

ESTIMACIONES DE CRECIMIENTO DE *Haliotis rufescens* EN

CAUTIVERIO EN EL NORTE DE CHILE

Eduardo P. Pérez E. y Andrea Araya

RESUMEN

El crecimiento en acuicultura es indicador directo de productividad, permite predecir el desarrollo del cultivo y la cosecha, afecta indirectamente el desempeño de variables tecnológicas y determina el tiempo necesario para obtener individuos de un tamaño específico, lo cual condiciona el beneficio económico de un cultivo. Estas condiciones requieren la toma de datos y descripción adecuada del crecimiento de la especie cultivada. En este trabajo se evalúan tres alternativas de ajuste de parámetros de crecimiento a partir de información recopilada en un centro de cultivo de abalón rojo *Haliotis rufescens* en Coquimbo, Chile, donde se midieron durante un año individuos de 1,4-4,3 años, por intervalos de tamaño de 15-25, 26-35, 36-45, 46-55 y 56-65mm de longitud. Para analizar la consistencia en la estimación de crecimiento, se utilizaron tres

modelos: la ecuación de von Bertalanffy (ECVB), la versión con crecimiento estacionalizado de ECVB y el modelo generalizado de crecimiento de Schnute y Richards. Los tres modelos resultaron ser confiables para longitudes en edades de 1,4-4,3 años, y las curvas de ajuste pasan a través del centro de la nube de puntos. Coincide esta etapa con la fase de crecimiento exponencial de los organismos. Con un criterio estrictamente estadístico la ECVB en su versión estacionalizada es la más ajustada, por una menor suma de cuadrados. Dado que las extrapolaciones hacia edades mayores y menores resultan más exactas con el modelo generalizado de crecimiento, se concluye que éste representó mejor el crecimiento de *H. rufescens* en las condiciones locales de cultivo.

Introducción

El crecimiento es un aspecto importante en acuicultura. Es un indicador directo de la productividad, permite predecir el desarrollo del cultivo y la cosecha (Leighton, 2000); afecta indirectamente el desempeño de las variables tecnológicas, tales como la aireación y el sistema de bombeo (Allen *et al*, 1984) y determina el tiempo necesario para obtener individuos de un tamaño de mercado específico, lo cual condiciona finalmente el beneficio económico de un cultivo (Hahn, 1989). Todas estas condiciones hacen necesaria la toma de datos y la descripción adecuada del crecimiento de la especie en cultivo.

El abalón rojo *Haliotis rufescens* Swainson 1822 es una especie originaria de la costa oeste de EEUU y México (Hahn, 1989) y es cultivada en muchos países del mundo

(Flores-Aguilar *et al*, 2007). En Chile el abalón rojo fue introducido con objetivos productivos dado su elevado valor comercial y las buenas proyecciones del mercado. Su cultivo está centrado principalmente en la Región de Coquimbo y Atacama. La producción ha aumentado en los últimos 15 años, alcanzando las 514ton en 2008 (SERNAPesca, 2008). A pesar de su desarrollo productivo, aún no se dispone de estudios sobre su crecimiento bajo las condiciones presentes en Chile, un aspecto básico para poder estimar la disponibilidad de biomasa en distintos tiempos de cultivo.

Estudios de crecimiento de abalón rojo existen tanto para ambiente natural (Day y Fleming, 1992; Leaf *et al*, 2004, 2008; Rogers-Bennett *et al*, 2007) como en cautiverio (Steinarsson e Imsland, 2003; Pérez, 2010). En ambiente natural las estimaciones de lon-

gitud máxima promedio (L_{∞}) están en el intervalo de 189-254mm y un coeficiente de Brody (K) de 0,11-0,27/año, mientras que en cautiverio el intervalo es menor para L_{∞} (160-202mm) y K es 0,14-0,21/año. Aparte de las obvias diferencias entre los ambientes donde se han reportado estas estimaciones de crecimiento, Pérez (2010) ha propuesto una explicación basada en la relación entre la velocidad (K) a la cual se alcanza la longitud máxima promedio y la temperatura. Así, K sería una función de la temperatura y L_{∞} a su vez se relaciona inversamente con K.

Adicionalmente, está el tema del modelo de representación del crecimiento. En la literatura existen variados modelos matemáticos que permiten describir patrones de crecimiento. El modelo de von Bertalanffy ha sido ampliamente utilizado y puede

ser modificado para considerar el crecimiento estacional (Haddon, 2001). El modelo general de crecimiento de Schnute y Richards (1990) se caracteriza por su flexibilidad y capacidad de describir variadas formas de crecimiento. Independiente del modelo utilizado existen técnicas estadísticas que permiten decidir según el nivel de ajuste de los datos (Haddon, 2001). Algunos autores representan el crecimiento de *H. rufescens* a través del modelo de von Bertalanffy (ver Day y Fleming, 1992), mientras que otros ponen a prueba una gama de modelos alternativos (Rogers-Bennett *et al*, 2007). Estos últimos autores mostraron que el modelo de von Bertalanffy fue el que mayor suma de cuadrados de los residuos (SSR) proporcionó y sugirieron al modelo gaussiano como una mejor alternativa, presentando tres ventajas: una des-

PALABRAS CLAVE / *Haliotis rufescens* / Chile / Crecimiento / Cultivo /

Recibido: 22/07/2011. Modificado: 20/02/2012. Aceptado: 24/02/2012.

Eduardo P. Pérez E. Biólogo Marino, Universidad Católica del Norte (UCN), Chile. Ph.D., Cinvestav, México. Profesor, UCN, Chile. Investigador,

Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), Chile. Dirección: Departamento de Biología Marina. Facultad de Ciencias del Mar, UCN.

Casilla 117. Coquimbo, IV Región, Chile. e-mail: eperez@ucn.cl

Andrea Araya. Bióloga Marina y Magister en Ciencias del

Mar. Investigadora, Instituto de Fomento Pesquero-IFOP, Chile.

GROWTH ESTIMATES FOR *Haliotis rufescens* IN CAPTIVITY IN NORTHERN CHILE

Eduardo P. Pérez E. and Andrea Araya

SUMMARY

In aquaculture, growth is a direct indicator of productivity, it allows the prediction of culture and harvest development, indirectly affects the performance of technological variables and determines the needed time to obtain individuals of a given size, all of which conditions the economical benefits of cultivation. These conditions require gathering data and adequately describing growth of the cultivated species. In this work, three parameter adjustment alternatives are tested, starting from information gathered in a culture center of the red abalone *Haliotis rufescens* in Coquimbo, Chile, where old individuals were measured throughout a year, classed in ranges of 15-25, 26-35, 36-45, 46-55 and y 56-65mm of length. To analyze the consistency

in growth estimation three models were used: the von Bertalanffy equation (VBGF), the version of VBGF with stationary growth, and the generalized growth model of Schnute and Richards. All three models were appropriate for lengths in ages 1.4-4.3 years, and the adjusted curves pass through the center of the cloud of points. This phase coincides with the exponential growth of organisms. With a strictly statistical criterion the stationary version of VBGF gives the best adjustment due to a lesser sum of squares. Given that extrapolation to lower or higher ages result more exact with the generalized growth model, it is concluded that the latter better represents growth of *H. rufescens* in the local cultivation conditions.

ESTIMAÇÕES DE CRESCIMENTO DE *Haliotis rufescens* EM CATIVEIRO NO NORTE DO CHILE

Eduardo P. Pérez E. e Andrea Araya

RESUMO

O crescimento em aquicultura é indicador direto de produtividade, permite prever o desenvolvimento do cultivo e a colheita, afeta indiretamente o desempenho de variáveis tecnológicas e determina o tempo necessário para obter indivíduos de um tamanho específico, o qual condiciona o benefício econômico de um cultivo. Estas condições requerem o levantamento de dados e descrição adequada do crescimento da espécie cultivada. Neste trabalho se avaliam três alternativas de ajuste de parâmetros de crescimento a partir de informação recopilada em um centro de cultivo de abalone vermelho *Haliotis rufescens* em Coquimbo, Chile, onde se mediram durante um ano indivíduos de 1,4-4,3 anos, por intervalos de tamanho de 15-25, 26-35, 36-45, 46-55 e 56-65mm de longitude. Para analisar a consistência na esti-

mativa de crescimento, se utilizaram três modelos: a equação de von Bertalanffy (EQVB), a versão com crescimento estacionário de EQVB e o modelo generalizado de crescimento de Schnute e Richards. Os três modelos resultaram ser confiáveis para longitudes em idades de 1,4-4,3 anos, e as curvas de ajuste passam a través do centro da nuvem de pontos. Coincide esta etapa com a fase de crescimento exponencial dos organismos. Com um critério estritamente estatístico a EQVB em sua versão estacionário é a mais ajustada, por uma menor soma de quadrados. Devido que as extrapolações para idades maiores e menores resultam mais exatas com o modelo generalizado de crescimento, se conclui que este representou melhor o crescimento de *H. rufescens* nas condições locais de cultivo.

cripción más adecuada de los datos de crecimiento observado, SSR menores y una buena predicción para el tiempo necesario para entrar a las capturas pesqueras.

Igual que otras variables biológicas, el crecimiento se ve afectado por factores externos. Según revisiones realizadas por Leighton (2000), los abalones de California presentan tasas de crecimiento variables entre localidades, estación y temperatura. Por su parte, Fallu (1991) señaló que la tasa de crecimiento es generalmente única para cada cultivo, mientras el clima y la dieta son factores que modifi-

can el crecimiento. Según lo anterior, las estimaciones de crecimiento deberían realizarse para cada sector considerando las condiciones específicas de cada cultivo. En este trabajo se evalúan tres alternativas de ajuste de parámetros de crecimiento a partir de información recopilada en un centro de cultivo de abalón rojo *H. rufescens* en la Región de Coquimbo, Chile.

Materiales y Métodos

Datos de crecimiento

Se utilizaron datos disponibles de un centro de culti-

vo de *H. rufescens* ubicado en la ciudad de Coquimbo (30°S), IV Región, Chile, donde se midieron individuos de edades entre 1,4 y 4,3 años, desde el 04/01/2000 hasta el 04/01/2001. Los individuos fueron separados por intervalos de tamaño de 15-25, 26-35, 36-45, 46-55 y 56-65mm de longitud. En cada mes de muestreo se midió la longitud (mm) a 50 individuos de cada intervalo de tamaño, calculándose el incremento en tamaño durante el periodo para posteriormente construir a partir de los datos una tabla de edad vs longitud, de una manera si-

milar al experimento de Steinarsson e Imsland (2003).

Tratamiento de la información

Con el propósito de analizar la consistencia en la estimación de crecimiento, la información fue procesada utilizando tres aproximaciones cuantitativas. La primera, la ecuación de von Bertalanffy (ECVB) en su forma usual (Hilborn y Walters, 1991; Sparre y Venema, 1997), donde la longitud a cualquier edad (Lt) depende sólo de la edad (t) de la longitud máxima promedio

(L_{∞}), del coeficiente de Brody (K) y de la edad teórica a la cual la longitud fue cero (t_0):

$$L_t = L_{\infty} \left[1 - \exp^{-K(t-t_0)} \right] \quad (1)$$

El segundo enfoque fue utilizar la versión con crecimiento estacionalizado de la ECVB (Sparre y Venema, 1997):

$$L_t = L_{\infty} \left[1 - \exp \left(-K \times (t-t_0) \frac{CK}{2\pi} \sin[2\pi(t-t_0)] \right) \right] \quad (2)$$

donde C: magnitud de la oscilación en el crecimiento, y t_0 : momento del año cuando la tasa de crecimiento es máxima.

Finalmente, los datos fueron ajustados al modelo generalizado de crecimiento descrito por Schnute y Richards (1990):

$$L_t = L_{\infty} \left[(1 + \alpha \times e^{-\beta t^{\gamma}})^{-\delta} \right] \quad (3)$$

donde α , β , γ y δ son parámetros. La ventaja de este último modelo es su versatilidad, ya que dependiendo del valor de los parámetros puede representar distintos tipos de curvas, entre ellas la de von Bertalanffy. El modelo puede representar tanto funciones tipo parabólicas como de tipo Gompertz, por lo que es mucho más plástica que la ecuación de von Bertalanffy, motivo por el cual fue incluida en el análisis.

Los parámetros para cada ecuación fueron estimados a través del método de los mínimos cuadrados, usando como función objetivo a

$$\min \rightarrow (L_{\text{obs}} - L_{\text{esp}})^2 \quad (4)$$

El valor estimado de los parámetros para cada modelo de crecimiento fue acompañado por el valor de la suma de cuadrados del error (SS) obtenido del proceso de minimización.

Finalmente, aprovechando la información complementaria disponible en la empresa se estimó el peso a la edad t (P_t), a partir de la relación

$$P_t = a \times L_t^b \quad (5)$$

donde L_t : longitud a la edad t , obtenida por la mejor curva de ajuste de edad-longitud, y a y b son parámetros. Para ello fueron medidos un total de 195 individuos entre los 21,3 y 86,7mm de longitud.

Adicionalmente se utilizó información auxiliar para determinar una forma de contrastar los resultados de la estimación del crecimiento con valores esperados. Para ello se utilizó información de Steinarsson e Imsland (2003) y Pérez (2010). Reanalizando la información de Steinarsson e Imsland (2003), Pérez (2010) encontró una relación entre la temperatura (T) y la velocidad a la cual se alcanza L_{∞} (K)

$$K = -0,000134T^2 + 0,0046809T - 0,0235219 \quad (6)$$

y a partir de la Ec. 6 se determina el valor de L_{∞} como

$$L_{\infty} = \sqrt{\frac{10^{2,65}}{-0,000134T^2 + 0,0046809T - 0,0235219}} \quad (7)$$

Cuando el crecimiento es descrito por la ECVB el crecimiento puede ser descrito como

$$L_t = \sqrt{\frac{10^{2,65}}{-0,000134T^2 + 0,0046809T - 0,0235219}} \times \left[1 - e^{-(-0,000134T^2 + 0,0046809T - 0,0235219) * (t-t_0)} \right] \quad (8)$$

De esta manera se puede tener una estimación de L_{∞} y K a partir de la temperatura media del agua. Así, la Ec. 8 fue usada como un indicador auxiliar para contrastar los resultados de los ajustes de crecimiento de los datos descritos anteriormente, particularmente el valor de L_{∞} , usando 14°C como temperatura media del agua de mar en la zona de Coquimbo, de acuerdo a lo reportado por Broitman *et al.* (2001).

Resultados

Visualmente, los tres ajustes dan cuenta adecuada de los datos de edad-longitud

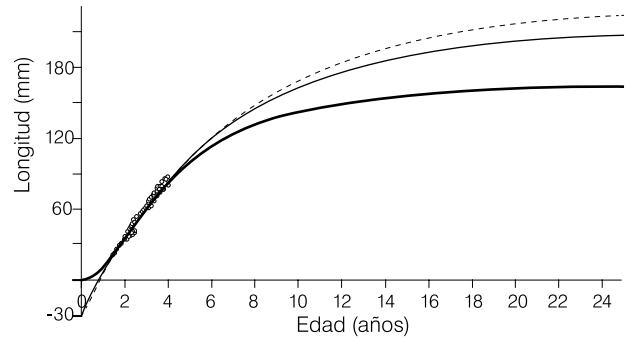


Figura 1. Curvas de crecimiento teóricas para *H. rufescens*. Los círculos son los datos observados y las líneas las trayectorias esperadas a partir de las ecuaciones de crecimiento descritas en el texto y cuyos parámetros se muestran en la Tabla I. La línea discontinua es el ajuste con la ecuación de von Bertalanffy; la línea continua delgada el ajuste con la versión estacionalizada y la línea continua más gruesa representa al ajuste con el modelo generalizado de Schnute y Richards.

(Figura 1); sin embargo, el menor valor de suma de cuadrados se obtuvo para la ECVB en su versión estacionalizada (Tabla I), seguido del modelo generalizado y finalmente del modelo de von Bertalanffy en su forma original.

Basada en los parámetros de ajuste para cada modelo de crecimiento (Tabla I), la Figura 1 muestra que los datos disponibles del cultivo representan la fase de crecimiento exponencial, y que los

detallado de los resultados muestra ciertas inconsistencias. En efecto, si bien todas las curvas de ajuste pasan en medio de la nube de puntos, proyectándolas hacia tamaños menores a los observados ocurre que las curvas basadas en la ECVB muestran que el tamaño entre cero y el primer año de vida es negativo, lo que carece de racionalidad. En contraste, los resultados del modelo generalizado muestran un tamaño inicial cercano a cero, seguido de un lento crecimiento inicial, para posteriormente seguir un patrón similar a un crecimiento tipo Gompertz. La extrapolación hacia la longitud asintótica muestra diferencias de 65,4mm entre los valores extremos de L_{∞} (231,6 y 166,2mm; Tabla I), representados por la ECVB y el

tres modelos pasan por sobre la nube de puntos, indicando un buen ajuste a los datos observados. Un análisis más

TABLA I
VALOR DE LOS PARÁMETROS OBTENIDOS PARA CADA UNO DE LOS MODELOS DE CRECIMIENTO DESCRITOS EN EL TEXTO

Parámetro	von Bertalanffy (SS= 781,9)	von Bertalanffy estacional (SS= 743,3)	Modelo generalizado (SS= 757,5)
L_{∞}	231,6	211,3	166,2
K	0,14	0,16	
t_0	0,80	0,82	
C		-0,021	
tv		-0,061	
α			2,102
β			0,064
γ			0,383
δ			1,588

La cantidad entre paréntesis representa la suma de cuadrados (SS).

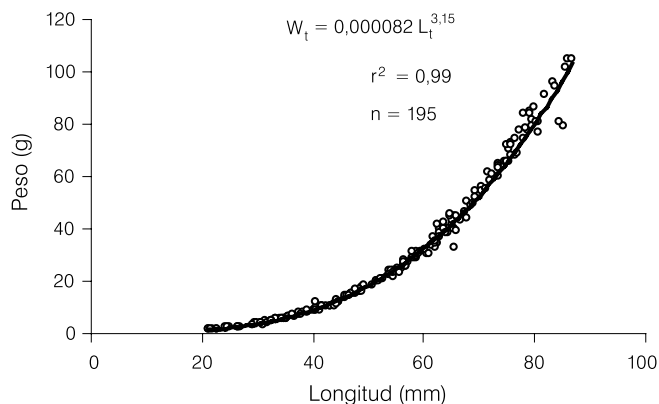


Figura 2. Relación longitud-peso para *H. rufescens*. W_t : peso, L_t : longitud a la edad t , n : número de observaciones.

modelo de Schnute y Richards. Entre ambos modelos basados en la ECVB existió una menor diferencia entre las estimaciones (20,3mm). Finalmente, el valor de L_∞ estimado a partir de la Ec. 7 fue de 168,4mm de longitud total.

El ajuste de la relación longitud-peso a la edad mostró una pendiente de 3,15 (Figura 2) con un 99% de la varianza explicada por el modelo. Así, utilizando el resultado del ajuste del modelo generalizado de crecimiento de Schnute y Richards, a pesar de tener un menor valor de ajuste, y reemplazando la Ec. 3 en la Ec. 5 el crecimiento en longitud y en peso para *H. rufescens* podría ser descrito por el patrón de la Figura 3.

Discusión

Los resultados de los tres modelos de ajuste muestran ser confiables dentro del intervalo de observaciones de longitudes para edades entre 1,4 y 4,3 años, ya que las curvas de ajuste pasan a través del centro de la nube de puntos. Coincide esta etapa con la fase de crecimiento exponencial de los organismos medidos. Con un criterio estrictamente estadístico, la ECVB en su versión estacionalizada es la más ajustada de las tres, debido a su menor suma de cuadrados. Sin embargo, al no disponerse de observaciones de edades mayores ni menores se requiere determinar la validez de los

ajustes mediante información auxiliar. De esta manera, cada curva de ajuste se transforma en una especie de hipótesis, la cual predice situaciones que no han sido observadas, pero que de ser correctas las estimaciones, debieran coincidir con reportes previos de la literatura especializada.

Se ha reportado (Vega *et al.*, 2004) que al momento de la metamorfosis un abalón rojo tiene en promedio 240 μ m de longitud. Este momento constituye la edad cero. A esta edad los modelos empleados predicen una longitud de -27,6mm (Ec. 1), -29,7mm (Ec. 2) y 0mm (Eq. 3). Así, el modelo generalizado de crecimiento posee un poder predictivo mayor que las ecuaciones del tipo von Berta-

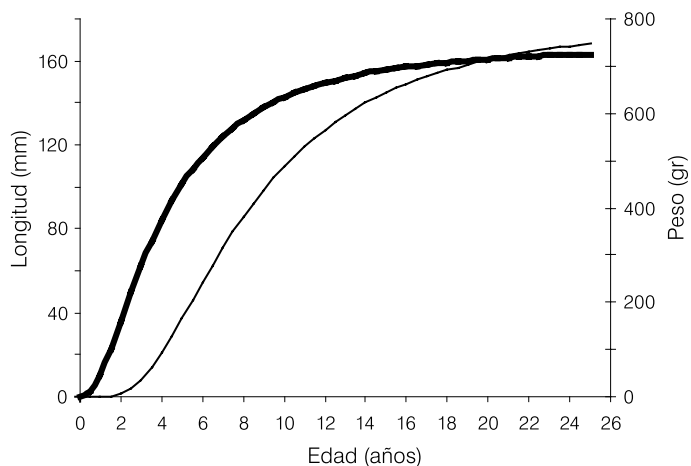


Figura 3. Relación entre edad (línea gruesa) y peso (línea delgada) resultantes de usar el modelo de crecimiento generalizado de Schnute y Richards y los parámetros de la Tabla I.

lanffy, ya que tamaños negativos carecen de sentido.

Por otra parte, los valores de longitud asintótica obtenidos para *H. rufescens* en este trabajo están en el intervalo de valores reportados en la literatura para esta especie (Tabla II), con valores extremos de 159,7 y 254,2mm. Aunque la distribución es amplia y puede contener valores inexactos, Pérez (2010) mostró que éstos son posibles debido a las condiciones locales, fundamentalmente temperatura, bajo las cuales se desarrollan las poblaciones, incluyendo aquellas bajo cultivo. Bajo situaciones experimentales controladas se mostró que el va-

lor de L_∞ podría ser de 202,8mm a 11,1°C y de 159,7mm a 17,7°C (Pérez, 2010). Utilizando la ecuación empírica propuesta por Pérez (2010) y la temperatura reportada para Coquimbo (Broitman *et al.*, 2001) el valor de L_∞ esperado fue de 168,4mm, es decir, sólo ligeramente superior al valor obtenido a través del modelo generalizado de crecimiento, pero mucho menor que aquellos obtenidos por los modelos del tipo von Bertalanffy. Usando la misma ecuación empírica y con la temperatura media del agua para distintas zonas de California la ecuación empírica propuesta por Pérez (2010) resultó ser un buen predictor del valor de L_∞ . De esta manera, el valor de este parámetro obtenido mediante el modelo generalizado de crecimiento parece ser más confiable que los otros dos modelos.

Dado que las extrapolaciones hacia edades mayores y menores a las disponibles para este estudio resultan ser más exactas a través del modelo generalizado de crecimiento de Schnute y Richards, y que para el intervalo observado también presenta un comportamiento adecuado, se concluye que, para los datos analizados, dicho modelo representó mejor el crecimiento de *H. rufescens* en condiciones de cultivo en Coquimbo, Chile.

TABLA II
PARÁMETROS DE CRECIMIENTO DISPONIBLES
EN LA LITERATURA PARA *H. rufescens*

Fuente	L_∞ (mm)	K
Este trabajo	231,6	0,14 *
	211,3	0,16 *
	166,2	-
Pérez (2010)	202,8	0,0117 **
	185,4	0,0133 **
	167,4	0,0157 **
	161,2	0,0171 **
	159,7	0,0173 **
Leaf <i>et al.</i> (2008)	191,8	0,0225 **
Rogers-Bennett <i>et al.</i> (2007)	254,2	0,0090 **
Leaf <i>et al.</i> (2004)	189,0	0,0158 **
	190,0	0,0183 **
	190,0	0,0267 **
	192,0	0,22 *
Day y Fleming (1992)	201,0	0,27 *
	200,0	0,27 *
	192,0	0,22 *

K (año⁻¹) ; ** K (mes⁻¹).

La conclusión anterior contrasta con lo encontrado por Pérez (2010) utilizando datos de *H. rufescens* publicados para Islandia, quien encontró un buen nivel de ajuste a través de la ECVB. Lo anterior implica que, en distintas circunstancias, el crecimiento pudiera ser descrito para la misma especie por ecuaciones distintas. Rogers-Bennett *et al.* (2007) exploraron siete modelos alternativos para estimar el crecimiento de *H. rufescens* en California. El modelo que mostró mejor nivel de ajuste fue el de Richards (Rogers-Bennett *et al.*, 2007), obteniendo valores cercanos a cero para tamaños al momento de la edad cero. En este caso, el patrón de crecimiento también sigue una trayectoria sigmoidea como en el caso de *H. rufescens* en Coquimbo, mientras que la ECVB sobrestimó el L_{∞} , generando además el menor valor de coeficiente de estimación (Rogers-Bennett *et al.*, 2007). De acuerdo a lo reportado en la literatura, el crecimiento ha sido descrito mayoritariamente a través de la ECVB (Tabla II). Lamentablemente, no se especifica el valor de t_0 como para observar el comportamiento global del ajuste y así determinar su nivel de explicación, sobre todo a edades tempranas. Así, cabe la posibilidad que el crecimiento de la especie, tanto en cultivo como en ambiente natural, pueda ser descrito por una curva sigmoidea, sin embargo para comprobarlo se requeriría mayores antecedentes. No obstante, los ajustes obtenidos para los parámetros de crecimiento para *H. rufescens* en este trabajo están en el intervalo de valores reportados en la literatura para esta especie (Tabla II), principalmente en lo que se refiere a L_{∞} .

Por razones prácticas y posteriormente de mercado, es difícil de tener la serie de tamaños y edades completa para evaluar en su totalidad el patrón de crecimiento del abalón rojo. Por la fragilidad de los individuos, los muestreos

comienzan avanzado el cultivo, habitualmente cuando los individuos ya miden 20mm y pueden ser manipulados sin riesgo de romperlos. Una vez adultos, en las empresas los abalones no alcanzan a llegar a su talla máxima promedio ya que son cosechados a un tamaño menor, por necesidades del mercado. Esto hace que las estimaciones de crecimiento se hagan sobre la base de una distribución acotada de edades y tamaños. Esta situación es característica en muchos estudios de biología pesquera; en efecto, en muchos casos de recursos silvestres los estudios de crecimientos se basan en un intervalo de edades y tamaños dado que las muestras provenientes de las capturas están restringidas a edades mayores que el tamaño mínimo legal de extracción y a tamaños (edades) menores al máximo debido a que los tamaños más grandes son los primeros que desaparecen de una población sometida a explotación. Un caso paradigmático de esto es el estudio del crecimiento del bacalao del atlántico (*Gadus morua*), donde las edades inferiores a tres años están ausentes de las capturas. De hecho, algunas estimaciones (ver Rätz *et al.* 1999) sugieren que la longevidad de esta especie debiera superar los 50 años para poder alcanzar la longitud asintótica. Sin embargo, las capturas comerciales llegan a registrar edades no mayores a los 19 años, incluso llegando a reportarse 15 años (Godo y Haug, 1999), e incluso 13 años (Pinhorn, 1984). En dichos casos los valores de longitud máxima promedio y de longitud a edades menores, necesariamente, deben ser extrapoladas (Ursin, 1984). Por ejemplo, los parámetros presentados en la Tabla I de Rätz *et al.* (1999) entregan valores de longitud a t_0 de 20cm para los estimados del año 1955, lo que parece excesivo, mientras que para 1981 el estimado para la misma edad es -20,6cm, lo que obviamente no puede ser. Otro ejemplo, se aprecia en el

tiburón azul *Prionace glauca* (Manning y Francis, 2005). Los ejemplares medidos tuvieron una edad de 15 a 16 años, pero la longitud infinita se alcanzaría a una edad mayor a 30 años de vida. Así, la disponibilidad de datos en un intervalo particular de edades no es una situación inusual y las extrapolaciones a edades no observadas son habituales y a la vez necesarias. Lo importante es que estas extrapolaciones sean razonables. En este sentido el trabajo de estimación de edad y crecimiento no se agota en el simple cálculo de los parámetros, sino que se debe buscar evidencia de que, para edades no observadas, las estimaciones sean confiables. Así, el modelo generalizado de crecimiento genera un valor de tamaño a edad cero que es consistente con observaciones publicadas en la literatura y los valores máximos promedios también se corresponden con lo observado por otros autores. En virtud de lo anterior, y a pesar de que las edades observadas corresponden a la fase exponencial de crecimiento, las extrapolaciones de las curvas resultantes, contrastadas con evidencia publicada en la literatura, indican que dos de ellas (ambas basadas en la ECVB) carecen de validez para edades no observadas, en tanto que el modelo generalizado de crecimiento fue bastante confiable en predecir valores de longitudes en edades no observadas en nuestro experimento, lo que lo hace más confiable.

Los resultados de este trabajo constituyen el primer registro de estimación de parámetros de crecimiento para el abalón rojo en Latinoamérica. Además, representa el crecimiento en condiciones de cultivo masivo, lo que es ideal para la información manejada por los cultivadores. En efecto, es sabido que el resultado de crecimiento a escalas experimentales o piloto-experimental, suelen diferir significativamente de lo esperado a una escala industrial. Por otra parte, estimaciones más preci-

sas del crecimiento constituyen un insumo importante con fines de moldeamiento de la industria abalonera. En efecto, el crecimiento en longitud y peso representa en el fondo la disponibilidad de biomasa para la cosecha, lo que ha permitido modelar bioeconómicamente el cultivo del abalón japonés (Zuñiga, 2010) y más específicamente del abalón rojo (Pérez *et al.*, en prensa), en búsqueda de los tiempos óptimos de cosecha y las mejores alternativas de cultivo. En este tipo de estudios es de vital importancia que las estimaciones de crecimiento, sobre todo en las etapas iniciales del desarrollo, puedan ser estimadas con el menor error posible, ya que el cálculo de insumos productivos (alimento, energía, espacio, entre otros) que dependen de ello, podría generar un alto error en la estimación de los costos de cultivo. Finalmente, dependiendo de la utilidad que presenten los resultados, éstos pueden ser abordados desde dos perspectivas. Si el interés es describir el patrón observado en cultivo entre los 1,4 y los 4,3 años de edad, entonces bastaría con describir el crecimiento por cualquiera de las tres curvas, aunque con cierta rigurosidad estadística sería aconsejable usar la curva de crecimiento estacionalizada. Esta aplicación sería recomendable para acuicultores que requieren curvas de control para el proceso de producción, sacrificando la precisión en los extremos de la curva de crecimiento. En cambio, si el interés es describir el proceso en su totalidad, como en Pérez *et al.* (en prensa), entonces ambas curvas de von Bertalanffy no debieran ser empleadas.

REFERENCIAS

- Allen PG, Botsford LW, Schuur AM, Johnston WE (1984) *Bioeconomics of Aquaculture*. Elsevier. New York, EEUU. 351 pp.
- Broitman BR, Navarrete SA, Smith F, Gaines SD (2001) Geographic variation of southeastern Pacific intertidal

- communities. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 224: 21-34.
- Day RW, Fleming AE (1992) The determinants and measurement of abalone growth. En Shepherd SA, Tegner MJ, Guzmán del Prío SA (Eds.) *Abalone of the World: Biology, Fisheries and Culture*. Fishing News Books. Oxford, RU. pp. 141-168.
- Fallu R (1991) *Abalone Farming*. Fishing News Books. Oxford, RU. 208 pp.
- Flores-Aguilar RA, Gutiérrez A, Ellwanger A, Searcy-Bernal R (2007) Development and current status of abalone aquaculture in Chile. *J. Shellfish Res.* 26: 705-711.
- Godo OR, Haug T (1999) Growth rate and sexual maturity in cod (*Gadus morhua*) and Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). *J. Northw. Atl. Fish. Sci.* 25: 115-123.
- Haddon M (2001) *Modelling and Quantitative Methods in Fisheries*. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, FL, EEUU. 406 pp.
- Hahn K (1989) Nutrition and growth of abalone. En Hahn K (Ed.) *Handbook of Culture of Abalone and other Marine Gastropods*. CRC Press. Boca Raton, FL, EEUU. pp.135-156.
- Hilborn R, Walters C (1991) *Quantitative Fisheries Stock Assessment. Choice, Dynamic and Uncertainty*. Chapman & Hall, Nueva York, EEUU. 570 pp.
- Leaf R, Rogers-Bennett L, Jiao Y (2004) A size-based egg-per-recruit model and parameter sensitivity analysis of red abalone, *Haliotis rufescens*, in northern California. http://filebox.vt.edu/users/rleaf/Robert_Leaf_files/EPR_Poster.pdf (Cons. 04/07/2011).
- Leaf R, Rogers-Bennett L, Jiao Y (2008) Exploring the use of a size based egg-per-recruit model for the red abalone fishery in California. *N. Am. J. Fish. Manag.* 28: 1638-1647.
- Leighton DL (2000) *The Biology and Culture of the California Abalones*. Dorrance. Pittsburgh, PA, EEUU. 216 pp.
- Manning MJ, Francis MP (2005) *Age and Growth of Blue Shark (Prionace glauca) from the New Zealand Exclusive Economic Zone*. New Zealand Fisheries Assessment Report 2005/26. 52 pp.
- Pérez EP (2010) Una modificación de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy para incluir el efecto de la temperatura en el crecimiento del abalón rojo *Haliotis rufescens* para su uso en acuicultura. *Rev. Biol. Mar. Ocean.* 45: 303-310.
- Pérez EP, Araya A, Araneda M, Zuñiga C (en prensa) Bioeconomic effect from the size selection in red abalone intensive culture *Haliotis rufescens* as a production strategy. *Aquacult. Int.* <http://rd.springer.com/article/10.1007/s10499-011-9461-9#>.
- Pinhorn AT (1984) Inshore Exploitation of Atlantic Cod, *Gadus morhua*, in Labrador and Eastern Newfoundland Waters. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.* 5: 79-84.
- Rätz HJ, Stein M, Lloret J (1999) Variation in growth and recruitment of Atlantic cod (*Gadus morhua*) off Greenland during the second half of the twentieth century. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.* 25: 161-170.
- Rogers-Bennett L, Rogers DW, Schultz SA (2007) Modeling growth and mortality of red abalone (*Haliotis rufescens*) in northern California. *J. Shellfish Res.* 26: 719-727.
- Schnute J, Richards L (1990) A unified approach to the analysis of fish growth, maturity, and survivorship data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47: 24-40.
- Sernapesca (2008) *Anuario Estadístico de Pesca 2008*. Servicio Nacional de Pesca. Valparaíso, Chile. www.sernapesca.cl/index.php?option=com_remository&Itemid=246&func=select&id=334 (Cons. 04/07/2011).
- Sparre P, Venema V (1997) *Introducción a la Evaluación de Recursos Pesqueros Tropicales. Parte 1. Manual*. Documento Técnico de Pesca 306(1), Rev. 2. FAO. 420 pp.
- Steinarsson A, Imsland AK (2003) Size dependent variation in optimum growth temperature of red abalone (*Haliotis rufescens*). *Aquaculture* 224: 353-362.
- Ursin E (1984) On the growth parameters of Atlantic cod as a function of body size. *Dana* 3: 1-20.
- Vega R, Videla V, Kani K, Almonacid J, Eugenio C, Godoy J, Miranda R, Pindal M, Rivera P, Silva C, Vargas R, Villegas V (2004) *Manual de Producción de Semillas de Abalón Rojo Haliotis rufescens*. Curso Internacional de Cultivo de Moluscos. Universidad Católica del Norte. Coquimbo, Chile. 17 pp.
- Zuñiga S (2010) A dynamic simulation analysis of the Japanese abalone (*Haliotis discus hannai*) production in Chile. *Aquacult. Int.* 18: 603-620.