

**MODELO DE CRECIMIENTO DE VON BERTALANFFY  
PARA LA ALMEJA PISMO (*Tivela stultorum*), A PARTIR DE  
DATOS EDAD-LONGITUD DE CAPTURAS COMERCIALES**

**VON BERTALANFFY GROWTH MODEL FOR THE PISMO CLAM  
(*Tivela stultorum*), BASED ON AGE-LENGTH DATA  
FROM COMMERCIAL CATCHES**

Raúl Juárez-Romero<sup>1</sup>  
Ricardo Searcy-Bernal<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dirección General de Oceanografía Naval  
Estación de Investigación Oceanográfica de Ensenada  
Secretaría de Marina  
Vicente Guerrero 133-Altos, Fracc. Bahía  
Ensenada, Baja California, México

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones Oceanológicas  
Universidad Autónoma de Baja California  
Apartado postal 453  
Ensenada, Baja California, México

*Recibido en septiembre de 1993; aceptado en enero de 1994*

**RESUMEN**

Esta contribución examina la posibilidad de ajustar el modelo de crecimiento de von Bertalanffy, utilizando matrices edad-longitud del análisis de conchas de muestras de captura comercial de la almeja pismo, *Tivela stultorum*, de Playa San Ramón, B.C., México. El intervalo de edades en las muestras fue de 5 a 43 años y el de tallas de 9.5 a 15.9 cm. Se aplica el método de Ford-Walford para calcular los parámetros del modelo, utilizando tres tipos de regresión: predictiva, de Bartlett y funcional de media geométrica. El último enfoque de regresión produjo un mejor ajuste a los datos observados en las muestras de captura. Sin embargo, al parecer, ninguno de los tres tipos de regresión tuvo un ajuste satisfactorio a datos para almejas aún no reclutadas por la pesquería, registrados en un estudio previo de marcado y recaptura.

*Palabras clave:* *Tivela stultorum*, crecimiento, von Bertalanffy, muestras de captura, regresión funcional.

**ABSTRACT**

This contribution examines the possibility of fitting the von Bertalanffy growth model, using age-length matrices from the analysis of shells of commercial catch samples of the pismo clam, *Tivela stultorum*, from Playa San Ramón, B.C., Mexico. The sampled age range was 5 to 43 years and the length range was 9.5 to 15.9 cm. The Ford-Walford method was applied to calculate the parameters of the model using three types of regression: predictive, Bartlett and functional (geometric mean). The last approach resulted in a better fit to the data observed in the catch samples; however, apparently none of the regression types gave a satisfactory fit to data for clams not yet recruited to the fishery, reported in a previous mark-recapture study.

*Key words:* *Tivela stultorum*, growth, von Bertalanffy, catch samples, functional regression.

## INTRODUCCION

Generalmente, la información biológica sobre recursos pesqueros más fácilmente adquirible proviene del análisis de muestras de capturas comerciales. En el caso de la almeja pismo (*Tivela stultorum*, Mawe 1823), un bivalvo que habita en playas arenosas de California (EUA) y Baja California (México), se han utilizado este tipo de muestras para estudiar aspectos del ciclo reproductivo (Searcy-Bernal, 1983, 1989) e inferir algunos efectos de la pesca sobre la población de Playa San Ramón, B.C., una de las más productivas de México (Searcy-Bernal y Juárez-Romero, 1991). En esa localidad se realizaron estudios de biología pesquera entre 1978 y 1980, durante los cuales se almacenaron conchas de captura comercial muestreadas periódicamente (Searcy-Bernal, 1982). Este bivalvo genera anillos de crecimiento con periodicidad aproximadamente anual (Weymouth, 1923; Hall *et al.*, 1974; Searcy-Bernal *et al.*, 1989), lo cual hace factible el uso de la lectura de las conchas almacenadas para construir matrices edad-longitud y ajustar modelos de crecimiento individual. Sin embargo, algunos factores podrían dificultar este enfoque:

a) La almeja pismo es una especie muy longeva, que puede vivir más de 50 años (Fitch, 1965), y que crece muy lentamente, con una alta heterogeneidad entre individuos (Weymouth, 1923).

b) Debido a que el mercado de almeja pismo en ese tiempo prefería organismos mayores de 11 cm, las capturas de Playa San Ramón incluían pocos ejemplares menores de esa talla, lo cual no permite la construcción completa de matrices edad-longitud (Searcy-Bernal, 1982).

c) Un estudio previo reveló una estructura por edades en la captura de esta localidad, que se caracterizó por una marcada bimodalidad, lo que da como resultado varias clases intermedias pobremente representadas (Juárez-Romero, 1986; Searcy-Bernal y Juárez-Romero, 1991).

El modelo de crecimiento de von Bertalanffy es uno de los más comúnmente usados.

## INTRODUCTION

In general, the most easily acquired biological information about fisheries comes from the analysis of commercial catch samples. In the case of the pismo clam (*Tivela stultorum*, Mawe 1823), a bivalve that lives in the sandy beaches of California (USA) and Baja California (Mexico), commercial catch samples have been used to study aspects of the reproductive cycle (Searcy-Bernal, 1983, 1989) and to determine some effects of the fishery on the pismo clam population of Playa San Ramón, B.C., one of the most productive beaches in Mexico (Searcy-Bernal and Juárez-Romero, 1991). At that beach, studies on fisheries biology were made between 1978 and 1980. During that time, shells of commercial catches were stored periodically (Searcy-Bernal, 1982). This bivalve deposits growth rings with an approximately annual periodicity (Weymouth, 1923; Hall *et al.*, 1974; Searcy-Bernal *et al.*, 1989), which makes it possible to use the "reading" of the shells to form length-age matrices and to fit individual growth models. However, some factors could make this approach difficult:

a) The pismo clam is a species with a high longevity, capable of living more than 50 years (Fitch, 1965), which grows slowly with a high heterogeneity among individuals (Weymouth, 1923).

b) Due to the circumstances of the market in those years, commercial catches included mostly clams over 11 cm; hence, the complete construction of length-age matrices is not possible (Searcy-Bernal, 1982).

c) In a previous study on the age structure of the commercial catch, a clear bimodal structure was evident with several poorly-represented year classes (Juárez-Romero, 1986; Searcy-Bernal and Juárez-Romero, 1991).

The von Bertalanffy growth model is one of the most commonly used. It is useful in the calculation of some fishery management models (*e.g.* yield-per-recruit), as an element to calculate the weight growth curve of the organisms recruited to the fishery. In this case,

Es útil en la construcción de algunos modelos de manejo de recursos pesqueros (e.g. rendimiento por recluta), como un elemento para calcular el crecimiento en peso de los organismos reclutados en la pesquería. En este caso, el éxito de una curva de crecimiento debe ser juzgada por el ajuste de los datos predichos a los observados, sólo para el intervalo de longitud de las capturas (no para el intervalo completo durante el ciclo de vida) (Gulland, 1983). Por otro lado, los modelos de crecimiento individual pueden ser útiles para la predicción del reclutamiento en la pesquería de clases anuales aún no reclutadas (Gulland, 1983; Searcy-Bernal y Saavedra-Rosas, 1988; Searcy-Bernal, 1989). En este segundo caso, el éxito del modelo debe juzgarse por su ajuste a los datos observados para prerreclutas.

En esta investigación, se examina la posibilidad de utilizar el análisis de conchas de captura comercial de Playa San Ramón para ajustar el modelo de crecimiento de Von Bertalanffy, empleando tres tipos de regresión lineal para estimar los parámetros del modelo con el método de Ford-Walford (Gulland, 1983; Pauli, 1984). Los modelos ajustados se comparan estadísticamente con los datos observados en las muestras de captura y con datos disponibles para prerreclutas, producto de experimentos de marcado-recaptura en la zona, durante el mismo periodo (Lugo-Yuriar, 1981).

## METODOLOGIA

Playa San Ramón se encuentra situada en la costa occidental de Baja California, entre el poblado de San Quintín y la Colonia Vicente Guerrero, a unos 200 km al sur de la ciudad de Ensenada. La playa mide aproximadamente 16 km de longitud y está limitada en sus extremos por formaciones rocosas. Es una playa de arena expuesta al oleaje y de pendiente muy ligera.

Se procesaron quince muestras de captura comercial de *Tivela stultorum* ( $60 < n < 127$ ) en total, recolectadas entre 1978 y 1980, como parte de un estudio amplio realizado por el Instituto de Investigaciones Oceanológicas

the success of the growth curve calculation must be evaluated by the fit of the predicted to the observed data, only for the commercial catch length range (not for the entire life span) (Gulland, 1983). On the other hand, the individual growth models may be useful in recruitment predictions of the annual classes not yet recruited (Gulland, 1983; Searcy-Bernal and Saavedra-Rosas, 1988; Searcy-Bernal, 1989). In this case, the success of the model should be evaluated by the fit to observed data for pre-recruits.

This investigation examines the possibility of using the analysis of commercial catch shells from Playa San Ramón to fit the von Bertalanffy growth model, by means of three different linear regression types for estimating the parameters of the model with the Ford-Walford method (Gulland, 1983; Pauli, 1984). The models used here are compared statistically with data observed in catch samples and with available data for pre-recruits from mark-recapture experiments in the same period and study area (Lugo-Yuriar, 1981).

## METHODOLOGY

Playa San Ramón is located on the west coast of Baja California (Mexico), between San Quintín and Colonia Vicente Guerrero, 200 km south of Ensenada. The beach is approximately 16 km long and delimited by rocky formations. It is an exposed sandy beach, with a slight slope.

Fifteen commercial catch samples of *Tivela stultorum* ( $60 < n < 127$ ) were obtained and processed between 1978 and 1980, as part of an extensive study on the resource by the Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO) (Sautto and Searcy, 1978). The clams were measured with a precision of 0.1 cm. Age determination was made by "reading" the internal growth rings, in shell sections made with a diamond point saw and polished with different abrasives (Juárez-Romero, 1986; Searcy-Bernal and Juárez-Romero, 1991).

For the growth analysis, parameters of the von Bertalanffy equation were calculated

(II) sobre este importante recurso (Sautto y Searcy, 1978). Las almejas fueron medidas con precisión de 0.1 cm. La determinación de la edad se llevó a cabo mediante la lectura de anillos internos de crecimiento, en cortes de conchas realizados con una sierra eléctrica con punta de diamante y pulidos con distintos abrasivos (Juárez-Romero, 1986; Searcy-Bernal y Juárez-Romero, 1991).

Para el análisis de crecimiento, se calcularon los parámetros de la ecuación de von Bertalanffy, mediante el empleo de los promedios de longitud respectivos para cada clase de edad de la captura comercial (Gulland, 1983). La ecuación de von Bertalanffy se enuncia:

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

donde  $L_t$  es la longitud estimada a un tiempo  $t$ ;  $L_{\infty}$ , la longitud máxima que un organismo puede alcanzar;  $t_0$ , el tiempo teórico en el cual la longitud es cero, y  $k$ , la constante de crecimiento.

El método más común para estimar  $k$  y  $L_{\infty}$  es el de Ford-Walford, en el cual se considera el uso de regresión en matrices de longitud a una edad ( $L_t$ ) contra la longitud a la siguiente edad ( $L_{t+1}$ ) (Gulland, 1983; Pauli, 1984). Usualmente se aplica el modelo I de regresión lineal ( $L_{t+1} = a + b L_t$ ), también llamado predictivo, que minimiza la suma de cuadrados de las distancias verticales de los puntos a la línea. Los valores de  $k$  y  $L_{\infty}$  se encuentran por relaciones simples entre los coeficientes de la regresión ( $k = -\log_e b$ ;  $L_{\infty} = a/(1-b)$ ). El modelo I de regresión asume que la variable independiente está medida sin error. Sin embargo, en este caso, tanto  $L_t$  como  $L_{t+1}$  están sujetas a error, por lo que se ha sugerido que es más apropiado el modelo de regresión II (Pauli, 1984), cuyos coeficientes pueden ser calculados por distintas técnicas, que incluyen el método de Bartlett y la regresión funcional de media geométrica (Ricker, 1973, 1984; Laws y Archie, 1981).

El método de Bartlett consiste simplemente en dividir las parejas de datos ( $x, y$ ), ordenados según la variable  $x$ , en tres grupos

using the respective length averages for each annual class of the commercial catch (Gulland, 1983). The von Bertalanffy equation is expressed as:

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

where  $L_t$  is the estimated length at time  $t$ ,  $L_{\infty}$  is the theoretical maximum length that any organism can reach,  $t_0$  is the theoretical age when the length is zero and  $k$  is a growth constant.

The most common way to estimate  $k$  and  $L_{\infty}$  is the Ford-Walford method, in which the use of regression analysis is considered in the matrix of length averages at age  $t$  ( $L_t$ ) against the length mean at the next age ( $L_{t+1}$ ) (Gulland, 1983; Pauli, 1984). Usually, model I of linear regression, also called predictive model, is used ( $L_{t+1} = a + bL_t$ ), which minimizes the sum of squares of the vertical distances from the points to the straight line. The  $k$  and  $L_{\infty}$  values are calculated by simple relationships between the regression coefficients ( $k = -\log_e b$ ;  $L_{\infty} = a/(1-b)$ ). The model I regression assumes that the independent variable is measured without error. However, in this case, both  $L_t$  and  $L_{t+1}$  are not free of error, and it has therefore been suggested that model II regression is more appropriate (Pauli, 1984), in which the coefficients can be calculated by several ways, including Bartlett's method and the functional regression of geometric mean (Ricker, 1973, 1984; Laws and Archie, 1981).

Bartlett's method simply consists of separating the paired data ( $x, y$ ), arranged according to variable  $x$ , into three similar size groups, and calculating the parameters of the linear regression which joins the two points of  $x$  and  $y$  averages of the first and third data groups (Ricker, 1973).

The functional regression minimizes the sum of products of the horizontal and vertical distances of the points to the straight line. This regression analysis gives a better estimation of the population parameters than the predictive model, especially when the data range is incomplete, like the length and age variables in

de similar tamaño, y en calcular los parámetros de la línea de regresión que une los dos puntos que representan los promedios de  $x$  y  $y$  del primero y tercer grupo de datos (Ricker, 1973).

La regresión funcional minimiza la suma de productos de las distancias horizontales y verticales de cada punto a la línea. Esta regresión produce mejores estimaciones de parámetros poblacionales que la predictiva, cuando se dispone de un intervalo incompleto de datos, como en el caso de la edad y longitud de organismos en muestras de captura comercial (Ricker, 1973; Searcy-Bernal, 1984). Los parámetros de esta regresión,  $a'$  y  $b'$ , se calculan a partir de los parámetros de la regresión predictiva  $a$  y  $b$ , así como del coeficiente de correlación  $r$  entre las variables, según las siguientes expresiones (Pauli, 1984):

$$b' = b/r \text{ y } a' = \overline{L_{t+1}} - (b'\overline{L}_t)$$

En todos los casos  $t_0$  se obtiene a partir de cada pareja de parámetros  $k$  y  $L_\infty$ , según la ecuación:

$$t_0 = t + 1/k (\log_e(L_\infty - L_t/L_\infty)),$$

calculada para las clases más jóvenes pero completamente reclutadas y promediando los valores obtenidos (Gulland, 1983; Pauli, 1984). En este trabajo sólo se consideraron las clases de 13 a 22 años.

La evaluación de los ajustes se efectúa en este trabajo mediante la comparación de la desviación estándar residual y analizando los residuos de los modelos de von Bertalanffy ( $L_t$  observado -  $L_t$  calculado) respecto a los datos observados, para reclutas, y los de Lugo-Yuriar (1981), para pre-reclutas.

## RESULTADOS

Los intervalos de longitud y edad en las muestras fueron de 9.5 a 15.9 cm y de 5 a 43 años, respectivamente. Sin embargo, sólo se usaron los datos para edades de 9 a 32 años, debido al reducido número de observaciones fuera de ese intervalo.

commercial catch samples (Ricker, 1973; Searcy-Bernal, 1989). The parameters of this regression,  $a'$  and  $b'$ , are derived from parameters  $a$  and  $b$  in the predictive model, as well as from the correlation coefficient ( $r$ ) between the variables, according to the following expressions (Pauli, 1984):

$$b' = b/r \text{ and } a' = \overline{L_{t+1}} - (b'\overline{L}_t)$$

In all cases,  $t_0$  is obtained from each pair of parameters  $k$  and  $L_\infty$ , from the equation:

$$t_0 = t + 1/k (\log_e(L_\infty - L_t/L_\infty)),$$

which is calculated for the younger annual classes completely recruited and averaging the resultant values (Gulland, 1983; Pauli, 1984). For this purpose, only the 13 to 22 year-classes were considered.

An evaluation of the fitted models was made by comparing the residual standard deviations and analysing the residuals of the obtained von Bertalanffy models with respect to the observed data and Lugo-Yuriar's (1981) results for pre-recruits.

## RESULTS

The length and age ranges in the samples were 9.5 to 15.9 cm and 5 to 43 years, respectively. However, only the data for the 9 to 32 year-classes were used because of the few observations out of this range.

The length averages for each year-class are presented in table 1, with their respective sample sizes (N).

The coefficients of the Ford-Walford equation, according to the three regression methods, and the estimated parameters of the von Bertalanffy model are given in table 2. The corresponding growth curves are shown in Fig. 1, which includes, as a reference, the observed data and those reported by Lugo-Yuriar (1981). Table 3 gives the residual standard deviation for the three fits in the age interval recruited to the fishery (*i.e.* the catch samples data) and pre-recruits (according to Lugo-Yuriar, 1981).

Los promedios de longitud para cada clase de edad se presentan en la tabla 1, con sus respectivos números de observaciones (N).

En la tabla 2 se presentan los coeficientes de la ecuación de Ford-Walford según los tres métodos de regresión, así como los parámetros estimados del modelo de von Bertalanffy. Las curvas de crecimiento correspondientes se muestran en la Fig. 1, que incluye como referencia los datos observados y los proporcionados por Lugo-Yuriar (1981) para los prerreclutas. En la tabla 3, se proporciona la desviación estándar residual para los tres ajustes en el intervalo de edades reclutadas por la pesquería (*i.e.* observadas en las muestras de captura) y las aún no reclutadas (con referencia a Lugo-Yuriar, 1981).

Las Figs. 2 y 3 muestran el comportamiento de los residuos de la longitud en relación con la edad, para los reclutas y prerreclutas, respectivamente. Los análisis de regresión entre estas variables se resumen en las tablas 4 y 5. Aunque en este análisis se consideró inicialmente sólo el uso de regresión lineal (primer orden), en el caso de los ajustes para reclutas se observaron claras tendencias curvilíneas (Fig. 2), por lo que también se realizaron ajustes de polinomios de segundo orden (Schneider, 1992).

## DISCUSION

En la matriz edad-longitud de la tabla 1 es evidente el lento crecimiento de la almeja pismo y su alta variabilidad. Algunas clases de mayor edad registran longitudes promedio menores que las clases precedentes, lo cual en términos generales no es congruente con el modelo utilizado; sin embargo, podrían existir diferencias reales de crecimiento entre las distintas clases anuales, debido, por ejemplo, a condiciones ambientales cambiantes.

El ajuste de la regresión de Ford-Walford con menor desviación estándar residual fue el funcional de media geométrica ( $DE_r = 0.073$ ). La pendiente estimada por este método es mayor que las de los métodos predictivo y de Bartlett (tabla 2), por lo cual resulta una  $k$  menor y una  $L_{\infty}$  mayor. Según Ricker (1973,

Figures 2 and 3 show the length residuals related to age, for recruits and pre-recruits, respectively. Regression analyses between the above variables are summarized in tables 4 and 5. Though in this analysis only the use of linear regression (first order) was considered, a clear curvilinear tendency was observed in the case of the recruits (Fig. 2), so polynomial fits of second order were also made (Schneider, 1992).

## DISCUSSION

In the age-length matrix of table 1, the slow growth and high variability among pismo clam individuals are evident. Some older annual classes have smaller length averages than the preceding classes, which is not consistent with the model used. However, real growth differences could exist between the different annual classes, due for example, to changing environmental conditions.

The Ford-Walford regression fit with the smallest residual standard deviation was the functional of geometric mean ( $S_{res} = 0.073$ ). The slope estimated by this method is greater than those calculated by the predictive and Bartlett methods (table 2); thus, resulting  $k$  was smaller and  $L_{\infty}$  greater. According to Ricker (1973, 1984), the predictive regression generates smaller estimations than the population slope when the data range is narrow and, in contrast, functional regression produces similar estimations independently of the data range. A narrow length range was used to calculate the Ford-Walford equation (11.02 to 12.57 cm), and maybe that is the reason why the functional regression is more appropriate. Bartlett's method produced similar results to the predictive regression; therefore, this method could be influenced by the mentioned bias when incomplete data ranges are used.

In fact, the functional method yielded a better estimation of  $L_{\infty}$  (13.91 cm) than the predictive and Bartlett methods, whose estimates of 12.38 and 12.34 cm, respectively, are smaller than several observed averages (tables 1, 2). Nevertheless, functional regression yielded an estimate of  $t_0 = -37$  years,

**Tabla 1.** Promedios de longitud para las distintas clases anuales de almeja pismo, con sus respectivos tamaños de muestra (N).

**Table 1.** Length averages for the different year-classes and respective number of organisms (N).

Edad (años)	Longitud (cm)	N	Edad (años)	Longitud (cm)	N
9	11.02	37	21	11.62	14
10	11.30	36	22	11.93	21
11	11.40	32	23	12.39	31
12	11.44	56	24	12.39	53
13	11.38	36	25	12.18	67
14	11.56	71	26	12.15	116
15	11.62	64	27	12.32	123
16	11.56	31	28	12.44	131
17	11.85	18	29	12.32	126
18	11.73	17	30	12.44	86
19	11.72	12	31	12.26	57
20	11.46	10	32	12.57	48

**Tabla 2.** Coeficientes de la ecuación de Ford-Walford ( $L_{t+1} = a + bL_t$ ) aplicando tres métodos de regresión lineal y estimaciones correspondientes de los parámetros del modelo de von Bertalanffy ( $DE_r =$  desviación estándar residual).

**Table 2.** Coefficients of the Ford-Walford equation ( $L_{t+1} = a + bL_t$ ) by three linear regression methods and corresponding estimated parameters of the von Bertalanffy equation ( $DE_r =$  residual standard deviation).

Parámetro	Métodos de regresión		
	Predictiva	Bartlett	Funcional
<i>a</i>	1.556	1.684	0.460
<i>b</i>	0.874	0.864	0.967
$DE_r$	0.093	0.095	0.073
<i>k</i>	0.134	0.147	0.033
$L_{\infty}$	12.383	12.341	13.912
$t_0^*$	-3.668	-2.281	-37.203

\* Calculado con base en las clases de 13 a 22 años.

1984), la regresión predictiva produce estimaciones menores de la pendiente poblacional, mientras menor es el intervalo de datos considerados y, en contraste, la regresión funcional produce estimaciones similares independientemente del intervalo de datos analizados. La ecuación de Ford-Walford se calculó usando un intervalo reducido de longitudes (11.02 a 12.57 cm), por lo que posiblemente es más

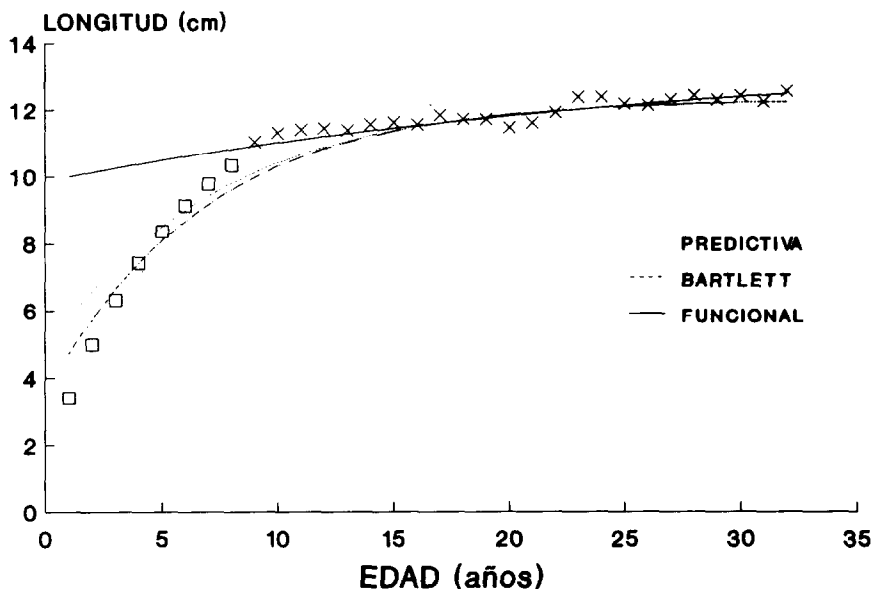
which is far too irrational because, theoretically, this parameter must be close to zero (Gulland, 1983).

In general terms, it can be considered that the fitted model using functional regression is better than the other two, regarding the fit of the observed data (recruited ages) (Fig. 1), since the residual standard deviation was considerably smaller (table 3) and, only in this

apropiada la regresión funcional. El método de Bartlett produjo resultados muy similares a la regresión predictiva, por tanto podría estar también sujeto al sesgo mencionado cuando se trabaja con intervalos incompletos de datos.

De hecho, el método funcional produjo una mejor estimación de  $L_{\infty}$  (13.91 cm) que los métodos predictivo y de Bartlett, cuyas

model, the residuals did not show significant regressions with respect to the independent variable (Fig. 2; table 4) (Schneider, 1992). This result suggests that it is more appropriate to use functional regression to fit the von Bertalanffy growth model by means of the Ford-Walford method, using catch data, if the objective is to use the results generated by the



**Figura 1.** Curvas de crecimiento de von Bertalanffy para la almeja pismo, utilizando tres tipos de regresión lineal para estimar los parámetros del modelo según el método de Ford-Walford. Se incluyen los datos observados en las muestras de captura (x) y los proporcionados por Lugo-Yuriar (1981) para las edades anteriores al reclutamiento (□).

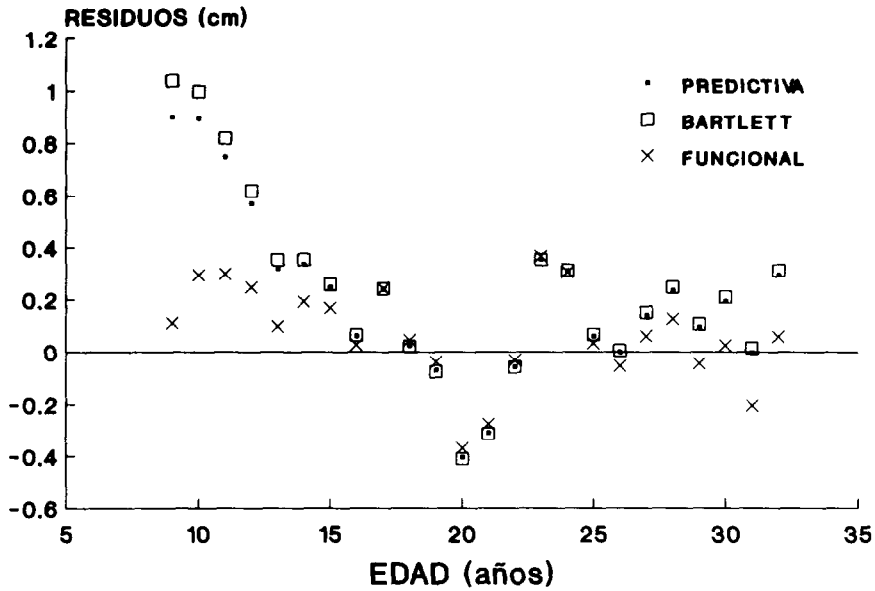
**Figure 1.** Von Bertalanffy growth curves for pismo clams, using three linear regression models to calculate the parameters according to the Ford-Walford method. Data from commercial catch samples (x) and from Lugo-Yuriar (1981) (□) are included.

**Tabla 3.** Valores de la desviación estándar residual ( $DE_r$ ) para los tres modelos de von Bertalanffy, en los intervalos de edades que recluta la pesquería (9 a 32 años) y los de prerreclutas (1 a 8 años).

**Table 3.** Residual standard deviation values ( $S_{res}$ ) for the three fits to the von Bertalanffy equation, with recruits (9 to 32 years) and pre-recruits (1 to 8 years old).

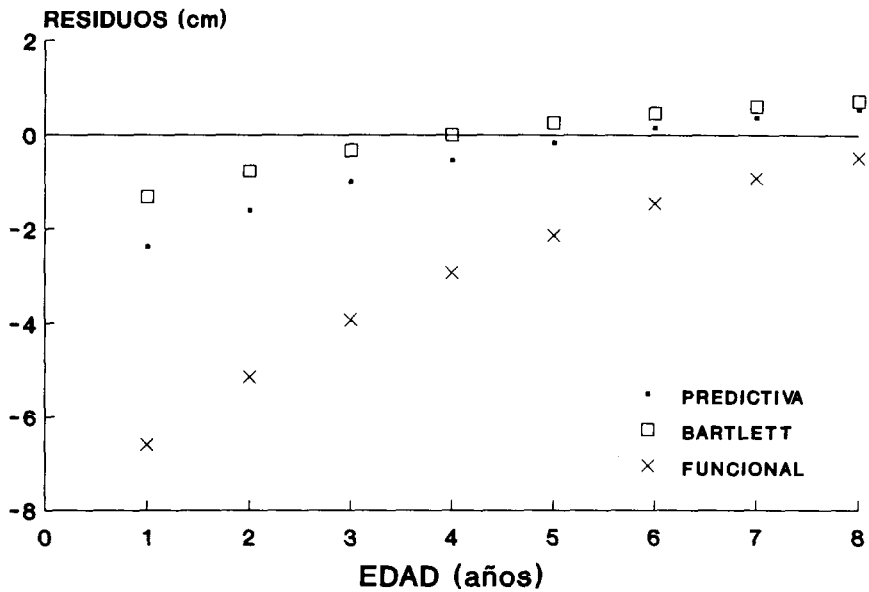
Edades	Métodos de regresión		
	Predictiva	Bartlett	Funcional
Reclutas	0.399	0.438	0.201
Prerreclutas	1.296	0.778	4.128





**Figura 2.** Residuos de longitud contra edad para los tres modelos de von Bertalanffy, correspondientes al intervalo de edades reclutadas en la captura.

**Figure 2.** Length residuals vs. age for three von Bertalanffy equation fits, corresponding to the range of recruited ages.



**Figura 3.** Residuos de longitud contra edad para los tres modelos de von Bertalanffy, correspondientes al intervalo de edades anteriores al reclutamiento.

**Figure 3.** Length residuals vs. age for three von Bertalanffy equation fits, corresponding to the range of pre-recruits.

**Tabla 4.** Análisis de las regresiones de residuos de longitud contra edad para los tres modelos de von Bertalanffy, obtenidos con el uso de diferentes métodos de regresión para calcular la ecuación de Ford-Walford. Los residuos se calcularon con referencia a los datos observados en las muestras (clases de 9 a 32 años; n = 24).

**Table 4.** Analysis of the regressions of the length residuals against age for the three von Bertalanffy models, obtained by using different regression types to calculate the Ford-Walford equation. The residuals were calculated with reference to the observed data in the samples (9 to 32 year-classes; n = 24).

Regresión usada	Orden	r <sup>2</sup>	F	P
Predictiva	1	0.28	8.49	0.008
	2	0.70	24.25	0.000
Bartlett	1	0.29	9.07	0.006
	2	0.74	29.12	0.000
Funcional	1	0.15	3.94	0.060
	2	0.18	2.34	0.121

**Tabla 5.** Análisis de las regresiones de residuos de longitud contra edad, equivalente al de la tabla 4, para las edades no reclutadas en la captura (1 a 8 años). En este caso los residuos se calcularon con referencia a los datos de Lugo-Yuriar, 1981 (n = 8).

**Table 5.** Regressions of the length residuals against age, equivalent to table 4, for pre-recruits (1 to 8 years old). In this case residuals were calculated with reference to Lugo-Yuriar's (1981) data (n = 8).

Regresión usada	Orden	r <sup>2</sup>	F	P
Predictiva	1	0.95	104.94	0.000
Bartlett	1	0.93	92.51	0.000
Funcional	1	0.96	158.88	0.000

estimaciones, de 12.38 y 12.34 cm respectivamente, son inferiores a varios promedios observados (tablas 1, 2). Sin embargo, la regresión funcional arrojó una estimación de  $t_0 = -37$  años, que es demasiado irreal, ya que este parámetro debe tener un valor cercano a cero (Gulland, 1983).

En términos generales, se puede considerar que el modelo ajustado utilizando la regresión funcional fue mejor que los otros dos, juzgando el ajuste a los datos observados (edades reclutadas) (Fig. 1), ya que la desviación estándar residual en este caso fue considerablemente menor (tabla 3) y, además, sólo en este modelo los residuos no presentaron regresiones significativas respecto a la variable independiente (Fig. 2, tabla 4) (Schneider, 1992). Este resultado sugiere que es más apropiado usar la regresión funcional para ajustar el modelo de von Bertalanffy por el método de

model in the construction of other models for use in fisheries management, since for this reason, good fits are required mostly in the recruited length range (Gulland, 1983).

On the other hand, if the von Bertalanffy model is to be used as an element to predict the dynamics of the youngest organisms, none of the fits with commercial catch data are satisfactory (Fig. 3; tables 3, 5), though the functional regression definitely produced the worst fit in this age range (table 5). Hence, the analysis of commercial catch samples seems to be insufficient to study the growth of this species before recruitment to the fishery. Such objective would require other studies, such as mark-recapture studies, cohort-analysis, etc. (Yamaguchi, 1975).

English translation by the authors.

Ford-Walford, partiendo de muestras de captura, si el objetivo es utilizar los datos generados por el modelo para alimentar modelos de manejo del recurso, ya que éstos requieren un buen ajuste fundamentalmente en el intervalo de longitudes de reclutamiento (Gulland, 1983).

Por otro lado, si se plantea el uso del modelo de von Bertalanffy como un elemento para predecir la dinámica de los prerreclutas, ninguno de los ajustes basados en los datos comerciales parece ser satisfactorio (Fig. 3; tablas 3, 5), aunque definitivamente la regresión funcional produjo el peor ajuste en este intervalo de edades (tabla 5). De esta forma, el análisis de muestras de captura comercial parece ser insuficiente para estudiar el crecimiento de esta especie antes de su reclutamiento por la pesquería. Este objetivo puede requerir la realización de otros estudios independientes de campo, como marcado-recaptura, seguimiento de cohortes, etc. (Yamaguchi, 1975).

## REFERENCIAS

- Fitch, J.E. (1965). A relatively unexploited population of pismo clam, *Tivela stultorum* (Mawe, 1823) (Veneridae). *Proc. Malac. Soc. Lond.*, 36: 309-312.
- Gulland, J.A. (1983). **Fish Stock Assessment. A manual of basic methods.** John Wiley & Sons, Chichester, 223 pp.
- Hall, C.A., Wayne, A.D. and Charles, E.C. (1974). Shell growth in *Tivela stultorum* (Mawe, 1823) and *Callista chione* (Linnaeus, 1758) (Bivalvia): Annual periodicity, latitudinal differences and diminution with age. *Paleogeogr., Paleoclimatol., Paleoecol.*, 15: 33-61.
- Juárez-Romero, R. (1986). Aspectos poblacionales de la almeja pismo *Tivela stultorum* inferidos del análisis de la edad en muestras de captura comercial de Playa San Ramón, B.C., México. Tesis de licenciatura, **Facultad de Ciencias Marinas, UABC**, Ensenada, B.C., 105 pp.
- Laws, E.A. and Archie, J.W. (1981). Appropriate use of regression analysis in marine biology. *Mar. Biol.*, 65: 13-16.
- Lugo-Yuriar, F.J. (1981). Aspectos del crecimiento de almeja pismo (*Tivela stultorum*), obtenidos del análisis de datos de marcado y recaptura, para Playa San Ramón, B.C. En: **Informe final del proyecto Bivalvos de Baja California: Sección almeja pismo, IIO-UABC**, Ensenada, B.C., pp. 92-116.
- Pauli, D. (1984). Fish population dynamics in tropical waters. **International Center for Living Aquatic Resources Management**, pp. 22-51.
- Ricker, W.E. (1973). Linear regression in fishery research. *J. Fish. Res. Board Canada*, 30: 409-434.
- Ricker, W.E. (1984). Computation and use of central trend lines. *Can. J. Zool.*, 62: 1897-1905.
- Sautto, L. y Searcy, R. (1978). Bivalvos de Baja California: Estudios en la almeja pismo (*Tivela stultorum*, Mawe 1823): presentación de un proyecto. En: **Memorias del II Congreso Nacional de Zoología, UANL-SOMEXZOO**, Monterrey, N.L., pp. 95-104.
- Schneider, D.W. (1992). A bioenergetics model of zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, growth in the Great Lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 49: 1406-1416.
- Searcy-Bernal, R. (1982). Evaluación preliminar sobre la pesquería de la almeja pismo *Tivela stultorum* (Mawe, 1823), en Playa San Ramón, B.C. Tesis de licenciatura, **Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC**, Ensenada, B.C., 71 pp.
- Searcy-Bernal, R. (1983). Un estudio sobre la condición de la almeja pismo *Tivela stultorum* con datos de longitud y peso de la carne de capturas comerciales. *Ciencias Marinas*, 9(2): 19-30.
- Searcy-Bernal, R. (1989). Dinámica de una población explotada de la almeja pismo (*Tivela stultorum*). En: J. Rosa-Vélez y F. González-Farías (eds.), **Temas de Oceanografía Biológica en México**. UABC, Ensenada, B.C., pp. 193-226.
- Searcy-Bernal, R. y Saavedra-Rosas, A. (1988). Estudios poblacionales sobre la almeja pismo *Tivela stultorum* en una playa de Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 14(2): 1-14.

- Searcy-Bernal, R., Lugo-Yuriar, F.J. y Beltrán-Herrera, C. (1989). Periodicidad de depositación de anillos internos de crecimiento en la almeja pismo (*Tivela stultorum*) de Playa San Ramón, B.C., México. *Ciencias Marinas*, 15(3): 45-56.
- Searcy-Bernal, R. y Juárez-Romero, R. (1991). Estructura por edades y tallas en muestras de captura comercial de la almeja pismo *Tivela stultorum* (Mawe, 1823), extraídas de Playa San Ramón, B.C., México. *Ciencias Marinas*, 17(2): 71-82.
- Weymouth, F.W. (1923). The life history and growth of the pismo clam (*Tivela stultorum*, Mawe 1823). Calif. Fish and Game. *Fish. Bull.*, 7: 120 pp.
- Yamaguchi, M. (1975). Estimating growth parameters from growth rate data. *Oecologia* (Berl.), 20: 321-332.