

RETROCALCULO DEL PESO PROMEDIO A LA EDAD: ¿ES NECESARIO ?

BACK-CALCULATION OF WEIGHT AT AGE: IS IT NECESSARY?

Luis Cubillos S.* y Miguel Araya C.**

RESUMEN

Se analiza el retrocálculo del peso promedio a la edad con el objeto de determinar si este procedimiento se debe considerar como un aspecto separado del retrocálculo de la longitud en estudios de edad y crecimiento. Se simuló la historia de vida de 350 ejemplares, los cuales fueron capturados a partir de la edad 3 hasta la 9. Con estos datos se evaluó la eficiencia de cuatro procedimientos para retrocalcular el peso a la edad, tanto de los individuos no contenidos en la muestra (de edad 1 y 2) como de los capturados, utilizando el error porcentual relativo como medida de sesgo entre los valores estimados y los verdaderos (simulados). Los métodos de retrocálculo evaluados fueron: a) la relación longitud-peso (RLP) usando la longitud retrocalculada; b) la ecuación propuesta por Beyer (1991); c) retrocálculo del peso a partir de las longitudes retrocalculadas, donde el peso es corregido por la razón entre el peso observado y el estimado al momento de la captura; y, d) retrocálculo del peso utilizando una relación entre el peso del pez y el radio de su otolito, sin tomar en cuenta las longitudes retrocalculadas. El cálculo del peso utilizando la RLP produce subestimación en las edades que cuentan con muestras (edad 3 en adelante) y sobreestimación en la edad 1 y 2 (ca. 40% y 10%, respectivamente). Los pesos en las edades más jóvenes fueron sobreestimados con todos los procedimientos, pero el sesgo positivo tiende a cero con la edad. El procedimiento (d) fue más eficiente para las edades más jóvenes y apoya la idea de retrocalcular el peso sin tomar en cuenta las longitudes retrocalculadas.

Palabras clave: Edad y crecimiento, retrocálculo, otolitos, relación longitud-peso.

ABSTRACT

The back-calculation of the weight at age is analyzed in order to determine whether this procedure should be considered as a separated aspect of the back-calculation of length in age and growth studies. The life history of 350 fish was simulated, which were captured from the age 3 until 9. These data were used to evaluate four procedures for the back-calculation of the weight at age. The relative error between the estimates and the true simulated values is used as a measure of bias. The methods of back-calculation of the weight were: a) the relationship length-weight (RLW) using the back-calculated lengths; b) the equation proposed by Beyer (1991); c) back-calculation of the weight using the back-calculated length, where the weight is corrected by the ratio between the observed and estimated weight at the moment of the catch; and, d) back-calculation of the weight using a relationship between the weight of the fish and the radius of their otolith without taking into account the length of fish. The back-calculation of the weight using the RLW produces underestimate in the ages that have samples (ages 3 to 9) and overestimation in the ages 1 and 2 (ca. 40% and 10%, respectively). The weights were overestimated in the most younger ages using all the procedures but the positive bias tends to zero in the most oldest ages. The procedure (d) was more efficient in the most younger ages and the idea of back-calculating the weight at age without taking into account the back-calculation of length is favored.

Key words: Back-calculation, age and growth, weight at age, otolith, relationship length-weight.

Fecha de recepción: 24 - 11 - 97. Fecha de aceptación: 23 - 02 - 98.

*Instituto de Investigación Pesquera, Casilla 350, Talcahuano, Chile. E-mail: inpesca@arauco.reuna.cl, Fax: 56-41-583939. Tel.: 56-41-584820

**Departamento de Ciencias del Mar, Universidad Arturo Prat, Casilla 121, Iquique, Chile. E-mail: maraya@cec.unap.cl, Fax: 56-57-380393. Tel.: 56-57-380222

INTRODUCCION

En estudios de edad y crecimiento usualmente es necesario estimar las longitudes de los peces en edades previas de un mismo individuo, procedimiento que se utiliza particularmente cuando no se cuenta con muestras de ejemplares jóvenes. Esta técnica, conocida como retrocálculo de longitudes también se utiliza con otros propósitos, tales como: (i) identificar el momento de formación de los anillos de crecimiento en los otolitos (Melo, 1984); (ii) estudios de la dinámica de crecimiento de los primeros estadios de vida de los peces (Laiding *et al.*, 1991); (iii) determinar el comienzo de la madurez sexual en hembras de peces (Rijnsdorp & Storbeck, 1991); (iv) analizar los cambios de la longitud a la edad de las clases anuales (Sjöstrand, 1992); y (v) obtener la distribución de fechas de nacimiento de diferentes especies (Woodbury & Ralston, 1991).

Francis (1990) revisa el retrocálculo de las longitudes destacando la importancia de utilizar adecuadamente una función de retrocálculo. En efecto, muy a menudo el procedimiento más utilizado para retrocalcular longitudes consiste en ingresar directamente el radio promedio de todos los ejemplares a la edad en una ecuación de regresión, obtenida entre la longitud del pez y el radio total de su otolito al momento de la captura.

Sin embargo, el método de regresión es indirecto y no toma en cuenta el crecimiento individual, lo que se debe principalmente al efecto de promediar la longitud de los peces para un tamaño dado del otolito (Carlander, 1981; Ricker, 1992; Secor & Dean, 1992). Además, la función de regresión utilizada (lineal, potencial, polinomial) sólo define la relación promedio para la población, no para los individuos. Los métodos de retrocálculo tradicionales, como el de Fraser-Lee, toman en cuenta el crecimiento individual y si bien es cierto se basan en las regresiones, éstas últimas no se utilizan para el cálculo directo de las longitudes (Carlander, 1981; Francis, 1990). A su vez, el método de retrocálculo sólo es válido si la función radio del otolito-longitud del pez explica adecuadamente el crecimiento de los individuos más jóvenes que no están en las muestras, problema típico de extrapolación estadística.

Es evidente la importancia que reviste el cálculo adecuado de las longitudes promedio a

cada edad, particularmente cuando las muestras de peces jóvenes no están disponibles, ya que el objetivo final en estudios de edad es describir adecuadamente el crecimiento, para luego resumir dicho conocimiento mediante la estimación de los parámetros de algún modelo de crecimiento, tal como la función de von Bertalanffy (FCVB). La estimación de parámetros de crecimiento se utiliza para que el conocimiento sobre el crecimiento de la especie bajo estudio pase a una fase predictiva, utilizada generalmente en la evaluación de stock (Hilborn & Walters, 1992).

Aunque se ha dado importancia y énfasis a la estimación adecuada de la longitud a las edades, ¿qué ocurre con el peso promedio de los ejemplares a la edad?, ¿cuál es la razón de no ser tan riguroso con la estimación del peso promedio a la edad de los peces?. Estas preguntas son adecuadas y pertinentes toda vez que el peso promedio a la edad es un dato muy importante en la estimación de la producción, biomasa y niveles de captura si la especie está sujeta a la explotación comercial.

Usualmente, con el propósito de convertir la longitud promedio a peso promedio se utiliza la relación longitud-peso (RLP). Sin embargo, ¿es adecuado realizar el cálculo directo de los pesos promedio utilizando la RLP?. Pienaar & Ricker (1968) recomiendan considerar la varianza de las longitudes a cada edad para obtener estimaciones insesgadas del peso promedio de un grupo de peces. Beyer (1987) propone una ecuación para estimar el peso promedio de un intervalo de longitud, en tanto Beyer (1991) muestra una serie de métodos para estimar el peso promedio a partir de grupos de longitud.

El objetivo de este estudio es analizar el retrocálculo del peso promedio a la edad y proponer un procedimiento adecuado para estimar el peso a edades actuales y pasadas, el cual permita conducir a estimaciones insesgadas del peso promedio a la edad.

MATERIALES Y METODOS

Se simuló la historia del crecimiento de 350 peces, 50 ejemplares por grupos de edad en un rango de edades comprendidos entre 3 y 9 años. A estos peces se les conoce los siguientes datos:

longitud, peso y radio del otolito al momento de cumplir cada año de vida y al momento de la captura (fecha de muerte). La captura de los ejemplares comenzó a partir de la edad 3, peces a los cuales se les conoce toda su historia de vida simulada, pero se supondrá que sólo se conoce los siguientes datos: longitud, peso y radio del otolito al momento de la captura, así como el radio del otolito al momento de cumplir cada edad. Estos últimos datos son los que permiten estudiar el crecimiento y retrocalcular las longitudes en cualquier población real. La diferencia con una población real es que en ésta se desconoce los datos de la historia individual.

El crecimiento promedio de todos los peces se modeló con la ecuación de von Bertalanffy

$$L_t = L_\infty [1 - \exp(-K(t-t_0))] \quad (1)$$

donde L_t es la longitud promedio (cm) a la edad t (años), L_∞ es la longitud asintótica (cm), K es el coeficiente de crecimiento (año^{-1}), y t_0 es una edad hipotética (año) cuando la longitud del pez es cero (Beverton & Holt, 1957). El crecimiento de cada pez se simuló con la siguiente ecuación general

$$(L_\infty, K, t_0)_j = (L_\infty, K, t_0)_p (1 + z_{0,1} CV) \quad (2)$$

donde el subíndice j identifica a un pez, p denota los parámetros promedios de la población, $z_{0,1}$ es un número aleatorio con distribución normal y varianza igual a la unidad, $N(0,1)$, y CV es el coeficiente de variación de los parámetros. En este estudio se utilizó los parámetros $[L_\infty, K, t_0]_p = [70; 0,2; -0,5]$ y $CV = 20\%$ para cada uno, asumiendo que varían independientemente. Estos parámetros reflejan el crecimiento en longitud de una especie de tamaño medio y de crecimiento relativamente rápido.

Para simular el peso promedio de cada pez a lo largo de su vida, se utilizó

$$W_{jt} = a_j L_{jt}^{b_j} \quad (3)$$

donde W_{jt} es el peso promedio del pez j a la edad t , que se estima a partir de la longitud L_{jt} a la edad t , a_j y b_j son parámetros para cada uno de los peces, cuyos valores promedio poblacionales

se fijaron en $a = 0,009$ y $b = 3$. Sin embargo, debido a que los parámetros a y b tienden a covariar entre sí, en la determinación de los parámetros de un pez individual se utilizó la siguiente relación

$$b_j = 1,8 - 0,27 \cdot \ln(a_j) \quad (4)$$

El procedimiento consistió entonces en generar valores alternativos e igualmente probables del parámetro "a" para el pez j , según

$$a_j = a \cdot \exp(z_{0,1} EE) \quad (5)$$

donde EE representa el error estándar del parámetro, obtenido con un $CV = 20\%$ (i.e. $EE = 0,009 \cdot 0,2$). Los valores de a_j , así obtenidos, se reemplazaron en la ecuación (4), cuyos resultados fueron modificados aleatoriamente asumiendo un error estándar de 0,01 para dicha ecuación.

El radio de los otolitos a cada edad de los peces se estimó considerando la siguiente relación

$$R_{jt} = 2,5 + 1,2L_{jt} \quad (6)$$

donde R es el radio del otolito del pez j a la edad t (por ejemplo en divisiones de micrómetro ocular, dmo) que se estima a partir de la longitud a la edad t del pez j . Los valores de los parámetros de esta ecuación lineal fueron modificados aleatoriamente para cada pez j , utilizando un $CV = 10\%$ y suponiendo que ambos parámetros varían en forma independiente.

La longitud, peso y radio del otolito al momento de la captura (L_c , W_c y R_c respectivamente) se obtuvo incrementando aleatoriamente la longitud de una cierta edad en el rango 0-5%. Así, un pez de edad 5 años, podría haber sido capturado a una longitud mayor o igual que al momento de cumplir 5 años, pero no más allá que 1,05 veces la longitud que alcanzaría a los 5 años. Se consideró adecuado este nivel máximo para evitar que los peces al momento de la captura alcanzaran una longitud mayor que la edad siguiente por cumplir, sobre todo en las edades más viejas.

METODOS DE RETROCALCULO

Retrocálculo de las longitudes

La estimación de la longitud promedio que habría tenido un pez a una edad determinada, se realizó considerando la hipótesis de proporcionalidad de la longitud del pez (Francis, 1990), en la cual la longitud estimada a la edad t del pez j está dada por

$$\hat{L}_{jt} = f(R_{jt}) \left(\frac{L_{qj}}{f(R_{qj})} \right) \quad (7)$$

donde $f(R)$ es una función que relaciona la longitud del pez con el radio del otolito. En este estudio se consideró una función lineal, i.e.

$$\begin{aligned} f(R_{jt}) &= \hat{L}_{jt} = a + bR_{jt} \\ f(R_{qj}) &= \hat{L}_{qj} = a + bR_{qj} \end{aligned} \quad (8)$$

donde los parámetros "a" y "b" se obtienen mediante regresión entre la longitud del pez y el radio del otolito al momento de la captura. La función se utiliza para predecir la longitud del pez j a la edad t a partir del radio observado del otolito del mismo pez a la edad t , $f(R_{jt})$, corregida por la razón existente entre la longitud observada del pez al momento de la captura (L_{qj}) y la longitud estimada al momento de la captura utilizando el radio total observado, $f(R_{qj})$.

La ecuación (7) permite corregir la desviación entre la longitud que se estima a través del modelo de regresión y la longitud actual al momento de la captura (Francis, 1990). No obstante, el método más utilizado consiste en el método de regresión, considerando los radios promedios de todos los peces a la edad, i.e.

$$\bar{L}_t = f(\bar{R}_t) \quad (9)$$

donde $f(R)$ es la función existente entre la longitud del pez y el radio del otolito, utilizando como dato de entrada para esta relación el radio promedio observado de todos los peces a cada edad. En este estudio se considera solamente las longitudes retrocalculadas utilizando la ecuación (7) y (8).

RETROCALCULO DEL PESO

• Procedimiento A

Consiste en utilizar la relación longitud-peso (RLP), i.e.

$$\bar{W}_t = a\bar{L}_t^b \quad (10)$$

donde la longitud promedio a cada edad t es la longitud retrocalculada con la ecuación (7), a y b son los parámetros estimados a partir de la relación entre la longitud y el peso al momento de la captura.

• Procedimiento B

El segundo procedimiento consiste en estimar el peso promedio a la edad t con la ecuación propuesta por Beyer (1991), i.e.

$$\bar{W}_t = a\bar{L}_t^b [1 + 0,5b(b-1)CV^2] \quad (11)$$

donde CV es el coeficiente de variación de las longitudes promedio retrocalculadas. La ecuación (11) es válida cuando los datos de longitud presentan una distribución log-normal o cuando la distribución es normal con un CV $\leq 1/3$ (Beyer, 1991).

• Procedimiento C

Este procedimiento considera la longitud de cada pez j , obtenida con la ecuación (7), y los parámetros a y b de la RLW estimados a partir de las longitudes y pesos observados al momento de las capturas, i.e.

$$\hat{W}_{jt} = a\hat{L}_{jt}^b \left(\frac{W_{qj}}{aL_{qj}^b} \right)$$

De acuerdo con la ecuación (12), para cada pez j , el peso promedio estimado con los parámetros a y b se corrige por la razón entre el peso observado y el estimado al momento de la captura.

• Procedimiento D

Este procedimiento supone la existencia de una relación entre el peso del pez y el tamaño del otolito al momento de la captura, *i.e.*

$$W = g(R) \quad (13)$$

donde $g(R)$ puede ser una función potencial ya que dimensionalmente se está relacionando un volumen o masa con una longitud, *i.e.*

$$W = qR^d \quad (14)$$

En consecuencia, el método de retrocálculo del peso que se propone consiste en la siguiente ecuación considerando la hipótesis de proporcionalidad del cuerpo, *i.e.*

$$\hat{W}_{jt} = qR_{jt}^d \left(\frac{W_{ct}}{qR_{ct}^d} \right) \quad (15)$$

Se destaca que en la ecuación (15) sólo el radio del otolito se utiliza para estimar el peso promedio a edades pasadas, el retrocálculo de las longitudes no se toma en cuenta.

Evaluación de los procedimientos

Las verdaderas longitudes y pesos por edad de los 350 individuos capturados se conocen. Se han simulado los procedimientos de retrocálculo para la longitud y peso, antes descritos, considerando que en cualquier estudio de edad y crecimiento solamente se conoce la longitud, peso y radio del otolito al momento de la captura, así como los radios a cada edad de cada ejemplar.

Para cuantificar el grado de desviación que se genera con los distintos procedimientos, se utilizó el error porcentual relativo, que viene dado por

$$EPR = \left| \frac{X^{\text{Estimado}} - X^{\text{Verdadero}}}{X^{\text{Verdadero}}} \right| \cdot 100 \quad (16)$$

donde X^{Estimado} es el atributo de interés estimado, el cual se compara con el valor verdadero ($X^{\text{Verdadero}}$), en este caso la longitud y peso retrocalculados a la edad t con respecto al verdadero valor de las longitudes y pesos a la edad.

RESULTADOS

Cuando se realiza un estudio de edad y crecimiento, los únicos datos con los que el investigador cuenta son la longitud, el peso y el radio del otolito al momento de la captura, así como el radio a cada edad para los peces individuales. Se desconoce absolutamente la historia de vida de cada ejemplar en términos de los parámetros que describen su crecimiento. Por esta razón, solamente se pueden obtener relaciones promedio para un conjunto de individuos.

Una de esas relaciones promedio es la relación longitud-peso (Pauly, 1984), la cual se estima a partir de los datos de longitud (L) y peso (P) al momento de la captura (Figura 1a). A su vez, la relación existente entre la longitud del pez y el radio del otolito (R) también se obtiene a partir de la longitud del pez y el radio total de su otolito al momento de la captura (Figura 1b). Para el total de individuos que han sido capturados ($n=350$), las relaciones quedan descritas por $\ln(P) = a + b\ln(L)$, donde $a = -4,818 \pm 0,121$ y $b = 3,099 \pm 0,031$ ($r^2 = 0,991$; $P < 0,01$) en el caso de la relación longitud-peso; $L = a + bR$, donde $a = 3,820 \pm 2,01$ y $b = 0,743 \pm 0,032$ ($r^2 = 0,860$; $P < 0,01$) para la relación longitud del pez-radio del otolito; y $\ln(P) = a + b\ln(R)$ para la relación peso-radio (Figura 1c), donde $a = -4,970 \pm 0,494$ y $b = 2,971 \pm 0,121$ ($r^2 = 0,870$; $P < 0,01$). Esta última relación se utiliza para desarrollar el retrocálculo del peso según el procedimiento D (Ecuación 15).

La relación longitud-peso y peso del pez-radio del otolito son funciones no-lineales, cuyos parámetros se estimaron utilizando regresión lineal, previa transformación logarítmica de los datos. Luego, el antilogaritmo del intercepto de cada relación se multiplicó por el factor de corrección " $\exp(s^2/2)$ ", donde s^2 es el error estándar de estimación. En el caso de la relación longitud-peso, el ajuste indica que el exponente b es distinto de 3 a pesar que para generar los datos simulados se utilizó $b=3$ (poblacional), situación que se podría deber al procedimiento utilizado para generar los valores de los individuos (ver Ecuación 4) o bien a que la relación se establece sólo a partir de las longitudes y pesos de los individuos de más de 3 años.

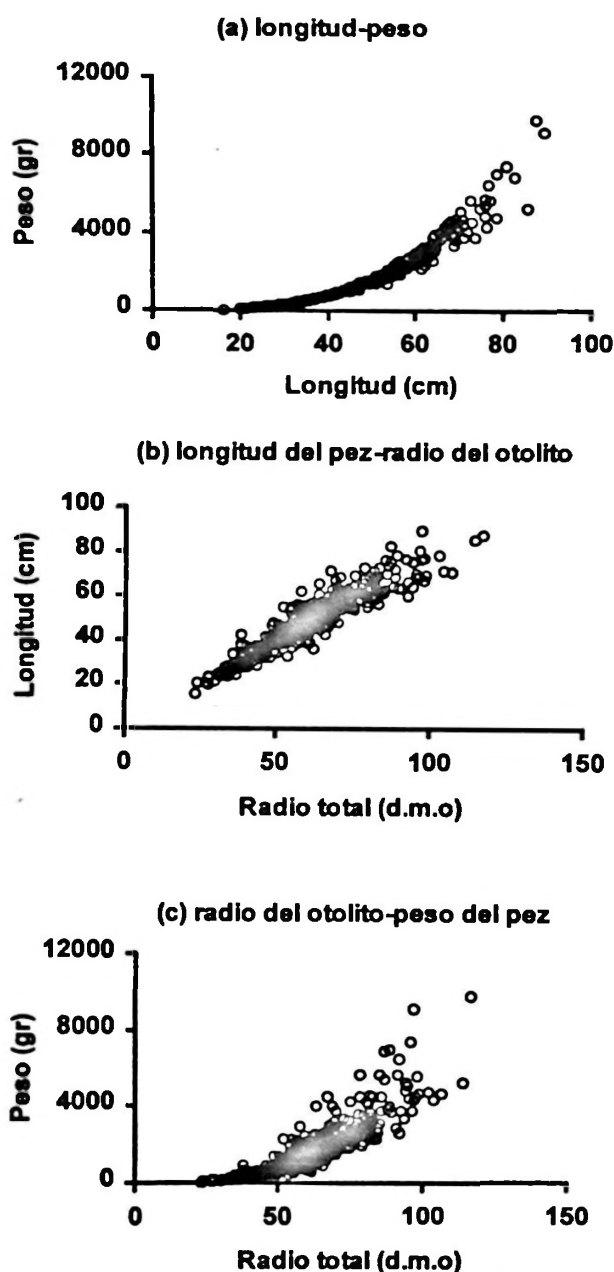


Figura 1. Relaciones entre las variables de 350 peces al momento de la captura (datos simulados).

Relationships between variables of 350 fish at the moment of the catch (simulated data).

Longitudes retrocalculadas y observadas

Las longitudes retrocalculadas utilizando el procedimiento de Francis (1990) (Ecuación 7), se presenta en la Tabla 1. Asimismo, se presentan las longitudes promedio verdaderas, por edad, de los peces capturados, así como la longitud

que predice el modelo de crecimiento para la población utilizado en la simulación ($L_{\infty}=70$ cm; $K=0,2$ año⁻¹; $t_0=-0,5$ año). Se observa que las longitudes al momento de la captura (L_c) son siempre mayores que las longitudes retrocalculadas y que las verdaderas al momento de cumplir cada edad; sean éstas del modelo o bien las longitudes promedio verdaderas de los peces a los cuales se les retrocalculó la longitud. El coeficiente de variación se mantiene relativamente estable, en alrededor del 22%. La longitud retrocalculada de los peces no contenidos en las muestras (edad 1 y 2) tiende a ser mayor que la longitud promedio verdadera de los peces en 20,5% y 9,3% para la edad 1 y 2 respectivamente.

Retrocálculo del peso

El peso promedio verdadero de los ejemplares a la edad y su desviación estándar se indica en la Tabla 2, y también el peso retrocalculado con los procedimientos A y B. Se observa en general que el procedimiento A determina pesos promedio más bajos por edad que el procedimiento B, de Beyer (1991).

Los resultados de los procedimientos C y D para el retrocálculo del peso promedio a la edad se presenta en las Tablas 3 y 4, respectivamente. Se destaca que, al contrario de los procedimientos A y B, los procedimientos C y D toman en cuenta la proporción entre los valores observados y estimados del peso promedio al momento de la captura. Situación que permite tomar en cuenta el crecimiento individual y, si bien es cierto se basan en las regresiones, éstas últimas no se utilizan para el cálculo directo de los pesos promedio.

Al comparar cada uno de los procedimientos respecto de los verdaderos pesos promedio de los peces capturados a la edad (Tabla 2), se observa que el cálculo del peso promedio utilizando la relación longitud-peso a partir de las longitudes retrocalculadas produce en general subestimaciones de los pesos promedio en todas las edades que cuentan con muestras (edad 3 en adelante). En las edades 1 y 2, sin embargo, produce una sobreestimación del orden del 40% y 10%, respectivamente (Figura 2).

Los procedimientos B y C generan sobreestimaciones en las edades más jóvenes,

Tabla 1. Longitud a la edad retrocalculada según el método de Francis (1990), longitud promedio al momento de la captura (Lc), longitud por edad del modelo de von Bertalanffy usado en la simulación, y longitud promedio verdadera de los peces capturados por edad.

Length at age back-calculated using the method of Francis (1990), mean length at the moment of the catch (Lc), length by age from the von Bertalanffy growth model used in the simulation and true average length by age of the fish captured.

Edad (años)	Datos observados				E D A D (años)								
	n	Lc (cm)	d.e. (cm)	CV	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	50	34,6	8,6	0,25	20,1	27,7	33,9						
4	50	41,2	9,8	0,24	20,9	28,7	35,1	40,3					
5	50	46,4	10,2	0,22	21,2	29,1	35,7	41,0	45,4				
6	50	50,4	11,6	0,23	21,0	29,1	35,7	41,1	45,7	49,4			
7	50	54,4	10,1	0,19	21,5	29,7	36,4	42,0	46,5	50,2	53,3		
8	50	58,5	12,2	0,21	22,1	30,5	37,4	43,1	47,7	51,5	54,6	57,2	
9	50	60,1	13,3	0,22	21,8	30,1	36,9	42,5	47,1	50,9	54,0	56,6	58,7
Longitudes retrocalculadas por edad				L _i (cm) =	21,2	29,3	35,9	41,7	46,5	50,5	54,0	56,9	58,7
				d.e. (cm) =	4,55	6,49	8,00	9,07	9,91	10,69	11,09	12,13	13,05
				n =	350	350	350	300	250	200	150	100	50
				CV =	0,21	0,22	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21	0,21	0,22
Von Bertalanffy				L _t (cm) =	18,1	27,5	35,2	41,5	46,7	50,9	54,4	57,2	59,5
Longitud promedio verdadera de los peces capturados				L _i (cm) =	17,6	26,8	34,2	40,5	45,6	49,9	53,6	56,6	58,6
				d.e. =	4,46	6,42	7,94	9,03	9,89	10,68	11,09	12,13	13,06
				n =	350	350	350	300	250	200	150	100	50
				CV =	0,25	0,24	0,23	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21	0,22

Tabla 2. Peso promedio verdadero y su desviación estándar (d.e.) para los individuos capturados y retrocálculo del peso a la edad utilizando los procedimientos A y B, consistentes en la relación longitud-peso (RLP) y la ecuación propuesta por Beyer (1991), respectivamente.

True mean weight and standard deviation of the weight for the individuals captured, and back-calculation of the weight using the procedures A and B, which are based respectively on the relationship length-weight and the equation of Beyer (1991).

Edad (años)	Peso verdadero simulado (gr)			Procedimientos	
	Promedio	d.e.	n	A RLP (gr)	B Beyer (1991) (gr)
1	75,9	59,2	350	104,5	120,7
2	262,9	187,7	350	284,5	329,9
3	550,1	375,6	350	534,0	620,5
4	905,2	586,4	300	849,1	980,0
5	1295,9	808,6	250	1191,2	1367,2
6	1702,9	1058,8	200	1541,3	1766,0
7	2098,5	1279,0	150	1895,1	2155,0
8	2552,2	1625,5	100	2228,0	2557,4
9	2919,7	1931,7	50	2459,5	2854,8

del orden de 60% y 25% para las edades 1 y 2, respectivamente. En general, el sesgo positivo tiende a cero con la edad en todos los procedimientos contemplados, excepto en el procedimiento A que genera subestimaciones del peso promedio en las edades más viejas.

En general, el procedimiento D generó el sesgo más bajo en todas las edades, particularmente en la edad 1. Al parecer, ello se debe a que este procedimiento utiliza directamente el radio del otolito a cada edad para estimar el peso sin pasar por una estimación de las longitudes.

Tabla 3. Pesos promedio retrocalculados utilizando el procedimiento C.

Mean weight back-calculated using the C procedure.

Edad (años)	n	Datos observados			E D A D (años)									
		Wc (g)	d.e. (gr)	CV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
3	50	584,7	461,4	0,79	108,6	294,5	550,0							
4	50	970,0	694,5	0,72	119,2	320,3	594,3	907,7						
5	50	1362,1	832,8	0,61	119,7	323,5	605,0	931,2	1273,6					
6	50	1784,9	1164,2	0,65	117,7	325,3	616,3	957,6	1319,3	1679,0				
7	50	2059,7	1046,0	0,51	117,2	318,6	599,0	926,6	1272,9	1616,5	1943,1			
8	50	2744,2	1721,4	0,63	132,4	365,4	689,4	1065,6	1460,2	1848,1	2213,7	2547,9		
9	50	3150,5	2058,6	0,65	135,6	373,4	704,8	1091,2	1497,8	1899,3	2279,0	2627,4	2940,1	
Peso promedio retrocalculado por edad		Wt (gr)	=		121,5	331,6	622,7	980,0	1364,8	1760,7	2145,3	2587,6	2940,1	
		d.e. (gr)	=		80,8	222,0	414,6	628,8	851,0	1096,5	1313,0	1649,4	1944,7	
		n	=		350	350	350	300	250	200	150	100	50	
		CV	=		0,67	0,67	0,67	0,64	0,62	0,62	0,61	0,64	0,66	

Tabla 4. Pesos promedio por edad retrocalculados utilizando el procedimiento D.

Mean weight back-calculated using the D procedure.

Edad (años)	n	Datos observados			E D A D (años)									
		Wc (gr)	d.e. (gr)	CV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
3	50	584,7	461,4	0,78	92,5	280,4	548,0							
4	50	969,9	694,5	0,72	98,4	297,2	578,3	904,8						
5	50	1362,1	832,8	0,61	97,0	295,6	580,4	915,7	1270,4					
6	50	1784,9	1164,2	0,65	94,3	294,5	586,4	934,0	1305,2	1675,7				
7	50	2059,7	1046,1	0,51	92,7	285,6	565,2	897,3	1251,2	1603,7	1939,5			
8	50	2744,2	1721,3	0,63	106,2	329,9	652,5	1032,5	1433,6	1829,2	2202,4	2543,9		
9	50	3150,4	2058,6	0,65	109,0	336,8	666,0	1055,0	1467,2	1875,4	2262,1	2617,1	2935,9	
Peso promedio retrocalculado por edad		W _i (gr)	=		98,6	302,9	596,7	956,6	1345,5	1746,0	2134,7	2580,5	2935,9	
		d.e. (gr)	=		71,6	211,6	405,8	622,0	846,1	1093,4	1311,0	1648,5	1944,4	
		n	=		350	350	350	300	250	200	150	100	50	
		CV	=		0,73	0,70	0,68	0,65	0,63	0,63	0,61	0,64	0,66	

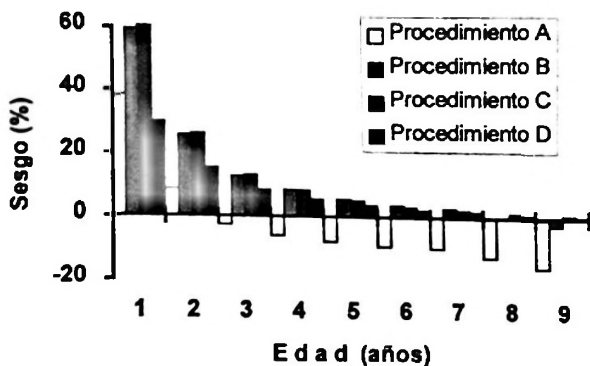


Figura 2. Error porcentual relativo por edad del peso promedio retrocalculado en relación con el peso promedio verdadero de los peces (ver texto).

Relative error percent by age of the mean back-calculated weight in relation to the true mean weight of fish (see text).

DISCUSION

Uno de los objetivos de este estudio fue establecer un procedimiento adecuado para estimar correctamente los pesos promedio a la edad, especialmente cuando se debe retrocalcular las longitudes y pesos a edades no contenidas en las muestras. La palabra "correctamente", previamente expuesta, se refiere particularmente a un criterio de exactitud, *i.e.* evitar cualquier desviación (sesgo) respecto de los valores verdaderos (poblacionales). Para determinar la exactitud de un procedimiento de estimación cualquiera, se debe conocer los valores actuales que se desean estimar. Subsecuentemente, se

procede a calcular la diferencia entre los valores reales y los valores estimados con el procedimiento en cuestión.

Sin embargo, los valores verdaderos de una población natural de cualquier animal marino tal vez no se podrán conocer nunca en forma exacta, particularmente en animales que deben ser sacrificados para determinar la edad y el crecimiento. Por esta razón, en este estudio la eficiencia de varios procedimientos de estimación del peso promedio a la edad se analiza a partir de una población hipotética (simulada), con características lo más similares posible a aquellas de una población natural. A partir de la población hipotética, se extrae un conjunto de datos para el análisis del procedimiento que se desea estudiar. La diferencia entre los valores estimados con un procedimiento particular y aquellos verdaderos de la población hipotética provee una medida de la exactitud del método.

Varios autores han conducido evaluaciones de la ejecución y sensibilidad de varios métodos aplicados a diversos tipos de datos y en diferentes combinaciones que son de utilidad para estudiar el crecimiento. Por ejemplo, Isaac (1990) estudia la exactitud de algunos métodos basados en datos de longitud para estudiar poblaciones de peces. Rosenberg & Beddington (1987) ejecutaron pruebas Monte Carlo de ELEFAN I (Pauly & David, 1981) y el método de Breen & Fournier (1984), un antecesor de MULTIFAN (Fournier *et al.*, 1990), encontrando que son limitados en aplicabilidad, siendo ELEFAN I más sensible a datos donde la varianza de la longitud se incrementa con la edad. Castro & Erzini (1988) analiza la capacidad del ELEFAN I a datos de frecuencia de tallas con un patrón similar al observado en peces tropicales. Terceiro *et al.* (1992) realizan un análisis comparativo de la ejecución de MULTIFAN y el método de Shepherd (1987) a datos de frecuencia de tallas simulados.

La ecuación de crecimiento de von Bertalanffy es la expresión más utilizada para describir el crecimiento corporal de una gran variedad de animales marinos, cuya naturaleza determinística es la problemática primordial cuando la variabilidad individual en el crecimiento existe (Isaac, 1990). Es decir, se asume que cada individuo crece de acuerdo con el modelo, pero con sus propios parámetros, *i.e.* la longitud asintótica (L_{∞}) y coeficiente de creci-

miento (K). La población simulada en este estudio generó longitudes cuya variabilidad se incrementa con la edad. Es decir, el coeficiente de variación de las longitudes por grupos de edad fue constante a lo largo del rango de edades simulada. Tal situación se podría deber, en parte, al supuesto de simular la variabilidad de L_{∞} , K y t_0 en forma independiente, sabiendo que estos parámetros se encuentran altamente correlacionados (Sparre & Venema, 1995). Se destaca que cuando L_{∞} varía, mientras los demás parámetros permanecen constantes, la varianza de la longitud se incrementa con la edad lo que determina que el coeficiente de variación permanezca constante. A su vez, cuando sólo K varía, la variabilidad de la longitud se refleja en las edades más jóvenes e intermedias. Si ambos parámetros varían, una combinación de ambos patrones debería observarse (Isaac, 1990).

En este estudio, se puso a prueba cuatro procedimientos para retrocalcular y estimar el peso promedio a la edad, observándose diferencias que indican que el uso de las longitudes retrocalculadas en la estimación del peso promedio usando la relación longitud-peso fueron menos eficientes. El uso de la relación longitud-peso aplicada directamente a partir de las longitudes retrocalculadas tiende a subestimar el peso promedio en las edades más viejas, llegando a niveles del orden de -16%. En cambio, el resto de los procedimientos convergen a una estimación correcta de los pesos promedio en las edades de los individuos muestreados. El sesgo positivo en las edades más jóvenes en los métodos que utilizan las longitudes retrocalculadas se puede deber a la mayor longitud obtenida con el método de retrocálculo de las longitudes, aspecto que se podría deber a las relaciones establecidas entre la longitud y el radio del otolito y la misma relación longitud-peso, que se basaron sólo en los ejemplares capturados. Esta situación demuestra, en parte, la necesidad de validar el retrocálculo con muestras de ejemplares jóvenes para determinar de mejor manera las relaciones utilizadas en el retrocálculo. Se destaca que más que un número elevado de ejemplares, para establecer una buena relación entre dos variables interesa mucho más cubrir el rango más amplio posible con el objeto de evitar las extrapolaciones con la función ajustada a los datos.

Por otra parte, aunque las diferencias entre los procedimientos para retrocalcular el peso promedio a la edad son leves, el procedimiento más eficiente consistió en establecer una relación entre el peso del pez y el radio del otolito, la que se utilizó directamente para retrocalcular el peso promedio a la edad sin pasar por las longitudes. Este procedimiento parece no haberse utilizado en estudios previos, ya que lo más usual es utilizar las longitudes para inferir el peso promedio a través de una relación longitud-peso. El uso de una relación peso del pez-radio del otolito puede ser más adecuada para internalizar la variabilidad individual de las variables de interés. Este procedimiento, por lo tanto, parece ser recomendable y necesario para retrocalcular el peso en estudios de edad y crecimiento, particularmente cuando las edades más jóvenes no se encuentran presentes en las muestras. Sin embargo, previamente se debe evaluar la robustez del procedimiento considerando su efectividad en poblaciones con diferentes historia de vida y relaciones entre las variables.

Además se debe considerar que el fundamento del método de retrocálculo de longitudes a edades pretéritas se basa en la hipótesis de proporcionalidad de la longitud del pez y de la estructura dura (i.e. otolitos) donde se registra y se interpreta la edad del pez. En este estudio se asumió una relación lineal entre ambas, i.e. directamente proporcionales. Sin embargo, en varios casos suele ocurrir una relación no lineal entre ambas variables, lo que incide directamente en los resultados del retrocálculo de las longitudes, y por ende, en el peso promedio. Por esta razón, podría ser pertinente y más correcto utilizar directamente la relación peso del pez-radio del otolito para retrocalcular el peso a edades pretéritas, sin pasar por el retrocálculo de las longitudes. La secuencia lógica de nuestra investigación será validar esta relación y analizar un mayor espectro de especies con diferentes tasas de crecimiento, tamaño, y relaciones entre las variables.

En consecuencia, los resultados de este estudio apoyan la necesidad que el retrocálculo del peso promedio a la edad sea considerado como un aspecto separado del retrocálculo de la longitud a través del uso de un procedimiento que permita estimar el peso directamente.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece las facilidades otorgadas por el Instituto de Investigación Pesquera para desarrollar este estudio en el ámbito de una Unidad de Investigación durante estudios de postgrado en el programa de Magister en Ciencias mención Oceanografía de la Universidad de Concepción. Asimismo, los autores agradecen la revisión del manuscrito por dos revisores anónimos, cuyos comentarios no sólo han permitido mejorar el manuscrito sino también generar nuevas ideas sobre el tópico.

LITERATURA CITADA

- BEVERTON, R.J.H. & S.J. HOLT. 1957. On the dynamics of the exploited fish populations. *Fish. Invest. Minist. Agric. Fish. Food, G.B.* (19), 533 p.
- BEYER, J.E. 1987. On the length-weight relationship. Part I. Computing mean weight from length statistics. *Fishbyte* 5(1): 12-14.
- BEYER, J.E. 1991. On the length-weight relationship. Part II. Computing the mean weight of the fish in a given length class. *Fishbyte* 9(2):50-54.
- BREEN, P.A. & D.A. FOURNIER. 1984. A user's guide to estimating total mortality rates from length frequency data with the method of Fournier and Breen. *Can. Tech. Rept. of Fish. and Aquat. Sci.* 1239.
- CARLANDER, K.D. 1981. Caution on the use of the regression method of back-calculating length from scales measurements. *Fisheries* 6:2-4.
- CASTRO, M. & K. ERZINI. 1988. Comparison of two length-frequency based packages for estimating growth and mortality parameters using simulated samples with varying recruitment patterns. *Fish. Bull. U.S.* 86:645-654.
- FOURNIER, D.A., J.R. SIBERT, J. MAJKOWSKI & J. HAMPTON. 1990. MULTIFAN a likelihood-based method for estimating growth parameters and age composition from multiple length frequency data sets illustrated using data for bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47(2):301-317.
- FRANCIS, R.I.C.C. 1990. Back-calculation of fish length: a critical review. *J. Fish. Biol.* 36: 883-902.
- HILBORN, R. & C.J. WALTERS. 1992. *Quantitative fisheries stock assessment: Choice, dynamics and uncertainty.* Chapman & Hall, London, 570 p.
- ISAAC, V.J. 1990. The accuracy of some length-based method for fish population studies. *ICLARM Tech. Rep.* 27. 81 p.
- LAIDING, T.E., S. RALSTON & J.R. BENCE. 1991. Dynamics of growth in the early life history of shortbelly rockfish *Sebastes jordani*. *Fish. Bull. U.S.* 89: 611-621.
- MELO, Y.C. 1984. Age studies on anchovy *Engraulis capensis* Gilchrist off south west Africa. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 2:19-31. Philippines. 323 p.
- MORALES-NIN, B. 1987. Métodos de determinación de la edad en los osteictos en base a estructuras de crecimiento. *Inf. Técn. Inv. Pesq.* 143:3-30.

- PAULY, D. & N. DAVID. 1981. ELEFAN-1: a basic program for the objective extraction of growth parameters from length-frequency data. *Meeresforschung* 28:205-211.
- PAULY, D. 1984. Fish population dynamical and tropical waters: A manual for use with programmable calculators. International Center for living aquatic resources management. Manila, Philippines., 323 p.
- PIENNAR, L.V. & W.E. RICKER. 1968. Estimating mean weight from length statistics. *J. Fish. Res. Board Com.* 25:2743-2747.
- RICKER, W.E. 1992. Back-calculation of fish lengths based on proportionality between scale and length increments. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49:1018-1026.
- RIJNSDORP, A.D & F. STORBECK. 1991. A method to determine the onset of sexual maturity from back-calculated growth curves from otoliths of individual female north sea plaice, *Pleuronectes platessa* L. ICES C.M. 1991/G:48.
- ROSENBERG, A..A. & J.R. BEDDINGTON. 1987. Monte Carlo testing of two methods for estimating growth from length-frequency data with general conditions for their applicability. In: Length-based methods in fisheries research, D. Pauly & G.R. Morgan (Eds.), ICLARM Conference Proceedings 13, p. 283-298.
- SECOR, D.H. & J.M. DEAN. 1992. Comparison of otolith-based back-calculation methods to determine individual growth histories of larval striped bass, *Morone saxatilis*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49:1439-1454.
- SHEPHERD, J.G. 1987. A weakly parametric method for the analysis of length frequency analysis of length composition data. In: Length-based methods in fisheries research, D. Pauly & G.R. Morgan (Eds.), ICLARM Conference Proceedings 13, p. 353-362.
- SJÖSTRAND, B. 1992. Changes in length at age in Baltic herring, studied back-calculation from scales. ICES C.M. 1992/J:21.
- SPARRE, P. & S.C. VENEMA. 1995. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual. FAO Doc. Téc. Pesca. N° 306.1 Rev. 1., 440 pp.
- TERCEIRO, M.; D.A. FOURNIER & J.R. SIBERT. 1992. Comparative performance of MULTIFAN and Shepherd's Length Composition Analysis (SRLCA) on simulated length-frequency distributions. *Trans. Am. Fish. Soc.* 121:667-677.
- WOODBURY, D. & S. RALSTON. 1991. Interannual variation in growth rates and back-calculates birthdate distributions of pelagic juvenile rockfishes (*Sebastes* spp.) off the