledo, C Pino, L Cubillos, A Sepúlveda & A Rojas. 2000.** Parámetros biológico-pesqueros y evaluación del stock de besugo (*Epigonus crassicaudus*), 110 pp. Informe Final, Instituto de Investigación Pesquera VIII Región, Talcahuano.
- Kimura DK & D Lyons. 1991.** Between-reader bias and variability in the age-determination process. *Fishery Bulletin* 89: 53-60.
- Morales-Nin B. 1992.** Determination of growth in bony fishes from otolith microstructure. *FAO Fisheries Technical Paper* 322: 1-51.
- Niklitschek E, J Cornejo, E Hernández, P Toledo, C Herranz, R Merino, A Lafon, L Castro, R Roa & GAedo. 2007.** Evaluación hidroacústica de alfonsino y orange roughy, año 2006. Informe Técnico del Fondo de Investigación Pesquera FIP – IT/2006-09: 1-201.
- Piñeiro C, J Rey, H de Pontual & A García. 2008.** Growth of Northwest Iberian juvenile hake estimated by combining sagittal and transversal otolith microstructure analysis. *Fisheries Research* 93: 173-178.
- Tracey DM, K George & DJ Gilbert. 2000.** Estimation of age, growth, and mortality parameters of black cardinalfish (*Epigonus telescopus*) in QMA 2 (east coast North Island). *New Zealand Fisheries Assessment Report 2000/27*: 1-21.
- Wiff R, JC Quiroz & R Tascheri. 2005.** Estado de explotación del recurso besugo (*Epigonus crassicaudus*) en Chile. *Investigaciones Marinas* 33: 57-67.
- Wiff R, JC Quiroz, R Tascheri & F Contreras. 2008.** Effect of fishing tactics on the standardization of cardinalfish (*Epigonus crassicaudus*) catch rates in the demersal multispecies fishery off central Chile. *Ciencias Marinas* 34: 143-154.
- Wilson CA, RJ Beamish, EB Brothers, KD Carlander, JM Casselman, JM Dean, A Jearld Jr, ED Prince & A Wild. 1987.** Glossary. En: Summerfelt RC & GE Hall (eds). *Age and growth of fish*, pp. 527-530. Iowa State University Press, Ames.

Recibido el 18 de agosto de 2008 y aceptado el 19 de mayo de 2009