

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

A modification to the von Bertalanffy's growth equation to include the effect of the temperature on the growth of *Haliotis rufescens* for aquacultural use

Eduardo P. Pérez^{1,2}

¹ Departamento de Biología Marina, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, Casilla 117, Coquimbo, Chile

² Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas, CEAZA, Raúl Bitrán s/n, La Serena, Chile. eperez@ucn.cl

Abstract.- Biological information, available in specialized journals, was used to reinterpret the growth pattern of *Haliotis rufescens* as temperature dependent. Von Bertalanffy growth curves (VBGF) using age and length experimental data under five different temperature regimes gathered in Iceland was obtained. Using these VBGF an inverse relationship between culture temperature and average maximum length (L_{∞}) was established. Furthermore, an inverse relationship between L_{∞} and Brody coefficient (K) was evident. Then, using L_{∞} , K and the growth performance index (Φ') a general VBGF was fitted, which it does L_{∞} temperature - dependent, while K is dependent from L_{∞} values. Finally, using ancillary information, the modified VBGF including the temperature effect on the *H. rufescens* growth pattern could have a more generalized application. New growth estimates are required to give more robust use to the modified equation is proposed.

Key words: Available information, reanalysis, latitudinal pattern

Resumen.- Se utilizó información publicada en la literatura especializada para reinterpretar el crecimiento del abalón rojo *Haliotis rufescens* en función de la temperatura. Datos experimentales de edad y crecimiento a cinco temperaturas de cultivo obtenidos en Islandia permitieron ajustar curvas de crecimiento del tipo von Bertalanffy (ECVB). A partir de éstas se pudo comprobar que la longitud máxima promedio (L_{∞}) estuvo inversamente relacionada con la temperatura de cultivo. Además, se estableció una relación inversa entre los parámetros L_{∞} y el coeficiente de Brody (K). Utilizando L_{∞} , K y el índice estándar de crecimiento (Φ') se ajustó una ECVB general que hace dependiente L_{∞} de la temperatura de cultivo y K dependiente a su vez de L_{∞} . Finalmente, usando información complementaria de la literatura, se propone que la ECVB modificada para incluir el efecto de la temperatura en el crecimiento de *H. rufescens* puede tener una aplicabilidad más general que de los resultados experimentales reportados para Islandia. Se sugiere que nuevas observaciones de edad y longitud son necesarias para comprobar la validez general de la ecuación propuesta.

Palabras clave: Información disponible, reanálisis, patrón latitudinal

INTRODUCCIÓN

El crecimiento es uno de los eventos más importantes en términos de disponibilidad de biomasa, tanto en cantidad como en calidad. En efecto, su incorporación como parte de la función de producción tanto en modelos pesqueros (Hilborn & Walters 1991, Gallucci *et al.* 1996) como acuícolas (Yu *et al.* 2006, Zuñiga 2009) es frecuente en estudios que intentan dar cuenta de la complejidad de factores involucrados en la producción de stocks silvestres y de cultivo.

Como todo fenómeno biológico, el crecimiento está modulado por factores abióticos, entre ellos la temperatura,

que regulan su expresión (Menesguen & Dreves 1987, Kokka *et al.* 1987, Magoulick & Wilzbach 1998, Lysyk 2001, Björnsson *et al.* 2007). De acuerdo a lo esperado en la teoría de nicho (Ricklefs 1990) la adecuación biológica a lo largo de uno de sus ejes suele mostrar valores óptimos hacia el centro de los valores, mientras que en los extremos la respuesta biológica es subóptima (Lysyk 2001). Por tal motivo, en la medida que el crecimiento es incorporado a la función de producción, tanto en stocks silvestres como en cautiverio, puede estar asociado con las principales variables que lo condicionan.

Sin embargo, establecer la interacción entre la temperatura y el crecimiento puede presentar complicaciones en stocks silvestres dada la imposibilidad de manejar esta variable. Una de las pocas alternativas es relacionar ambas variables dentro de una base de datos histórica (*i.e.*, Menesguen & Dreves 1987) y en el caso de cultivos, existe un mayor control sobre las variables productivas, pero es común que a esta escala las empresas, tengan dificultades para generar experimentos orientados a conocer con mayor precisión el efecto de distintos factores sobre las variables de desempeño biológicas, tecnológicas y económicas, quizás por razones logísticas (disponibilidad de espacio o horas de personal) se realizan experimentos a nivel productivo, sin repeticiones y con poca base de representatividad estadística, o bien experimentos a pequeña escala, de los cuales no se conoce bien la respuesta al ser replicados a una escala más grande. En el 'Congreso Mundial de Abalón' desarrollado en Chile en 2006 se presentaron ejemplos del primer caso, tratando de determinar el retorno de semillas en placas de fijación en estanques de 5 mil litros (Carvajal *et al.* 2006)¹, un estanque experimental y uno control en experimentos repetidos en el tiempo (pseudoreplicación temporal, *sensu* Hulbert 1984) y del segundo caso, midiendo la misma respuesta pero en cápsulas petri (Sánchez-Saavedra *et al.* 2006)². En la perspectiva de las empresas, dada la orientación productiva como objetivo estratégico, la realización de experimentos a escala productiva posee un costo de oportunidad muy alto al desviar infraestructura, insumos y horas hombre a experimentos diseñados para conocer el efecto de determinadas variables. Se suma a lo anterior que las empresas acuícolas, pudiendo generar información con una base científica sólida, consideran ésta como confidencial. Aunque estas posiciones pueden ser rebatidas desde otra perspectiva, reflejan que la causa y factibilidad de experimentos a escala productiva sigue siendo limitada. Por otra parte, no todos los centros de investigación básica tienen las facilidades de infraestructura para resolver a macro escala dudas de investigación, lo que genera un círculo vicioso que impide la evolución de la industria productora. Esta situación obliga a hacer uso de la mejor información disponible con el fin de aclarar o avanzar en el

conocimiento de aspectos básicos del cultivo en relación al efecto de la temperatura sobre el crecimiento.

En Chile, la industria del cultivo de *Haliotis rufescens* ha tenido un crecimiento explosivo en los últimos años (Flores-Aguilar *et al.* 2007) de 48 a 304 ton exportadas entre 2000 y 2007 y un volumen global de 357 ton producidas (SERNAPESCA 2009). En parte, este aumento en el nivel de producción se explica por el cambio desde el cultivo del abalón verde *H. discus hannai* hacia el abalón rojo *H. rufescens* producto de las mejores expectativas de rentabilidad (Zúñiga 2009). Sin embargo, si bien existe suficiente información acerca de variables tecnológicas para el cultivo del abalón verde (Uki 1989), no ocurre lo mismo con el cultivo de *H. rufescens* del cual no se tiene conocimiento acerca del efecto de factores abióticos sobre aspectos biológicos de la especie. Existen algunos estudios que han reportado efectos de la temperatura sobre el crecimiento, tanto para peces (Wangila & Dick 1988, Magoulick & Wilzbach 1998, Rodtka & Volpe 2007, Lin *et al.* 2008) como para moluscos (Menesguen & Dreves 1987), incluyendo específicamente a la especie *H. rufescens* (Steinarsson & Imsland 2003). Así, su reciente introducción como especie cultivable genera incertidumbre respecto de las mejores condiciones para su cultivo con investigación aplicada incipiente y sujeta a importantes restricciones de infraestructura.

Por lo descrito anteriormente, la existencia de una duda científica, que forma parte de la base de una cadena productiva y la dificultad de generar información *ad hoc* para resolverla, el objetivo de este trabajo fue determinar el patrón de crecimiento de *H. rufescens* en cultivo y el efecto de la temperatura, empleando información disponible en la literatura especializada.

MATERIAL Y MÉTODOS

Básicamente se realizó una reinterpretación de los resultados obtenidos por Steinarsson & Imsland (2003) quienes publicaron los resultados de un experimento para mostrar cambios en la temperatura óptima de cultivo para *H. rufescens* en función del tamaño. El experimento desarrollado por estos autores consistió en evaluar el

¹ Carvajal C, EP Pérez, LA Briceño, MR Hernández & MA Madrigal. 2006. Diets effects of native microalgae, with known nutritional potential, on important variables in culture of abalone in Chile. VI International Abalone Symposium Book of abstract p. 99. Puerto Varas, Chile, 19-24 de febrero de 2006.

² Sánchez-Saavedra M, MJ Carbajal-Miranda & CO Chávira-Ortega. 2006. Use of refrigerated benthic diatom cultures as food for abalone postlarvae (*Haliotis rufescens*). VI International Abalone Symposium Book of abstract p. 100. Puerto Varas, Chile, 19-24 de febrero de 2006.

crecimiento en un periodo de cuatro meses de cultivo, en grupos de individuos de cuatro edades sometidos a cinco temperaturas experimentales (Tabla 1). Este experimento cruzado permitió evaluar el crecimiento con los incrementos de tamaños entre dos mediciones en distintas secciones de tamaños de la especie. Así, en vez de seguir el crecimiento de una cohorte a través del tiempo se puede medir el crecimiento de cohortes de distintas edades creciendo simultáneamente. Los antecedentes del acondicionamiento previo de los individuos que constituyen las unidades experimentales, se describen en Steinarsson & Imsland (2003).

Un análisis preliminar de los datos permitió verificar que el patrón de crecimiento puede ser bien descrito por la ecuación de von Bertalanffy (ECVB),

$$L_t = L_\infty \cdot (1 - \exp^{-K \cdot (t-t_0)}) \quad (1)$$

donde L_t es la longitud esperada a la edad t ; L_∞ es la longitud promedio máxima; K es el coeficiente de Brody o parámetro de curvatura y t_0 es la edad teórica a la cual el tamaño fue cero. Dado que el tamaño de metamorfosis fue del orden de las 240 micras (Vega *et al.* 2004), se asumió que a la edad cero la longitud fue cero.

Los parámetros de la ecuación (1) fueron calculados minimizando la suma de cuadrados entre la longitud

observada y la esperada por la ecuación de von Bertalanffy. Para ello,

$$S = \sum (L_{obs} - L_{esp})^2 \quad (2)$$

donde, L_{obs} es la longitud observada a las distintas edades y L_{esp} es la longitud esperada a partir de la ecuación (1). Así, se estimaron los parámetros de la ecuación (1) para cada una de las cinco temperaturas experimentales descritas en la Tabla 1.

Para evaluar la consistencia en la estimación de los parámetros entre tratamientos de temperatura se empleó el índice Φ' (Pauly 1991, Sparre & Venema 1997),

$$\phi' = \log(K) + 2 \cdot \log(L_\infty) \quad (3)$$

Este índice establece una relación inversa entre el parámetro K y L_∞ de la ecuación (1). De acuerdo a la teoría (Pauly 1991) a mayor K el L_∞ disminuye. Sin embargo, la relación entre ambos parámetros es una constante (Φ'). La estabilidad en el valor de Φ' entre las distintas estimaciones fue considerada como prueba de un ajuste consistente. Evidencia de esta relación inversa entre estos parámetros es aportada también por Menesguen & Dreves (1987).

Tabla 1. Datos originales de longitud inicial y final al cabo de cuatro meses de cultivo a cinco temperaturas de cultivo, tomados de Steinarsson & Imsland (2003). La nomenclatura original ha sido mantenida para identificar los grupos experimentales (letras mayúsculas) y su edad en meses (más detalles ver Steinarsson & Imsland 2003) / Original data set for initial and final length of abalone at five culture temperatures after Steinarsson & Imsland (2003). Original nomenclature has been follow in order to identifying the experimental groups (capital letters) and its age in months (more details see Steinarsson & Imsland 2003)

	Grupo									
	B (8 meses)					C (13 meses)				
Temperatura °C	11,1	11,9	13,7	15,6	17,7	11,1	11,9	13,7	15,6	17,7
Long. inicial (mm)	17,0	16,9	17,2	18,3	19	26,4	26,5	26,6	27,7	27,4
Long. final (mm)	24,4	25,5	27,7	31,5	31,7	35,6	36,7	39,1	40,6	41,0
	Grupo									
	D (28 meses)					F (54 meses)				
Temperatura °C	11,1	11,9	13,7	15,6	17,7	11,1	11,9	13,7	15,6	17,7
Long. inicial (mm)	59,5	60,7	61,1	61,2	60,9	93,5	93,6	93,8	94,2	95,3
Long. final (mm)	66,1	68,7	71,1	72,4	72,2	100,1	100,1	99,8	102,4	101,4

Dados los cambios esperados en K y L_{∞} , la variación conjunta entre ambos se definió despejando K de la ecuación (3),

$$L_{\infty} = \sqrt{\frac{10^{\phi}}{K}} \quad (4)$$

La relación entre K y la temperatura de cultivo (T) se estableció en los siguientes términos,

$$K = a + bT + cT^2 \quad (5)$$

Finalmente, reemplazando (4) y (5) en la ecuación (1) se obtiene,

$$L_t = \sqrt{\frac{10^{\phi}}{K}} \cdot \left(1 - \exp^{-(a+bT+cT^2)(t-t_0)}\right) \quad (6)$$

que representa el crecimiento en función de la temperatura de cultivo.

Para cada temperatura de cultivo se construyeron parejas x,y de edad y longitud. Así, a las cuatro edades iniciales a cada grupo de tamaño (A,B,C,D, Tabla 1) de edades 8, 13, 28 y 54 meses se les sumó cuatro meses obteniéndose ocho clases de edades (8, 12, 13, 17, 28, 32, 54 y 58 meses) y sus respectivos tamaños.

RESULTADOS

Los valores observados de longitud a la edad pudieron ser bien descritos por la ecuación de von Bertalanffy (Fig. 1). De los ajustes de la ecuación (1) para cada temperatura de cultivo se evidenció una relación inversa entre K y L_{∞} (Fig. 2a, Tabla 2). En efecto, mientras L_{∞} disminuyó de 202,8 a 159,7 mm cuando es mayor la temperatura de cultivo, K aumentó de 0,0117 a 0,0173 mes^{-1} . Del mismo modo el parámetro ϕ se mantuvo entre 2,67 y 2,64. Al relacionar el coeficiente de Brody (K) con la temperatura de cultivo, se obtuvo un coeficiente de determinación de 0,99, indicando que un alto porcentaje de la varianza

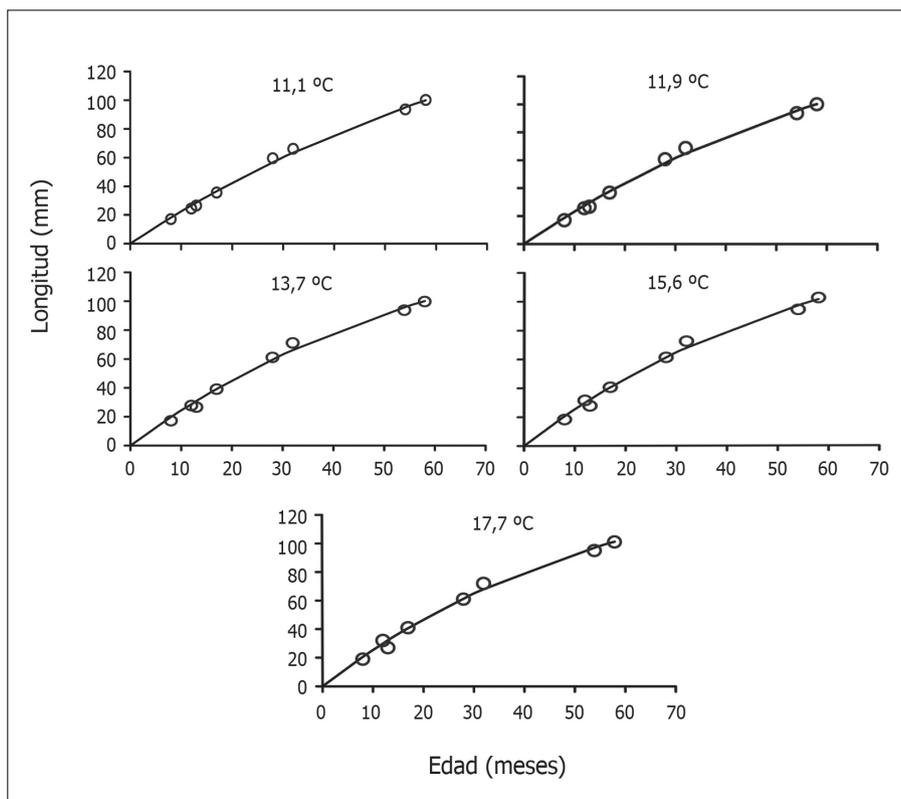


Figura 1. Resultados de los ajustes de crecimiento para cada temperatura de cultivo. Los círculos muestran los valores observados, mientras que las líneas muestran los patrones de crecimiento con los parámetros de la Tabla 2 / Fitted growth curves for each culture temperature. Circles show observed values, and lines represent the calculated growth patterns shown in Table 2

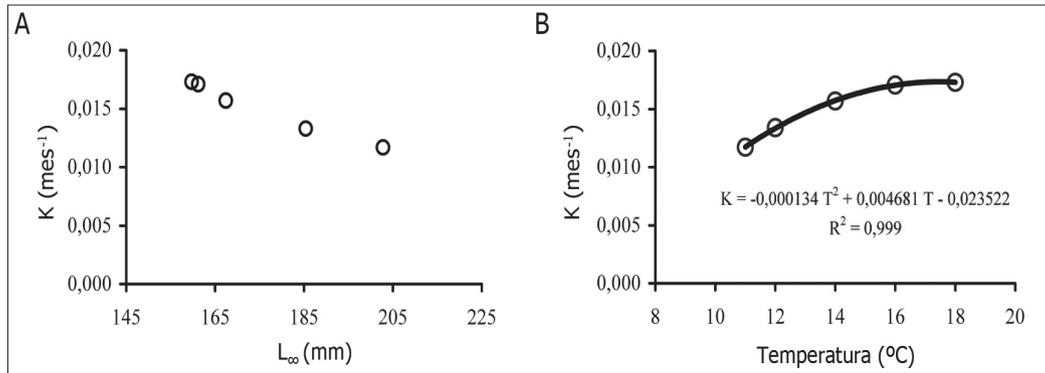


Figura 2. A) Relación entre la longitud máxima promedio (L_{∞}) y el parámetro de curvatura de la ecuación de crecimiento (K) para los resultados obtenidos. B) L_{∞} esperado en función de la temperatura de cultivo / A) Relationship between maximum average length (L_{∞}) and curvature growth parameter (K) for obtained results. B) Expected L_{∞} as function of culture temperature

Tabla 2. Parámetros obtenidos para la ecuación de von Bertalanffy para cada temperatura de cultivo / Fitted parameters obtained for the von Bertalanffy growth equation for each culture temperature

	Temperatura (° C)				
	11,1	11,9	13,7	15,6	17,7
L_{∞} (mm)	202,8	185,4	167,4	161,2	159,7
K (mes ⁻¹)	0,0117	0,0133	0,0157	0,0171	0,0173
Φ'	2,68	2,66	2,64	2,65	2,64

observada en los datos fue explicada por la ecuación cuadrática (Fig. 2b), de modo que la temperatura y K se relaciona como,

$$K = -0,000134T^2 + 0,0046809T - 0,0235219 \quad (7)$$

mientras que la relación entre K y L_{∞} quedó determinada como,

$$L_{\infty} = \sqrt{\frac{10^{2,65}}{-0,000134T^2 + 0,0046809T - 0,0235219}} \quad (8)$$

donde 2,65 corresponde al promedio aritmético del parámetro Φ' obtenido a partir de los datos de la Tabla 2. Finalmente, reemplazando las ecuaciones (7) y (8) en la ecuación (1), se obtiene (9),

$$L_t = \sqrt{\frac{10^{2,65}}{-0,000134T^2 + 0,0046809T - 0,0235219}} \cdot \left[1 - e^{-(0,000134T^2 + 0,0046809T - 0,0235219 \cdot (t - t_0))} \right] \quad (9)$$

DISCUSIÓN

Sin duda, existen múltiples factores involucrados en el crecimiento individual de *Haliotis* (Vilchis *et al.* 2005), sin embargo, la temperatura explicaría bastante bien el patrón de crecimiento observado a partir de los datos de Steinarsson & Imsland (2003). Estos datos proporcionan una valiosa información, que analizada en su conjunto, permitirían establecer la tendencia del efecto de la temperatura sobre el crecimiento de *H. rufescens* en condiciones de cultivo. En efecto, el reanálisis de la información permitió establecer que esta especie presentó una correlación negativa entre tamaño promedio máximo y el parámetro de curvatura de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy. Además, este reanálisis permitió establecer que el menor valor de L_{∞} ocurre a los 16,7°C, cuando la velocidad de crecimiento es mayor (0,0178 mes⁻¹). Dado que Steinarsson & Imsland (2003) obtuvieron sus resultados en Islandia pueden existir aprensiones sobre la posterior aplicación en otras latitudes de estos resultados, por lo cual se requiere mayores antecedentes para confirmar o rechazar la validez general de la relación encontrada. En este sentido, Rogers-Bennett *et al.* (2007), obtuvieron en el mejor ajuste, el valor promedio máximo para *H. rufescens* en la costa norte de California que fue de 201 mm. Retrocalculando la temperatura esperada, según ese crecimiento, sería de 11°C, aproximadamente. De acuerdo a la base de datos del National Oceanographic Data Center (NODC) para

Tabla 3. Estimaciones de crecimiento reportadas para diversas especies de *Haliotis*. La columna de la extrema derecha representa al índice estándar de crecimiento (Φ') / Reported growth estimations for *Haliotis*. Extreme right column represents the growth performance index (Φ')

Fuente	Especie	L_{∞} (mm)	K (mes ⁻¹)	Φ'
Este trabajo	<i>H. rufescens</i>	202,8	0,0117	2,68
		185,4	0,0133	2,66
		167,4	0,0157	2,64
		161,2	0,0171	2,65
		159,7	0,0173	2,64
		202,4	0,0167	2,83
Day y Fleming (1992)		201,0	0,0225	2,96
		200,0	0,0225	2,95
		192,0	0,0183	2,83
Leaf <i>et al.</i> (2004)		189,0	0,0158	2,75
		190,0	0,0183	2,82
		190,0	0,0267	2,98
Rogers-Bennett <i>et al.</i> (2007)		254,2	0,0090	2,76
Leaf <i>et al.</i> (2008)		191,8	0,0225	2,92
Siddeek & Johnson (1997)	<i>H. mariae</i>	126,6	0,0808	3,11
		140,0	0,0558	3,04
		152,8	0,0483	3,05
Wells & Mulvay (1995)	<i>H. laevigata</i>	166,1	0,0350	2,98
		165,9	0,0300	2,92
Shepherd & Hearn (1983)		138,0	0,0400	2,88
		131,0	0,0342	2,77
		148,0	0,0492	3,03
Mgaya (1995)	<i>H. tuberculata</i>	99,0	0,0325	2,50
		108,0	0,0225	2,42
		119,0	0,0242	2,53
		115,0	0,0375	2,70
		105,0	0,0208	2,36
		108,0	0,0308	2,56
Ponce-Díaz <i>et al.</i> (2000)	<i>H. fulgens</i>	177,0	0,0367	3,06
		177,0	0,0233	2,86
		190,2	0,0308	3,05
		182,6	0,0300	3,00
		187,1	0,0292	3,01
		176,9	0,0242	2,88
		194,3	0,0289	3,04
Shepherd & Hearn (1983)	<i>H. ruber</i>	139,0	0,0283	2,74
		143,0	0,0267	2,74
		144,0	0,0342	2,85

la zona de estudio de Rogers-Bennett *et al.* (2007), en el área de Mendocino la temperatura media del agua es de 10,9°C. Resultados similares en cuanto a longitud máxima promedio son indicados por Leaf *et al.* (2007)³, Rogers-Bennett *et al.* (2007) y Leaf *et al.* (2008) para localidades del norte de California. Analizando datos parciales de cultivo de *H. rufescens* en la zona de Coquimbo en Chile, Pérez (datos no publicados por el autor) se obtuvieron valores de longitud máxima promedio de 166,2 mm. Usando este valor y despejando la ecuación (7) en función

de la temperatura, resultó un valor de 14,2°C y de acuerdo a Broitman *et al.* (2001) la temperatura promedio del mar en dicha zona es de alrededor de 14°C, lo cual coincide con lo esperado a partir de la ecuación (7). Según lo anterior, la relación encontrada a partir de los datos de Steinarsson & Imsland (2003), se consideraría un buen indicador del crecimiento en función de la temperatura. Si así fuera, se podría obtener con facilidad los parámetros de crecimiento, ya sea en condiciones naturales como en cultivo, aunque se requiere de estudios específicos para verificar su validez

³ Leaf R, L Rogers-Bennett & Y Jiao. 2007. A size based egg-per-recruit model and parameter sensitivity analysis of red abalone, *Haliotis rufescens*, in northern California. Department of Fisheries and Wildlife Science. Poster [en línea] <http://filebox.vt.edu/users/rleaf/Robert_Leaf_files/EPR_Poster.pdf>

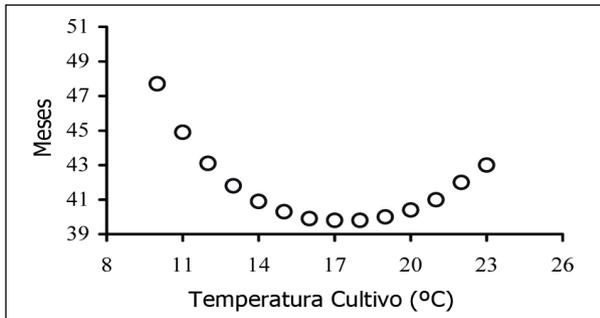


Figura 3. Número de meses de cultivo necesarios para obtener una longitud de 80 mm a diferentes temperaturas de cultivo / Number of months needed to obtain 80 mm length at different culture temperatures

general para la acuicultura, para proyectar la producción de la empresa a condiciones tecnológicas que disminuyan el tiempo de cultivo, con una mejor evaluación económica del cultivo (Zuñiga 2009).

Por otra parte, conocido el valor de L_{∞} y de Φ' podría ser conocido el valor de K y contar con todos los parámetros de crecimiento a partir de la ecuación (8). Sin embargo, previamente es necesario despejar la incógnita respecto de los estimados de crecimiento ya que no existe concordancia en torno a un valor fijo de Φ' para la especie, ni para el género (Tabla 3), observándose una marcada dispersión (ver también la revisión de parámetros de crecimiento para *Haliotis* de Day & Fleming 1992). Parte de esta variabilidad podría ser porque la mayor parte de las estimaciones provienen de métodos indirectos a diferencia de los aportados por Steinarsson & Imsland (2003), donde la edad es conocida. Sin embargo, la inconsistencia en el valor de Φ' suele interpretarse (Sparre & Venema 1997) como un error de estimación en al menos una de las estimaciones publicadas. En este sentido y dado el nivel de control en el experimento de Steinarsson & Imsland (2003) los resultados presentados en este trabajo podrían ser más confiables, sugiriendo que el valor de Φ' de 2,65 es un valor robusto para esta especie. Sin embargo, esto debiera contar con mayor número de observaciones de edad- longitud para conocer su valor general.

Los resultados obtenidos podrían ser relevantes para la producción de *H. rufescens*, si el objetivo de interés para la acuicultura es optimizar y reducir de costos asociados en el tiempo de cultivo, *e.g.*, la Figura 3 muestra el tiempo esperado para alcanzar los 80 mm de longitud para cohortes cultivadas a distintas temperaturas. Mientras a 10°C se requerirían 50 meses de cultivo, a 21°C serían 44 meses, pero a 17°C se necesitarían sólo 40 meses. Estas diferencias

en los tiempos de cultivo afectarían significativamente los resultados financieros de empresas dedicadas al cultivo de la misma especie. En ese sentido, una aproximación bioeconómica como la de Zuñiga (2009), pero aplicada al abalón rojo, podría ser implementada con información biológica generada en este trabajo.

LITERATURA CITADA

- Björnsson B, A Steinarsson & T Árnason. 2007.** Growth model for Atlantic cod (*Gadus morhua*): effects of temperature and body weight on growth rate. *Aquaculture* 271: 216-226.
- Broitman BR, SA Navarrete, F Smith & SD Gaines. 2001.** Geographic variation of southeastern Pacific intertidal communities. *Marine Ecology Progress Series* 224: 21-34.
- Day RW & AE Fleming, 1992.** The determinants and measurement of abalone growth. En: Shepherd SA, MJ Tegner & SA Guzmán del Prío (eds). *Abalone of the world: biology, fisheries and culture*, pp. 141-168. Fishing News Books, Oxford.
- Flores-Aguilar RA, A Gutierrez, A Ellwanger & R Searcy-Bernal. 2007.** Development and current status of abalone aquaculture in Chile. *Journal of Shellfish Research* 26: 705-711.
- Gallucci VF, B Amjoun, JB Hedgepeth & H Lin-Lai. 1996.** Size-based methods of stock assessment of small-scale fisheries. En: Gallucci VF, SB Saila, DJ Gustafson & BJ Rothschild (eds). *Stock assessment. Quantitative methods and applications for small-scale fisheries*, pp. 9-81. CRC Press, Boca Raton.
- Hilborn R & C Walters. 1991.** Quantitative fisheries stock assessment. Choice, dynamic and uncertainty, 570 pp. Chapman & Hall, New York.
- Hurlbert SH. 1984.** Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs* 54: 187-211.
- Kokka N, GK Clemons & P Lomax. 1987.** Relationship between the temperature and endocrine changes induced by cholinesterase inhibitors. *Pharmacology* 34: 74-79.
- Leaf R, L Rogers-Bennett & Y Jiao. 2008.** Exploring the use of a size based egg-per-recruit model for the red abalone fishery in California. *North American Journal of Fisheries Management* 28: 1638-1647.
- Lin X, S Xie, Y Su & Y Cui. 2008.** Optimum temperature for the growth performance of juvenile orange-spotted grouper (*Epinephelus coioides* H.). *Chinese Journal of Oceanology and Limnology* 26: 69-75.
- Lysyk TJ. 2001.** Relationship between temperature and life history parameters of *Muscidifurax zaraptor*

- (Hymenoptera: Pteromalidae). *Environmental Entomology* 30: 147-156.
- Magoulick DD & MA Witzbach. 1998.** Effect of temperature and macrohabitat on interspecific aggression, foraging success, and growth of brook trout and rainbow trout pairs in laboratory streams. *Transactions of the American Fisheries Society* 127: 708-717.
- Menesguen A & L Dreves. 1987.** Sea-temperature anomalies and population dynamics variations: effects on growth and density of three bivalves. *Marine Ecology Progress Series* 36: 11-21.
- Mgaya YD. 1995.** Synopsis of biological data on the European abalone (OTMER) *Haliotis tuberculata* Linnaeus, 1758 (Gastropoda: Haliotidae). *FAO Fisheries Synopsis* 156: 1-28.
- Pauly D. 1991.** Growth performance in fishes: rigorous description of patterns as a basis for understanding causal mechanisms. *Aquabyte* 4: 3-6.
- Ponce-Díaz G, EA Chávez & M Ramade-Villanueva. 2000.** Evaluación de la pesquería del abulón azul *Haliotis fulgens* en bahía Asunción, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas* 26: 393-412.
- Ricklefs RE. 1990.** *Ecology*, 896 pp. WH Freeman & Company, New York.
- Rodtka MC & JP Volpe. 2007.** Effects of water temperature on interspecific competition between juvenile bull trout and Brooke trout in an artificial stream. *Transactions of the American Fisheries Society* 136: 1714-1727.
- Rogers-Bennett L, DW Rogers & SA Schultz. 2007.** Modelling growth and mortality of red abalone (*Haliotis rufescens*) in northern California. *Journal of Shellfish Research* 26: 719-727.
- SERNAPESCA. 2009.** Anuario estadístico de pesca 2008. Servicio Nacional de Pesca, Valparaíso. [en línea] <http://www.sernapesca.cl/index.php?option=com_remository&Itemid=246&func=select&id=334>
- Shepherd SA & WS Hearn. 1983.** Studies on Southern Australian abalone (genus *Haliotis*). IV. Growth of *H. laevigata* and *H. ruber*. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 33: 265-272.
- Siddeek MSM & DW Johnson. 1997.** Growth parameter estimates for Omani abalone (*Haliotis mariae*, Wood 1828) using length frequency data. *Fisheries Research* 31: 169-188.
- Sparre P & SC Venema. 1997.** Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual. FAO Documento Técnico de Pesca 306(1), Rev. 2: 1-420.
- Steinarsson A & AK Imsland. 2003.** Size dependent variation in optimum growth temperature of red abalone (*Haliotis rufescens*). *Aquaculture* 224: 353-362.
- Uki N. 1989.** Abalone seedling production and its theory. *International Journal of Aquaculture and Fisheries Technology* 1: 125-132.
- Vega R, V Videla, K Kani, J Almonacid, C Eugenio, J Godoy, R Miranda, M Pindal, P Rivera, C Silva, R Vargas & V Villegas. 2004.** Manual de producción de semillas de abalón rojo *Haliotis rufescens*, 17 pp. Universidad Católica del Norte, Coquimbo. [Curso Internacional de Cultivo de Moluscos, Coquimbo, Chile, octubre de 2004]
- Vilchis LI, MJ Tegner, JD Moore, CS Friedman, KL Riser, TT Robbins & PK Dayton. 2005.** Ocean warming effects on growth, reproduction, and survivorship of southern California abalone. *Ecological Applications* 15: 469-480.
- Wangila BCC & TA Dick. 1988.** Influence of genotype and temperature on the relationship between specific growth rate and size of rainbow trout. *Transactions of the American Fisheries Society* 117: 560-564.
- Wells FE & P Mulvay. 1995.** Good and bad fishing areas for *Haliotis laevigata*: a comparison of population parameters. *Marine and Freshwater Research* 46: 591-598.
- Yu R, P Leung & P Bienfang. 2006.** Optimal production schedule in commercial shrimp culture. *Aquaculture* 254: 426-441.
- Zuñiga S. 2009.** A dynamic simulation analysis of Japanese abalone (*Haliotis discus hannai*) production in Chile. *Aquaculture International* [en línea] <doi: 10.1007/s10499-009-9279-x><<http://www.springerlink.com/content/u47m625m73431r22/fulltext.pdf>>

Recibido el 7 de septiembre de 2009 y aceptado el 25 de mayo de 2010