

**Research Article**

## **Edad y crecimiento del pez espada (*Xiphias gladius* Linnaeus, 1758) en el Pacífico suroriental (Diciembre 1994-Septiembre 1996)**

**Javier Chong<sup>1</sup> & Mario Aguayo<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Católica de la Santísima Concepción, Caupolicán 491, Concepción, Chile

<sup>2</sup>Instituto de Investigación Pesquera de la VIII Región, Colón 2780, Talcahuano, Chile

**RESUMEN.** Se estudió la edad y crecimiento del pez espada en el área de pesca del océano Pacífico suroriental frente a la costa de Chile, mediante el conteo y medidas de anillos en secciones transversales de la segunda espina de la aleta anal. El examen del borde de las secciones y el análisis del incremento marginal permitió establecer la formación de un anillo de crecimiento anual. Los parámetros de crecimiento del pez espada fueron estimados utilizando medidas de longitud retrocalculada proporcional a la edad, mediante regresiones no lineales para medidas de longitud de la mandíbula inferior horquilla y radio de la espina, a la edad actual y pretérita. En estas relaciones se emplearon dos modelos: (i) el modelo I correspondiente a una relación lineal y (ii) el modelo II a una relación potencial. Este último fue seleccionado ya que presentó un mejor ajuste y el valor  $t_0$  de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy, fue más cercano al origen. El test multivariado ( $T^2$ ) de Hotelling mostró diferencias significativas en el crecimiento entre sexos, lo que fue corroborado por la prueba de Chen. Los parámetros de crecimiento en longitud para machos fueron: longitud asintótica ( $L_\infty$ ) = 275,1 cm; coeficiente de crecimiento ( $K$ ) = 0,1774 año<sup>-1</sup> y edad longitud cero ( $t_0$ ) = -2,1076 año. En hembras la  $L_\infty$  = 304,7 cm;  $K$  = 0,1533 año<sup>-1</sup> y  $t_0$  = -2,0571 año. En el crecimiento en peso sólo se estimó el peso asintótico ( $W_\infty$ ) mediante la relación longitud de la mandíbula inferior horquilla-peso total, siendo 278,7 kg en machos y 406,7 kg en hembras.

**Palabras clave:** *Xiphias gladius*, crecimiento, edad, longitud, peso, Chile, Pacífico suroriental.

## **Age and growth of swordfish (*Xiphias gladius* Linnaeus, 1758) in the southeastern Pacific (December 1994-September 1996)**

**ABSTRACT.** Swordfish age and growth of were determined in the fishing area of the southeastern Pacific off the Chilean coast by counting and measuring the rings in cross sections of the second spine of the anal fin. The examination of the edge of the sections and the analysis of the marginal increment allowed us to establish the formation of one growth ring per year. The swordfish growth parameters were estimated using back calculated length data proportional to the age, which was obtained from nonlinear regressions for lower jaw-fork length (LJFL) measurements and spine radius at the present and previous ages. Two models were used for these relationships: (i) linear correlation (model I) and (ii) potential correlation (model II). The latter was selected because of its better fit and because the values in the von Bertalanffy growth equation are closer to the origin. Hotelling's multivariate test ( $T^2$ ) showed significant differences in growth between males and females; this was corroborated by Chen's test. The growth parameters in terms of length for males were: asymptotic length ( $L_\infty$ ) = 275.1 cm, growth coefficient ( $K$ ) = 0.1774 year<sup>-1</sup>, and age at zero length ( $t_0$ ) = -2.1076 year. For females, the parameters were:  $L_\infty$  = 304.7 cm,  $K$  = 0.1533 year<sup>-1</sup>, and  $t_0$  = -2.0571 year. For the growth parameters in terms of weight, only the asymptotic weight ( $W_\infty$ ) was estimated using the LJFL vs. total weight relationship. This was 278.7 kg for males and 406.7 kg for females.

**Keywords:** *Xiphias gladius*, growth, age, length, weight, Chile, southeastern Pacific.

## INTRODUCCIÓN

El pez espada (*Xiphias gladius* L.) es una especie cosmopolita que se encuentra ampliamente distribuida a nivel mundial, localizándose en mares tropicales, subtropicales y temperados (Nakamura, 1985). En el Pacífico suroriental se encuentra hasta cerca de los 40°S en aguas entre 13°C y 24°C (Barbieri *et al.*, 1990; Ponce & Bustos, 1991). En Chile, la pesquería del pez espada es una de las más antiguas, existiendo registros de desembarques entre 3.000 y 4.000 ton en el periodo 1938-1986 y a partir de 1987, presenta un aumento sostenido de los desembarques hasta alcanzar un máximo de 7.255 ton en 1991. Las capturas de la flota palangrera se realizan principalmente entre los 21,5° y 39,0°S y entre los 120 y 600 mn de la costa (Donoso & Cerna, 1999).

Galleguillos *et al.* (2001) realizaron un estudio comparativo para analizar la afinidad genética entre muestras de diferentes localidades del Pacífico, observando que ésta es mayor entre las muestras de Chile, Ecuador y México comparadas con las de Hawai y Australia, de manera que consideran que las poblaciones que se desplazan por aguas chilenas provendrían a lo menos desde la zona de Baja California hacia el sur. Además, señalan que aún cuando no se contó con muestras de Japón, los ejemplares de esta área podrían considerarse como un stock propio del Pacífico oeste de acuerdo a Reb *et al.* (2000, *fide* Galleguillos *et al.*, 2001).

La determinación de la edad es indispensable para el conocimiento de la dinámica poblacional entre cuyos aspectos son importantes la longevidad de los individuos y el conocimiento de la estructura etaria en el tiempo, lo que permite el seguimiento de las diferentes cohortes o clases anuales en una población. A su vez, el crecimiento permite conocer las tasas de incremento que inciden en las tasas de renovación de un stock, estimaciones de mortalidad natural, entre otros parámetros, que son fundamentales para la evaluación de stock mediante modelos analíticos o estructurales.

En general, la mayoría de los estudios de edad y crecimiento que se han realizado en el pez espada a nivel mundial corresponden a especímenes que se distribuyen en el océano Atlántico, en los que se ha utilizado la segunda espina de la aleta anal (Berkeley & Houde, 1983; Tsimenides & Tserpes, 1989; Ehrhardt *et al.*, 1996) y los otolitos (Radtke & Hurley, 1983; Megalofonou *et al.*, 1995). En el océano Pacífico, Castro-Longoria & Sosa-Nishizaki (1998) compararon los estimados de edad del pez espada capturados por buques con red de enmalle en Baja California de 1992 a 1993, a través del análisis de microestructuras

en otolitos y secciones transversales del segundo radio duro o espina de la segunda aleta anal. Uchiyama *et al.* (1998) evaluaron varias partes duras como rayos de la primera aleta dorsal y primera aleta anal, además de vértebras y otolitos sagitta correspondientes a muestras de pez espada en la pesquería de palangre del Pacífico centro-norte (Hawai) entre 1991 y 1993. Posteriormente, Sun *et al.* (2002) realizaron un estudio de la edad y crecimiento del pez espada en las aguas de los alrededores de Taiwán utilizando cortes transversales de la segunda espina de la aleta anal y consideraron que los parámetros de crecimiento estimados eran apropiados para su uso en la evaluación de las poblaciones de pez espada del océano Pacífico occidental.

En Chile, Leiva (1993) en un estudio preliminar de crecimiento del pez espada mediante la lectura de anillos en cortes transversales de la cuarta espina dorsal y segunda espina anal, determinó que esta última era la más apropiada. De acuerdo con el modelo de von Bertalanffy la longitud asintótica (LMIH) para hembras fue de 348 cm, K de 0,089 año<sup>-1</sup> y en machos fue de 278 cm y el K de 0,112 año<sup>-1</sup>, siendo en ambos sexos, la edad teórica  $t_0$  -3,67 años. Posteriormente, Montiel (1996) para la zona norte y central del país, utilizó una muestra más amplia estimando una longitud asintótica de 282 cm, un K de 0,293 año<sup>-1</sup> y un  $t_0$  de 0,109 año para hembras, y para los machos los valores fueron de 250 cm, K de 0,32 año<sup>-1</sup> y  $t_0$  de -0,755 año.

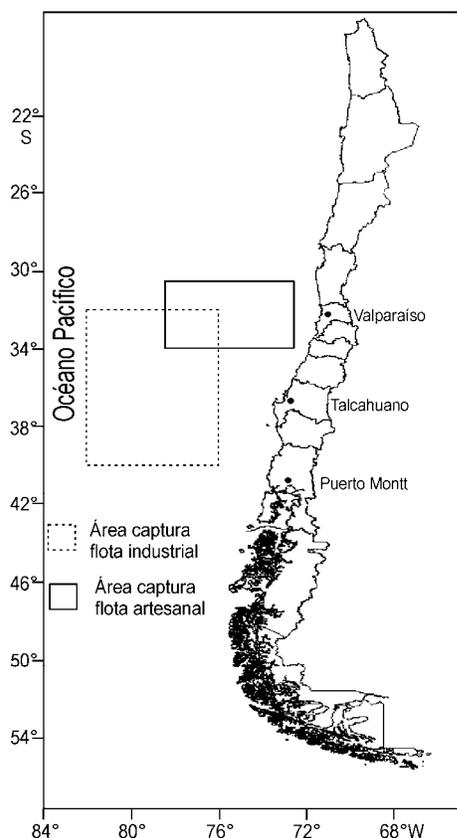
De esta forma, los objetivos del presente trabajo son estimar los parámetros de la función de crecimiento en longitud y peso, y establecer si existe crecimiento diferencial entre los sexos en *X. gladius*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de pez espada examinadas corresponden a ejemplares capturados entre diciembre de 1994 y septiembre de 1996 frente a la costa chilena, entre 32°-40°S y 76°-82°W por embarcaciones industriales de palangre, entre 30°23'-34°00'S y 72°29'-78°23'W, por embarcaciones artesanales con red de enmalle (Fig 1).

A bordo de la embarcación se determinó la longitud mandíbula inferior horquilla (LMIH), se registró el peso del tronco (PTR), se cortó la aleta anal a nivel de su base y se extrajeron las gónadas para la determinación del sexo.

La estimación de edad se realizó mediante la lectura de bandas o anillos de crecimiento anuales (Chugunova, 1963) presentes en la segunda espina de la aleta anal siguiendo en forma estricta la metodología descrita por Tsimenides & Tserpes (1989) y Tserpes & Tsi-



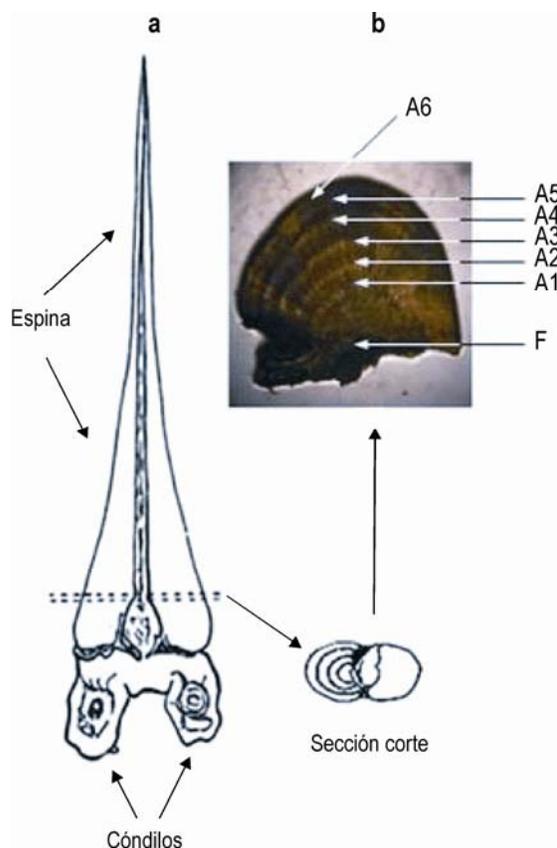
**Figura 1.** Áreas de capturas de pez espada por la flota artesanal e industrial correspondiente a las muestras examinadas.

**Figure 1.** Catch area of swordfish, by artisan and industrial fleet, where samples were obtained.

menides (1995), poniendo énfasis en i) localización del primer annulus que puede estar ausente en animales grandes, ii) patrón de zonación de bandas opacas anchas y hialinas angostas, y iii) presencia de bandas múltiples en ejemplares grandes. De las espinas extraídas, previa limpieza y fijación en formalina y secado, se obtuvieron cortes transversales de 1,0-1,5 mm de espesor cercanos a su base, donde los dos elementos que la constituyen se juntan (Fig. 2). Se midió el radio de la espina ( $R_e$ ) y de cada anillo hialino o traslúcido ( $R_n$ ); además se determinó el tipo de borde, esto es, opaco y hialino (O y H) presente en el borde de la sección de la espina. La determinación de la longitud del pez a las distintas edades se efectuó sobre la base de la longitud a la edad actual y la longitud a edad pretérita.

**Longitud a la edad actual**

En este caso se relacionó la LMIH del pez en el momento de su captura y la edad presente determinada



**Figura 2.** Esquema de la segunda espina de la primera aleta anal, indicando el lugar de la sección (a) y fotografía de una sección de la segunda espina (b).

**Figure 2.** Diagram of the second ray of the first anal fin showing the location of the cross section (a) and photograph of a section of the second ray (b).

por el número de anillos hialinos formados en la sección transversal de la espina.

**Longitud a edad pretérita**

La LMIH de los peces se calculó a partir del radio de los anillos hialinos presentes en los cortes transversales de las espinas. En la lectura se utilizó un microscopio estereoscópico con aumento 10x y una reglilla donde cada división correspondió a 0,1 mm.

Para determinar y validar el carácter anual en la formación de los anillos de crecimiento se analizó el incremento marginal relativo de la espina (IMR) cuya expresión es (Prince *et al.*, 1988; Esteves *et al.*, 1995):

$$IMR = \frac{(R_e - R_n)}{(R_n - R_{n-1})}$$

donde,  $R_e$  : radio de la espina

$R_n$  y  $R_{n-1}$  : distancia desde el foco al borde externo de los anillos hialinos  $n$  y  $n-1$ , respectivamente.

El IMR promediado se calculó en los meses en que se dispuso de muestras de espinas, desde diciembre de 1994 hasta septiembre de 1996.

En la validación también se examinó la distribución mensual del tipo de borde de la espina para lo cual se aplicó el criterio de Dannevig (1933), para otolitos. Las bandas o anillos opacos anchas (O) que generalmente caracterizan los periodos de mayor crecimiento del pez se ven de color claro o blanquecino con iluminación incidente y los anillos hialinos o traslúcidos angostos (H) que habitualmente se identifican con periodos de menor crecimiento se observan como bandas estrechas de color oscuro, como ha sido informado para los otolitos de otras especies de la costa de Chile (Aguayo, 1971; Aguayo & Ojeda, 1987; Chong & Aguayo, 1990; Aguayo & Chong, 1991).

En el estudio de crecimiento se aplicó el retrocálculo de la longitud a cada edad por cada sexo. Para esto fue necesario determinar la relación entre el radio de la espina y la longitud mandíbula inferior horquilla. Esta relación y la distancia desde el foco al borde externo de los sucesivos anillos hialinos se utilizaron para retrocalcular las longitudes a las edades pretéritas. En la relación entre la LMIH-Re y el retrocálculo de longitudes a la edad se utilizaron los modelos que se describen a continuación.

### Modelo I

En este modelo, la relación entre  $R_e$  y LMIH se determinó mediante una regresión lineal estándar  $LMIH = a + b R_e$ . Esta función y los radios de los distintos anillos hialinos se usaron para el retrocálculo de longitudes a edades pretéritas representadas por cada anillo anual, siguiendo la fórmula de Whitney & Carlander (1956, *vide* Francis, 1990):

$$L_i = \left[ \frac{c + dR_i}{c + dR_c} \right] L_c \quad \text{o} \quad Li = \left[ \frac{L_{i'}}{L_{c'}} \right] L_c$$

donde:

- $L_i$  : longitud corregida o proporcional del pez al momento de formación del  $i$ -ésimo anillo anual
- $L_{i'}$  : longitud al momento de formación del  $i$ -ésimo anillo determinada por la regresión lineal
- $L_c$  : longitud del pez al momento de la captura

$L_c$  : longitud del pez correspondiente al radio de la espina y estimada por la regresión lineal

$c$  : intercepto de la función  $g(R)$  cuando es lineal

$R_i$  : radio de la sección de la espina al momento de formación del  $i$ -ésimo anillo anual

$R_c$  : radio de la sección de la espina al momento de la captura.

### Modelo II

La relación entre el radio de la sección de la espina y la LMIH se determinó usando una función potencial del tipo  $L = a \cdot R_e^b$  (Ehrhardt, 1992; Ehrhardt *et al.*, 1996). Los parámetros de la función se estimaron mediante ajustes no lineales por mínimos cuadrados de los datos observados de LMIH y  $R_e$ . Esta relación y los radios de los sucesivos anillos anuales se utilizaron para el retrocálculo de las longitudes a las edades, mediante la siguiente fórmula (Tserpes & Tsimenides, 1995; Ehrhardt *et al.*, 1996; Araya & Cubillos, 2002):

$$L_i = \left( \frac{R_i}{R_c} \right)^b L_c$$

Para evaluar posibles diferencias significativas en la relación longitud de la mandíbula inferior horquilla y el radio de la espina entre machos y hembras, se aplicó un análisis de covarianza (ANCOVA), considerando como hipótesis nula ( $H_0$ ) que las pendientes de las regresiones eran iguales, para lo cual se compararon los valores de  $F$  de Fisher observado y esperado para un nivel de confianza del 95%.

### Crecimiento

Los datos de LMIH retrocalculados a la edad se emplearon para ajustar los parámetros de crecimiento de la ecuación estándar de von Bertalanffy para longitud y peso, cuya ecuación para longitud es:

$$L_t = L_\infty \left( 1 - e^{-K(t-t_0)} \right)$$

y para peso es:

$$W_t = W_\infty \left( 1 - e^{-K(t-t_0)} \right).$$

donde,

- $L_t$  : LMIH promedio a la edad
- $L_\infty$  : longitud asintótica
- $W_t$  : peso promedio a la edad
- $W_\infty$  : peso asintótico

- $t_0$  : edad hipotética a edad cero  
 $K$  : coeficiente de crecimiento  
 $b$  : pendiente de la relación LMIH-peso.

Los parámetros de crecimiento en longitud de machos y hembras se estimaron mediante el método de ajuste no lineal. La bondad de ajuste de los parámetros se determinó mediante el coeficiente de determinación  $r^2$ . Para comprobar la existencia de diferencias significativas entre las curvas de crecimiento de machos y hembras se usó un procedimiento estadístico multivariado, el  $T^2$  de Hotelling (Bernard, 1981), pero con la formulación propuesta por Cerrato (1990) es expresada por:

$$T^2 = (P_1 - P_2)' S_{p_1-p_2}^{-1} (P_1 - P_2)$$

donde  $(P_1-P_2)'$  es un vector transpuesto de  $(P_1-P_2)$  siendo este último el vector diferencia de parámetros (vector columna). Por otra parte,  $S_{p_1-p_2}^{-1}$  corresponde a la matriz de varianza-covarianza del vector diferencia de estimaciones. El test considera como hipótesis nula que “los vectores de los parámetros de crecimiento son iguales”, y la regla de decisión indica que se rechaza la hipótesis nula si el estadístico calculado supera el valor crítico ( $T_0^2$ ), esto es,

$$T_o^2 = 3 \frac{N_1 + N_2 - 6}{N_1 + N_2 - 8} F_{cr(3, N_1 + N_2 - 6)}$$

donde F corresponde el percentil de la distribución de Fisher con 3 y  $N_1+N_2-6$  grados de libertad. En este caso, la hipótesis se rechaza cuando  $T^2$  calculado  $> T^2_{\alpha}$  (3, \*).

Otra prueba de comparación utilizada fue la propuesta por Chen *et al.* (1992), que básicamente analiza la suma de cuadrados residuales (RSS) que resultan del proceso de ajuste no lineal de los parámetros de crecimiento. La formulación del test (Ratkowsky, 1983) es:

$$F = \frac{\frac{RSS_p - RSS_s}{3(K-1)}}{\frac{RSS_s}{(N-3)K}}$$

donde:

- $N$  : número total de muestras  
 $K$  : número de grupos en comparación  
 $RSS_s$  : suma de cuadrados residuales de ambos grupos (machos más hembras)

- $RSS_p$  : suma de cuadrados residuales del ajuste agrupado (sin diferenciar por sexo).

En la expresión de crecimiento en peso, el valor asintótico ( $W_{\infty}$ ) se estimó a partir de la longitud asintótica, manteniendo los valores de  $K$  y  $t_0$  estimados para el crecimiento en longitud.

En la relación LMIH – peso total (PT) se empleó la siguiente expresión potencial para cada sexo y para sexos combinados:

$$Peso\ total = a \cdot LMIH^b$$

dado que el peso de los individuos corresponde a peso tronco (PTR), fue necesario convertirlo a peso total (PT), para lo cual se utilizaron las siguientes relaciones biométricas (Yañez *et al.*, 2003):

$$PT = 2,6 + 1,26 \cdot PTR \quad r^2 = 0,96 \text{ machos}$$

$$PT = 0,86 + 1,36 \cdot PTR \quad r^2 = 0,98 \text{ hembras}$$

$$PT = 0,85 + 1,32 \cdot PTR \quad r^2 = 0,97 \text{ hembras}$$

## RESULTADOS

Las muestras colectadas correspondieron a 463 machos y 549 hembras. El rango de LMIH para machos estuvo entre 105 y 270 cm, y para hembras entre 108 y 318 cm. Los PTR estuvieron entre 14 y 195 kg para machos, y entre 14 y 341 kg para hembras.

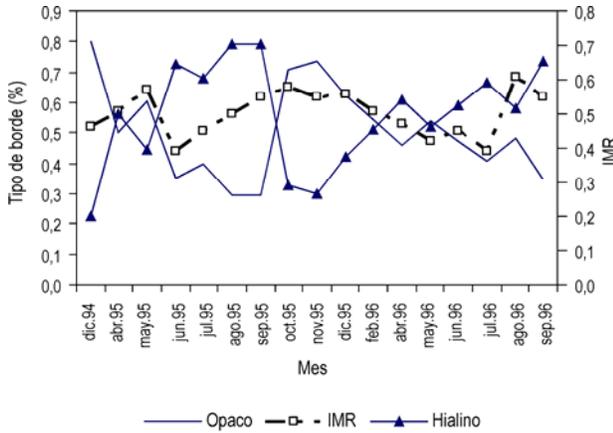
El incremento marginal relativo (IMR), mostró una tendencia a presentar valores menores (0,4-0,5) en junio-julio de 1995 y de mayo a julio de 1996 y mayores (0,6-0,7) en septiembre-diciembre de 1995 y agosto-septiembre de 1996, indicando la formación del annulus al término del otoño y comienzos de invierno (Fig. 3). Dicha tendencia fue corroborada por la mayor presencia del borde H de junio a septiembre ( $> 60\%$ ), sucediendo lo contrario con el borde opaco, con porcentajes mayores de octubre a diciembre (Fig. 3).

El radio promedio de los anillos anuales (H) en cortes transversales de espinas de la segunda aleta anal de pez espada por sexo se presentan en las Tablas 1 y 2. Generalmente, en los grupos mayores los primeros anillos y otros, aunque se pueden identificar resulta poco confiable medirlos y corresponden a los espacios sin información, se observan en la Tabla 2.

Las relaciones entre la LMIH y  $R_e$  son descritas por las siguientes ecuaciones (Fig. 4):

### Modelo I

$$\text{Hembra LMIH} = 88,468 + 18,4974 \cdot R_e \quad (r^2 = 0,81; n = 517)$$



**Figura 3.** Fluctuación (%) del IMR promedio mensual y bordes opacos y hialinos en la segunda espina de la primera aleta anal de pez espada.

**Figure 3.** Variations (%) of the monthly mean RMI and opaque-hyaline edges in the second spine of the first anal fin of swordfish.

$$\text{Macho LMIH} = 90,878 + 17,9323 \cdot R_e \quad (r^2 = 0,70; n = 463)$$

#### Modelo II

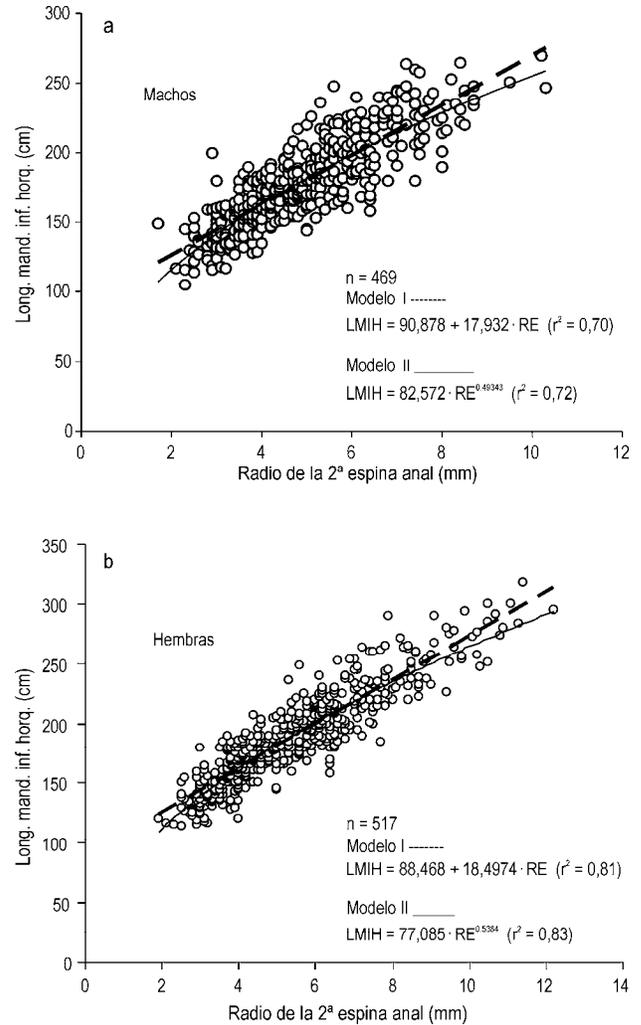
$$\text{Hembra LMIH} = 77,085 \cdot R_e^{0,53838} \quad (r^2 = 0,83; n = 517)$$

$$\text{Macho LMIH} = 82,572 \cdot R_e^{0,49343} \quad (r^2 = 0,72; n = 463)$$

El análisis de covarianza entre las funciones de machos y hembras señaló que existen diferencias significativas entre las pendientes de las regresiones, siendo el valor de F observado de 1,61 mayor que el esperado ( $F_{0,95;466,513}$  de 1,13), por lo que se rechazó la hipótesis nula ( $b_{\text{machos}} = b_{\text{hembras}}$ ).

En las longitudes retrocalculadas a las diferentes edades, los incrementos fueron más altos para el primer año de edad con ambos modelos. En el modelo I las longitudes promedio fueron 126,62 cm y 127,0 cm en machos y hembras, respectivamente, y en el modelo II fueron de 116,27 cm en machos y 113,38 cm en hembras (Tabla 3). Las tasas de crecimiento disminuyen notoriamente después del primer año, pero en las hembras, después del tercer año las tasas fueron mayores que en los machos. También las tasas de crecimiento fueron mayores con el método II después del tercer año (Tabla 3).

Los valores de los parámetros de crecimiento en longitud estimados en machos y hembras por ambos modelos para la edad pretérita y para la edad actual se indican en la Tabla 4. Los parámetros ajustados con información de LMIH a la edad actual presentaron valores de longitud asíntotica mayores, por lo tanto



**Figura 4.** Relación entre LMIH y radio de la segunda espina de la primera aleta anal en pez espada. a) macho, b) hembra.

**Figure 4.** Relationship between LJFL and second spine radius of first anal fin of swordfish. a) male, b) female.

valores de K muy bajos y con valores de  $t_0$  que están más alejados del origen. Los errores estándar son mayores que en los otros casos de ajuste, situación que se explica por el sesgo que presentan las muestras de LMIH de pez espada, en especial en las tallas menores.

Los valores de los parámetros de crecimiento que presentan un mayor ajuste de los datos a la regresión expresado por los mayores valores del coeficiente de determinación ( $r^2$ ) y menores errores estándar correspondieron al modelo II, para machos y hembras. Los valores de longitud a la edad estimados por la ecuación de von Bertalanffy para los casos de edad actual y pretérita (modelos I y II) se entregan en la Tabla 5 (Fig. 5).

**Tabla 1.** Radios medio de anillos anuales en secciones de la segunda espina de la aleta anal para machos de pez espada. DE: desviación estándar.**Table 1.** Mean radio of annual ring radii of the second ray sections of anal fin for male swordfish. DE: standard deviation.

Grupos	Nº lecturas	Radios medios anillos anuales (cm)									
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1	378	2,02									
2	377	2,01	3,03								
3	276	2,01	3,04	3,99							
4	187	2,03	3,04	3,99	4,81						
5	128	2,07	3,06	4,00	4,82	5,54					
6	67	2,12	3,16	4,17	5,03	5,88	6,51				
7	28	2,00	3,06	3,98	4,84	5,47	6,12	6,64			
8	14	2,10	3,05	4,08	4,98	5,71	6,39	6,99	7,59		
9	7	1,90	3,00	4,03	5,05	5,90	6,60	7,27	7,70	8,17	
10	5	1,90	3,10	4,02	4,98	5,73	6,56	7,20	7,78	8,03	8,74
Promedio		2,03	3,05	4,02	4,87	5,68	6,44	7,00	7,57	8,09	8,74
DE		0,20	0,21	0,27	0,35	0,47	0,56	0,51	0,41	0,22	0,63
Incremento			1,03	0,97	0,85	0,80	0,76	0,57	0,57	0,51	0,65

La longitud a la edad estimada para los distintos casos en machos mostró que entre las edades 3 y 9 hay coincidencia, situación que también se observó en hembras y con mayor énfasis en las longitudes a la edad actual y las estimadas por el modelo II (Tabla 5). La longitud media a la edad 1 estimada por el modelo II fue menor que en los otros casos a consecuencia del empleo de una función potencial para relacionar LMIH y  $R_e$  (Fig. 5). También se consideró, para fines prácticos, la inclusión de una expresión de crecimiento para sexos combinados de pez espada, cuya curva fue muy similar al modelo II de hembras (Tabla 4) y cuyo ajuste no lineal presentó un mayor valor para el coeficiente  $r$  de Pearson en relación con los otros casos.

La comparación de los parámetros de crecimiento entre machos y hembras mediante el test  $T^2$  de Hotelling mostró que en todos los casos hay diferencias significativas entre los sexos. En el caso de la edad actual el  $T^2$  observado de 11,02 fue mayor que el esperado  $T^2_{0,05}$  de 7,82. Para edad pretérta los  $T^2$  observados para los modelos I y II fueron 34,38 y 72,67, respectivamente, mayores que el  $T^2_{0,05}$  en ambos casos (7,80).

El test de Chen *et al.* (1992) corroboró la diferencia en el crecimiento entre sexos para el pez espada, para los dos modelos desarrollados. Para el modelo I la suma de cuadrados residuales (SCR) para sexos combinados fue de 760079 con un  $F_{calculado}$  (11,37) mayor que el  $F_{0,05}$  (3,0). Para el modelo II la SCR fue de 759607 con un  $F_{calculado}$  (18,39) mayor que el  $F_{0,05}$  de 2,6.

La relación entre LMIH y el peso total (PT) considerando 290 hembras, 242 machos fue descrita por las siguientes ecuaciones:

$$\text{Hembras} : \text{PT} = 6,9 \cdot 10^{-6} \cdot \text{LMIH}^{3,134}$$

$$\text{Machos} : \text{PT} = 5,8 \cdot 10^{-6} \cdot \text{LMIH}^{3,148}$$

$$\text{Combinados} : \text{PT} = 6,5 \cdot 10^{-6} \cdot \text{LMIH}^{3,134}$$

Los valores ajustados de los parámetros del modelo de von Bertalanffy para peso se muestran en la Tabla 6. Los pesos asintóticos se estimaron convirtiendo las longitudes asintóticas mediante las relaciones longitud-peso respectiva, manteniendo los valores de  $K$  y  $t_0$  del crecimiento en longitud.

El punto de inflexión o cambio de la tasa de crecimiento en peso se produce a las edades de 7 y 8 años

**Tabla 2.** Radios medio de anillos anuales en secciones de la aleta anal para hembras de pez espada. DE: desviación estándar.

**Table 2.** Mean radio of annual ring radii of the second ray sections of anal fin for female swordfish. DE: standard deviation.

Grupos	N° lecturas	Radios medios anillos anuales (cm)												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
1	359	2,00												
2	436	2,01	3,03											
3	360	2,02	3,07	4,02										
4	321	2,04	3,10	4,04	4,89									
5	230	2,02	3,10	4,04	4,88	5,70								
6	163	1,99	3,03	4,08	4,99	5,73	6,43							
7	104	2,03	3,10	4,07	5,01	5,83	6,51	7,12						
8	74	2,03	3,12	4,09	4,98	5,79	6,46	7,21	7,83					
9	54	1,99	3,04	4,05	4,96	5,85	6,52	7,24	7,76	8,42				
10	37	2,05	3,10	4,10	5,01	5,85	6,51	7,21	8,18	8,26	8,88			
11	24	2,00	3,00	4,00	5,17	6,16	6,88	7,67	8,02	8,87	9,48	10,10		
12	16		3,00	4,10	4,94	5,90	6,62	7,44	8,08	8,49	8,89	9,27	10,03	
13	15		3,10	4,10	5,10	5,77	6,65	7,45		8,64	9,04	9,53	9,90	10,27
14	2			3,90			7,10		7,57				11,30	11,80
15	4		3,00	4,00	4,93	5,57	6,37	6,63		8,10	8,83	9,35	9,88	10,14
Promedio		2,01	3,07	4,05	4,94	5,77	6,49	7,20	7,85	8,46	9,03	9,60	10,03	10,31
DE		0,20	0,20	0,26	0,34	0,40	0,51	0,56	0,62	0,65	0,57	0,69	0,76	0,78
Incremento			1,06	0,98	0,89	0,83	0,72	0,71	0,66	0,60	0,57	0,57	0,43	0,28

para machos y hembras, respectivamente por el modelo I. En el caso del modelo II el cambio de tasa de crecimiento se produce a las edades 5 y 6, respectivamente. Para los sexos combinados el punto de inflexión ocurre a la edad de 6 años. En la Fig. 6 se presentan las curvas de crecimiento en peso del pez espada por sexo; para los distintos modelos considerados. Los pesos promedios a las distintas edades y para los diferentes métodos considerados en este estudio se indican en la Tabla 7.

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos señalan que las hembras de pez espada alcanzan tallas y edades mayores que los machos, coincidiendo con lo indicado por otros autores tanto para el océano Atlántico (Tsimenides & Tserpes, 1989; Ehrhardt, 1992; Tserpes & Tsimenides

1995; Arocha *et al.*, 2003), como para el Pacífico (Leiva, 1993; Montiel, 1996; Sun *et al.*, 2002).

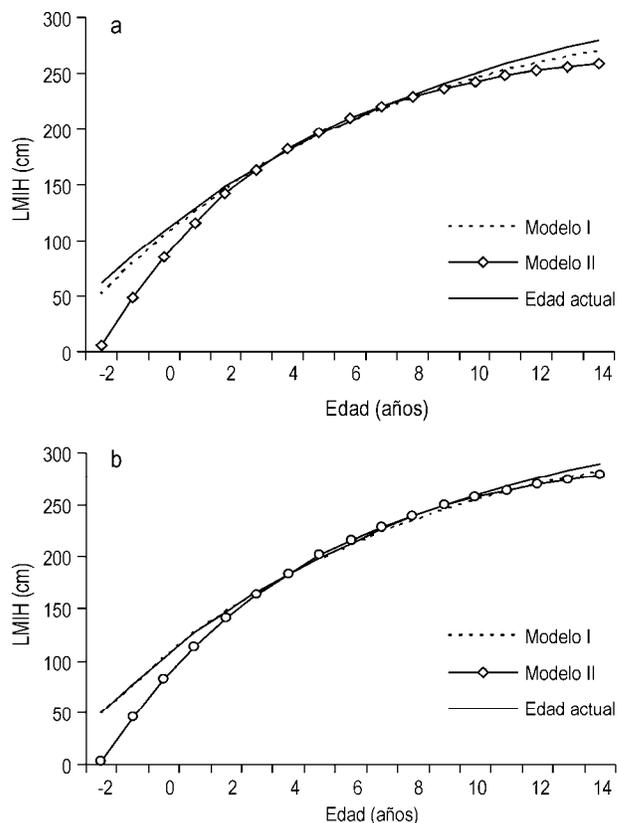
El segundo radio o espina de la aleta anal ha resultado ser una estructura apropiada para el estudio de la edad en pez espada, pues ha permitido discernir con seguridad la secuencia de bandas opacas anchas y hialinas estrechas, que además son fáciles de colectar, almacenar y su extracción no perjudica el valor económico del pez, coincidiendo con lo expresado por la mayoría de los autores que han estudiado el crecimiento de esta especie (Tsimenides & Tserpes, 1989; Ehrhardt, 1992; Tserpes & Tsimenides, 1995; Sun *et al.*, 2002; Arocha *et al.*, 2003).

La validación parcial de la formación periódica de los anillos de crecimiento a través del análisis del incremento marginal relativo (IMR) y de la distribución mensual de los anillos opacos y hialinos en el borde de la sección de la espina indica la formación

**Tabla 3.** Longitud mandíbula inferior horquilla promedio retrocalculada a la edad para pez espada.**Table 3.** Mean of lower jaw fork length back calculated at age for swordfish.

Edad (año)	Longitud retrocalculada (cm)			
	Modelo I		Modelo II	
	Macho	Hembra	Macho	Hembra
1	126,62	127,00	116,27	113,38
2	146,00	146,87	142,89	141,92
3	164,01	165,42	164,22	164,74
4	179,74	182,20	181,36	183,72
5	194,76	197,74	196,98	200,41
6	206,63	212,21	209,27	215,63
7	217,27	226,27	220,21	230,10
8	228,16	235,55	230,67	239,50
9	234,19	245,86	236,78	249,81
10	246,44	253,62	248,05	257,65
11	244,11	259,14	245,73	262,55
12		264,71		267,64
13		275,58		274,99
14		275,48		278,06
15		294,45		296,14

del anillo hialino de mayo a julio. La causa de la formación del annulus no está bien definida, habiéndose señalado factores como la reproducción en el océano Pacífico norte y también de carácter ambiental (Sturn & Salter, 1990; Ferreira & Russ, 1994; Beckman *et al.*, 1999; Franks *et al.*, 1999, *fide* Sun *et al.*, 2002). Al respecto, Berkeley & Houde (1983) para el Atlántico (Florida), sugieren la formación del annulus en febrero-marzo (final de invierno) y lo relacionan con el complejo patrón migratorio del pez espada. No obstante, Ehrhardt (1992) determina para la misma área del Atlántico un incremento marginal máximo en verano (julio a septiembre) y reducido al final de otoño y comienzo de primavera corroborando parcialmente lo indicado por Berkeley & Houde (1983). Posteriormente, Ehrhardt *et al.* (1996) encuentran que el incremento marginal relativo es mínimo en febrero-marzo traduciéndose en la formación de una banda hialina o traslucida, que coincide con el peak de desove informado por Arocha (1995). Además, indican que el IMR máximo corresponde a julio-septiembre relacionado con la estación de alimentación y su rango de distribución más al norte. En el Pacífico norte Sun *et al.*

**Figura 5.** Curvas de crecimiento en longitud para machos y hembras de pez espada ajustadas en el presente estudio.**Figure 5.** Length growth curves for a) males, and b) females of swordfish fitted in the present study.

(2002) señalan la formación del annulus en julio-agosto, que corresponde al final del periodo de desove para dicha área, lo que es opuesto a lo encontrado en el Atlántico norte; pero agregan también que podría estar relacionado con su migración, como ha sido sugerido por Berkeley & Houde (1983) y Ehrhardt *et al.* (1996), para las poblaciones del Atlántico y por Tserpes & Tseminides (1995), para el Mar Egeo. En el presente caso, frente a las costas de Chile, la formación del anillo hialino estaría asociado con el término de la migración post-reproductiva y su estadía en la zona de alimentación, caracterizada por aguas más frías de la corriente Chile-Perú (Bernal *et al.*, 1982). Por tanto, la relación entre la formación del annulus y las diferentes fase del ciclo de vida del pez espada (desove, migración, alimentación) deberían ser objeto de mayor investigación como ha sido señalado por otros autores (Berkeley & Houde, 1983; Tserpes & Tseminides, 1995; Ehrhardt *et al.*, 1996; Sun *et al.*, 2002).

El análisis multivariado o  $T^2$  de Hotelling señala que el crecimiento entre hembras y machos, ya sea a la edad actual, o pretérita es diferente, lo que es corrob-

**Tabla 4.** Parámetros de crecimiento en longitud estimados para hembras, machos y ambos de pez espada mediante la ecuación de von Bertalanffy.  $L_{\infty}$ : longitud asintótica, K: coeficiente de crecimiento,  $t_0$ : edad longitud cero, r: coeficiente de determinación.

**Table 4.** Length growth parameter for female, male and both sexes of swordfish from the von Bertalanffy equation.  $L_{\infty}$ : asymptotic length, K: growth coefficient,  $t_0$ : age at zero length, r: determination coefficient.

Parámetro	Edad actual (años)		Edad pretérita (años)				
	Macho	Hembra	Modelo I		Modelo II		
			Macho	Hembra	Macho	Hembra	Ambos
$L_{\infty}$ (cm)	347,9	354,4	312,4	333,1	275,1	304,7	306,3
	(-36,961)	(15,439)	(15,999)	(0,322)	(7,165)	(3,742)	(3,67)
k	0,08917	0,09625	0,1128	0,1064	0,1774	0,1533	0,1466
	(0,02050)	(0,0103)	(0,0129)	(0,0053)	(0,0121)	(0,0050)	(0,0044)
$t_0$ (años)	-4,2199	-3,5787	-3,5970	-3,4807	-2,1076	-2,0571	-2,2292
	(0,5884)	(0,3247)	(0,2432)	(0,1276)	(0,1243)	(0,0714)	(0,1112)
r	0,884	0,933	0,887	0,937	0,912	0,951	0,942

**Tabla 5.** Longitud media a la edad actual y a edad pretérita con ambos modelos por sexo y ambos sexos combinados en pez espada.

**Table 5.** Mean length to actual and preterit age for two models by sex and both sexes in swordfish.

Edad (años)	Longitud edad actual (cm)		Longitud edad pretérita (cm)				
	Macho	Hembra	Modelo I		Modelo II		
			Macho	Hembra	Macho	Hembra	Ambos
1	129,5	126,3	126,4	126,3	116,6	114,0	115,5
2	148,1	147,2	146,3	147,2	142,4	141,1	141,5
3	165,1	166,3	164,0	165,9	164,0	164,3	164,0
4	180,7	183,5	179,8	182,8	182,0	184,3	183,4
5	195,0	199,2	194,0	198,0	197,2	201,4	200,2
6	208,0	213,4	206,6	211,6	209,8	216,1	214,6
7	220,0	226,4	217,9	223,9	220,5	228,7	227,1
8	230,9	238,1	228,0	234,9	229,3	239,5	237,9
9	240,9	248,8	237,0	244,8	236,8	248,7	247,2
10	250,0	258,5	245,0	253,7	243,0	256,7	255,3
11	258,3	267,3	252,2	261,7	248,2	263,5	262,2
12	266,0	275,3	258,7	268,9	252,6	269,4	268,2
13	273,0	282,5	264,4	275,4	256,3	274,4	273,4
14	279,4	289,1	269,5	281,2	259,3	278,7	277,9
15	285,2	295,1	274,1	286,5	261,9	282,4	281,8

**Tabla 6.** Parámetros de crecimiento en peso (total) para el pez espada en el océano Pacífico suroriental.  $W_{\infty}$ : peso asintótico, K: coeficiente de crecimiento,  $t_0$ : edad longitud cero.

**Table 6.** Growth weight parameters for swordfish in the southeastern Pacific Ocean.  $W_{\infty}$ : asymptotic weight, K: growth coefficient,  $t_0$ : age at zero length.

	Machos			Hembras			Combinados
	Modelo I	Modelo II	actual	Modelo I	Modelo II	actual	Modelo II
$W_{\infty}$	415,8	278,7	583,5	537,3	406,7	652,4	404,1
K	0,1128	0,1774	0,08917	0,1064	0,1533	0,09625	0,1466
$t_0$	-3,5970	-2,1076	-4,2199	-3,4807	-2,0571	-3,5787	-2,2292

**Tabla 7.** Pesos promedios a la edad por sexo y ambos sexos analizados en el presente estudio.

**Table 7.** Mean weight to age for sex and both sexes for different models in this study.

Edad (años)	Edad actual		Modelo I		Modelo II		Ambos
	Macho	Hembra	Macho	Hembra	Macho	Hembra	
	Peso total (kg)		Peso total (kg)		Peso total (kg)		
1	25,98	25,87	24,1	16,03	18,44	14,06	19,0
2	39,67	41,79	38,2	25,87	34,58	27,39	36,0
3	55,89	61,10	54,7	37,66	53,93	44,15	57,1
4	74,25	83,23	73,1	50,98	74,95	63,18	81,0
5	94,30	107,57	92,8	65,42	96,38	83,41	106,5
6	115,62	133,51	113,2	80,58	117,27	103,95	132,6
7	137,81	160,50	133,8	96,10	136,97	124,11	158,3
8	160,50	188,02	154,3	111,70	155,12	143,40	183,1
9	183,38	215,66	174,3	127,11	171,53	161,49	206,6
10	206,17	243,05	193,6	142,15	186,15	178,20	228,4
11	228,64	269,89	212,0	156,67	199,03	193,44	248,5
12	250,61	295,95	229,5	170,56	210,28	207,21	266,7
13	271,92	321,07	245,9	183,74	220,02	219,53	283,2
14	292,47	345,10	261,2	196,17	228,41	230,50	298,0
15	312,18	367,96	275,4	207,82	235,61	240,20	311,2
16	330,98	389,60	288,6	218,69	241,75	248,73	322,9
17	348,84	409,98	300,7	228,78	246,98	256,22	333,2

rado con el test de Chen *et al.* (1992) que compara la suma de cuadrados residuales, lo que es concordante con la mayoría de los autores que han informado sobre este hecho en *X. gladius*.

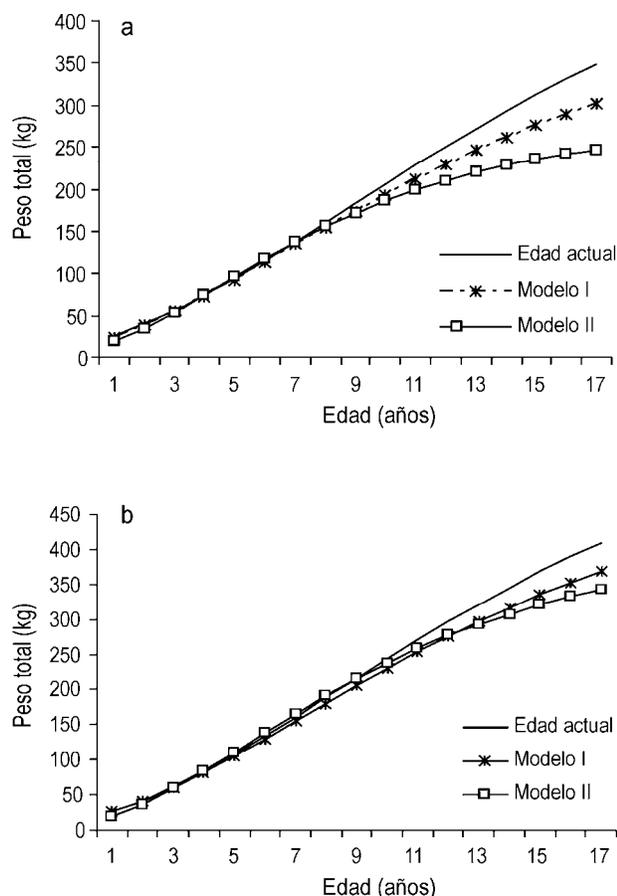
El parámetro  $t_0$  estimado por la ecuación estándar de von Bertalanffy presentó valores alejados de cero al considerar los ajustes a la edad actual y por el modelo I, que usó una función lineal para describir la relación entre LMIH y  $R_e$ . En el modelo II que utilizó una función potencial para describir dicha relación, el valor de  $t_0$  es más cercano a cero, lo cual es biológicamente más realista como lo señalan Ehr-

hardt (1992), Tserpes & Tsimenides (1995) y Ehrhardt *et al.* (1996). Por otra parte, como los valores del coeficiente de determinación ( $r^2$ ) son mayores para el ajuste de los parámetros de crecimiento por el modelo II (Tabla 3), se considera que los parámetros estimados con este modelo para la ecuación estándar de von Bertalanffy son los más aceptables para estimar el crecimiento del pez espada en el océano Pacífico suroriental.

El ajuste de parámetros de crecimiento en peso se ha hecho de forma simple, esto es, estimando el peso asintótico a partir de la longitud asintótica y la rela-

**Tabla 8.** Parámetros de crecimiento estimados para *Xiphias gladius* en distintas áreas oceánicas.**Table 8.** Length growth parameters determined for *Xiphias gladius* in different oceanic areas.

Autores	$L_{\infty}$ (cm)	K (año <sup>-1</sup> )	$t_0$ (año)	LMIH (rango, cm)	Edades (E) Estructura Localidad
Berkeley & Houde (1983)	M = 217,36 H = 340,0	M = 0,195 H = 0,095	M = -2,04 H = -2,59		E = 0-11; Espina anal E. Florida (1)
Radtke & Hurley (1983)	M = 277,18 H = 266,66	M = 0,073 H = 0,120	M = -3,942 H = -1,678	M = 88 - 208 H = 80 - 280	E = 2-14 / 2-32 Otolito C. Hatteras
Tseminides & Tserpes (1989)	M = 193,87 H = 220,12	M = 0,342 H = 0,251	M = -1,219 H = -1,517	M = 54 -215 H = 54 -215	E = 0-7; Espina anal Mar Egeo
Ehrhardt (1992)	M = 281,24 H = 325,91	M = 0,045 H = 0,037			E = (1) data de Berkeley & Houde (1983)
Leiva (1993)	M = 278 H = 348	M = 0,112 H = 0,089	M = -3,67 H = -3,66		E = 1-14 / 1-16 Espina anal Pacífico suroriental
Tserpes & Tseminides (1995)	M = 203,08 H = 226,53	M = 0,241 H = 0,210	M = -1,205 H = -1,165	M = 62 - 210 M = 62 - 210	E = 0-9; Espina anal Mar Egeo
Ehrhardt <i>et al.</i> (1996)	M = 189,58 H = 364,69	M = 0,204 H = 0,050	M = -0,410 H = -0,556		E = 1-9 / 1-12; Espina anal Atlántico noroeste
Montiel (1996)	M = 250 H = 282	M = 0,322 H = 0,293	M = -0,755 H = 0,109	M = 108-263 H = 108-307	E = 0-12 Espina anal Pacífico suroriental
Sun <i>et al.</i> (2002)	M = 213,05 H = 300,66	M = 0,086 H = 0,040	M = -0,63 H = -0,75	M = 78-207 H = 83-290	E = 1-10 / 1-12 Espina anal Pacífico (Taiwán)
Arocha <i>et al.</i> (2003)	M = 300,0 H = 375,5	M = 0,00465 H = 0,00734		M = 105-270 H = 74-284	E = 1-12 / 1-16 Espina anal Atlántico noroeste
Presente trabajo	M = 275,1 H = 304,7	M = 0,177 H = 0,153	M = -2,108 H = -2,057	M = 105-270 H = 108-318	E = 1-10 / 1-13 Espina anal Pacífico suroriental



**Figura 6.** Curvas de crecimiento en peso para a) machos y b) hembras de pez espada en el océano Pacífico suroriental.

**Figure 6.** Weight growth curves for a) males and b) females for swordfish from southeastern Pacific.

ción entre la LMHI y el peso total del cuerpo para macho, hembra y sexos combinados. En cambio, los valores de los parámetros  $K$  y  $t_0$  corresponden a los determinados para el crecimiento en longitud, aunque lo ideal hubiese sido el haber contado con medidas observadas de peso total a la edad actual, de manera de ajustar una curva de crecimiento en peso en forma independiente que representase con mayor precisión la relación peso total-edad.

En las estimaciones de los parámetros de crecimiento de *X. gladius* hay una gran diversidad de valores dependiendo de las regiones consideradas por diferentes autores, discriminación por sexo o no, estructura considerada para la determinación de edad y la amplitud de tallas de las muestras disponibles (Tabla 8). En el caso del Pacífico suroriental se puede considerar que las estimaciones de Leiva (1993) son las más cercanas a las estimadas en este trabajo, comparadas con las de Montiel (1996), cuyas estimaciones

de  $K$  son mayores y determinan valores de  $L_\infty$  menores.

Los valores de  $L_\infty$  estimados considerando número de edad equivalente (12 y 13 edades) son bastante semejantes en hembras, independiente de los lugares de captura, presentando valores de  $L_\infty = 340,0$  cm (Berkeley & Houde, 1983),  $L_\infty = 325,9$  cm (Ehrhardt, 1992),  $L_\infty = 348$  cm (Leiva, 1993),  $L_\infty = 282$  cm (Montiel, 1996),  $L_\infty = 300,7$  cm (Sun *et al.*, 2002),  $L_\infty = 304,7$  cm (presente trabajo); lo que no sucede con los valores de  $K$  y  $t_0$  que presentan diferencias grandes entre  $0,040 \text{ año}^{-1}$  y  $0,293 \text{ año}^{-1}$  y entre  $-3,67$  años y  $-0,75$  años, respectivamente (Tabla 8).

La mayoría de los autores en los estudios de crecimiento de pez espada han usado los modelos estándar y generalizado de von Bertalanffy (VB), al respecto Berkeley & Houde (1983) encuentran un buen ajuste mediante el modelo estándar VB (Tabla 8), para el crecimiento del pez espada para Florida en el Atlántico. Sin embargo, Ehrhardt (1992) señala que el modelo generalizado VB entrega un mejor ajuste que el estándar. Por su parte, Tserpes & Tsemnides (1995), para el Mar Mediterráneo determinan que ambos modelos entregan un buen ajuste y señalan que el modelo generalizado VB sobreestima el valor de  $L_\infty$ , recomendando el estándar VB (Tabla 8). Esto es respaldado parcialmente por Sun *et al.* (2002) y Arocha *et al.* (2003) quienes no encuentran diferencias significativas al comparar el uso de ambos modelos en el ajuste de crecimiento para el pez espada (Tabla 8). Por lo cual, ambos modelo estándar y generalizado de von Bertalanffy, con la incorporación de una función potencial para la relación LMHI-Re representan adecuadamente el crecimiento del pez espada para el Pacífico suroriental.

## AGRADECIMIENTOS

En forma muy especial expresamos nuestros agradecimientos a la Subsecretaría de Pesca del Gobierno de Chile en la persona del Dr. Patricio Bernal Ponce, Subsecretario de la época, que ha permitido el uso de la información analizada en la presente publicación y bajo cuya gestión se logró la obtención del material biológico, a través de dos proyectos ejecutados por los autores. Hacemos extensivos los agradecimientos al Sr. Francisco Ponce, funcionario de dicha Subsecretaría por su continua preocupación y gestión para lograr un mayor conocimiento y regulación de la pesquería del pez espada. También, hacemos extensivos nuestros agradecimientos a tres revisores anónimos que con sus observaciones y sugerencias han contribuido a mejorar este trabajo.

## REFERENCIAS

- Aguayo, M. 1971. Determinación de la edad en merluza (*Merluccius gayi*) (Guichenot, 1848), mediante la lectura de otolitos. Bol. Cient. Inst. Fom. Pesq., Santiago, 16: 1-49.
- Aguayo, M. & J. Chong. 1991. Determinación de edad y estimación de crecimiento en cojinoba moteada (*Serirolella punctata* Bloch & Schneider, 1991) de la zona sur de Chile. Rev. Biol. Mar. Valparaíso, 26(2): 363-374.
- Aguayo, M. & V. Ojeda. 1987. Estudios de la edad y crecimiento de merluza común *Merluccius gayi gayi* Guichenot, 1848) (Gadiformes, Merlucciidae). Invest. Pesq., Chile, 34: 99-12.
- Araya, M. & L. Cubillos. 2002. El análisis retrospectivo del crecimiento en peces y sus problemas asociados. Gayana, 66(2): 161-179.
- Arocha, F., C. Moreno, L. Beerkircher, D.W. Lee & L. Marciano. 2003. Update on growth estimates for swordfish, *Xiphias gladius*, in the northwestern Atlantic. Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 55(4): 1416-1429.
- Barbieri, M.A., E. Yañez, L. Ortiz & A. González. 1990. La pesquería del pez espada: tendencias y perspectivas. En: M.A. Barbieri (ed.). Perspectiva de la actividad pesquera en Chile. Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso, pp. 195-214.
- Beamish, R.J. & G.A. McFarlane. 1983. Validation of age determination estimates: the forgotten requirement. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS, 8: 29-33.
- Bernal, P., F. Robles & O. Rojas. 1982. Variabilidad física y biológica en la región meridional del Sistema de Corrientes de Chile-Perú. Monografías Biológicas, Chile, 2: 75-102.
- Bernard, D.R. 1981. Multivariate analysis as a means of comparing growth in fish. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 38: 233-236.
- Berkeley, S.A. & E.D. Houde. 1983. Age determination of broadbill swordfish, *Xiphias gladius*, from the Strait of Florida, using anal fin spine sections. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMSF, 8: 137-143.
- Castro-Longoria, R. & O. Sosa-Nishizaki. 1998. Age determination of swordfish, *Xiphias gladius* L., from waters off Baja California, Mexico, using anal fin rays and otoliths. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS, 142: 231-257.
- Cerrato, R. 1990. Interpretable statistical test for growth comparisons using parameters in the von Bertalanffy equation. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 47: 1416-1426.
- Chen, Y., A. Jackson & H. Harvey. 1992. A comparison of von Bertalanffy and polynomial functions in modeling fish growth data. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 49: 1228-1235.
- Chong, J. & M. Aguayo. 1990. Determinación de edad y estimación de parámetros de crecimiento en el congrio dorado, *Genypterus blacodes* (Schneider, 1801), del océano Pacífico Suroriental. Biol. Pesq. (Chile), 19: 55-67.
- Chong, J. & M. Aguayo. 1994. Determinación de edad y crecimiento de *Serirolella caerulea* Guichenot, 1848 de la zona sur-austral de Chile. Biol. Pesq. (Chile), 23: 59-67.
- Chugunova, N.I. 1963. Age and growth studies in fish. A systematic guide for ichthyologists. National Science Foundation, Washington, D.C., The Israel Program for Scientific Translations, 132 pp.
- Dannevig, A. 1933. On the age and growth of the cod (*Gadus callarias*) from the Norwegian Skagerrack. Report on Norwegian Fishery and Marine Investigation, 4(1): 1-145.
- Donoso, M. & F. Cerna. 1999. Monitoreo pesquería de albacora temporada 1998. Instituto de Fomento Pesquero. Informe Subsecretaría de Pesca, Valparaíso, 32 pp.
- Ehrhardt, N. 1992. Age and growth of swordfish, *Xiphias gladius*, in the Northwestern Atlantic. Bull. Mar. Sci., 50(2): 292-301.
- Ehrhardt, N., R.J. Robbins & F. Arocha. 1996. Age validation and growth of swordfish, *Xiphias gladius*, in the Northwest Atlantic. ICCAT (International Commission for the conservation of Tunas). Coll. Vol. Sci. Pap., 45(2): 358-367.
- Esteves, E., P. Simões, H.M. da Silva & P. Andrade. 1995. Ageing of swordfish, *Xiphias gladius* Linnaeus, 1758, from the Azores, using sagittae, anal-fin spine and vertebrae. Bull. Univ. Azores, Life and Marine Sciences, 13A: 39-51.
- Francis, R.I.C. 1990. Back-calculation of fish length: a critical review. J. Fish. Biol., 36: 883-902.
- Galleguillos, R., R. Montoya & L. Troncoso. 2001. Unidades poblacionales de pez espada. Informe Final. FIP N° 99-12: 29 pp.
- Leiva, B. 1993. Análisis de estructuras para el cálculo de la edad y crecimiento del pez espada *Xiphias gladius* y evaluación preliminar de los parámetros de crecimiento. Tesis de Ingeniería Pesquera. Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso, 83 pp.
- Megalofonou, P., J.M. Dean, G. Demetrio, C. Wilson & S. Berkeley. 1995. Age and growth of juvenile swordfish, *Xiphias gladius* Linnaeus from the Mediterranean Sea. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 188: 79-88.
- Montiel, A. 1996. Determinación de la edad y del crecimiento de pez espada (*Xiphias gladius*) explotado en la zona central de Chile. Tesis de Ingeniería Pesquera,

- Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso, 73 pp.
- Nakamura, I. 1985. FAO species catalogue. Vol. 5. Billfishes of the World. An annotated and illustrated catalogue of marlins, sailfishes, spearsfishes and swordfishes known to date. FAO Fish. Synop., Rome, 5: 65 pp.
- Ponce, F. & R. Bustos. 1991. La pesquería del pez espada *Xiphias gladius* Linnaeus, 1758 en Chile. Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS). Rev. Pacífico Sur, 19: 25-34.
- Prince, E.D., D.W. Lee & S.A. Berkeley. 1988. Use of marginal increment analysis to validate the anal spine method for ageing Atlantic swordfish and other alternative for age determination. ICCAT Coll. Vol. Sci. Pap., 27: 194-201.
- Ratkowsky, D. 1983. Nonlinear regression modelling. Marcel Dekker, New York, 276 pp.
- Radtke, R.L. & P. Hurley. 1983. Age estimation and growth of broadbill swordfish, *Xiphias gladius*, from the NW Atlantic based on external features of otoliths. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS, 8: 145-150.
- Sun C.L., S.P. Wang & S.Z. Yeh. 2002. Age and growth of the swordfish (*Xiphias gladius* L.) in the waters around Taiwan determined from anal-fin rays. US Fish. Bull., 100: 822-835.
- Tserpes, G. & N. Tsimenides. 1995. Determination of age and growth of swordfish, *Xiphias gladius* L., 1758, in the eastern Mediterranean using anal-fin spines. US Fish. Bull., 93: 594-602.
- Tsimenides, N. & G. Tserpes. 1989. Age determination and growth of swordfish, *Xiphias gladius* L., in the Aegean Sea. Fish. Res., 8: 159-168.
- Uchiyama, J.H., R. Skillman & J.D. Sampaga. 1998. A preliminary assesment of the use of hard parts to age central Pacific swordfish, *Xiphias gladius*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS, 142: 261-273.
- Yáñez, E., C. Silva, J. Marabolí, F. Gómez, N. Silva, E. Morales, A. Bertrand, J. Campalans, A. Gamonal, J. Chong, P. Rojas, B. Menares & J. Sepúlveda. 2003. Caracterización ecológica y pesquera de la cordillera de Nazca como área de crianza del pez espada. Informe Final FIP N° 2002-04: 425 pp.

Received: 1 December 2006; Accepted: 30 January 2008