

ANALISIS DE LA EDAD, CRECIMIENTO Y MORTALIDAD NATURAL DE LA SARDINA CRINUDA *Opisthonema libertate* (GUNTHER, 1868) DE LAS AGUAS DEL SUR DEL GOLFO DE CALIFORNIA

Manuel Gallardo Cabello . *
Alfredo Laguarda Figueras *
Ramón Corrales Urrea **

RESUMEN

En el presente trabajo, se determinan los grupos de edad y las constantes del crecimiento de la ecuación de von Bertalanffy de la sardina crinuda, *Opisthonema libertate*, del sur del Golfo de California. Asimismo, se proporcionan datos sobre el crecimiento ponderal, por sexos, edad límite o longevidad y mortalidad natural. Se determinaron siete grupos de edad. Los parámetros del crecimiento son: $L_{\infty} = 208.17$ mm; $W_{\infty} = 153.41$ g; $k = 0.3923$; $t_0 = -1.3819$; $A_{(0.95)} = 8.94$ años y $M = 0.335$.

ABSTRACT

In the present paper, age groups and parameter from von Bertalanffy's growth equation were determined for *Opisthonema libertate* population located in the South of the Gulf of California. Also differences in growth between sexes, weight growth, longevity and natural mortality were detected. Seven age groups were determined. Growth parameters were: $L_{\infty} = 208.17$ mm; $W_{\infty} = 153.41$ g; $k = 0.3923$; $t_0 = -1.3819$; $A_{(0.95)} = 8.94$ years and $M = 0.335$.

INTRODUCCION

Durante la presente investigación se aplicaron diversos métodos para determinar las constantes de crecimiento de von Bertalanffy. Para ello, se emplearon los datos de edad-longitud de los ejemplares de la sardina crinuda, *Opisthonema libertate*, capturados en el sur del Golfo de California.

Lo métodos empleados para evaluar los parámetros del crecimiento fueron ampliamente desarrollados y comparados con los siguientes propósitos:

- a) Analizar minuciosamente la metodología empleada por diversos autores para este tipo de estudios.
- b) Establecer las ecuaciones para el estudio del crecimiento que mejor se ajusten al análisis de las poblaciones investigadas, y
- c) Proporcionar la información más importante sobre el crecimiento ponderal, por sexos, edad límite o longevidad y mortalidad natural de la especie en estudio.

MATERIAL Y METODOS

Los datos biológicos obtenidos corresponden a 2,147 ejemplares de *Opisthonema libertate* capturados en el sur del Golfo de California, desde las costas de Guaymas hasta las de la Isla de San Ignacio. Se llevaron a cabo muestreos de la captura comercial durante cada uno de los meses correspondientes al período comprendido entre noviembre de 1985 a abril de 1986. Los muestreos fueron realizados por los barcos "Concepción", "Libertador del Sur", "Sauzal" y "Tortugas", pertenecientes a la Compañía Pesquera Zapata.

De la captura mencionada se separó un kilogramo de peso, elegido al azar de cada uno de los barcos. De cada localidad se consignaron en las hojas de muestreo, los siguientes datos: nombre del barco, área y fecha de la captura, volumen de la captura, número de la muestra y peso total de la misma. De los ejemplares obtenidos se registró: la longitud estándar, el peso entero y el sexo. Por otra parte, se mon-

* Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México.

** Pesquera Zapata, S.A. de C.V.

taron preparaciones para analizar seis escamas de cada uno de los ejemplares estudiados.

El análisis de dichas escamas permitió conocer los grupos de edad. Para el análisis del crecimiento, de acuerdo a los resultados alcanzados, se empleó la ecuación de Brody (1927) y von Bertalanffy (1938).

La obtención de los parámetros de dicha ecuación se realizó aplicando las técnicas de Ford (1933) y Walford (1949), Gulland (1964), Tomlinson y Abramson (1961), Allen (1966) y Beverton (1954). Para conocer la edad límite o longevidad y la mortalidad natural, se utilizó la ecuación de Taylor (1958a, 1958b, 1959, 1960, 1962).

RESULTADOS Y DISCUSION

**Expresiones matemáticas del crecimiento
Ecuación de Brody - von Bertalanffy
Método de Ford-Walford**

Al emplear los datos obtenidos a partir de la lectura de escamas, se alcanzaron las siguientes longitudes de l_t y l_{t+1} :

l_t (mm)	l_{t+1} (mm)
125.6	156.8
156.8	170.3
170.3	181.2
181.2	189.6
189.6	196.0
196.0	202.0

La recta de regresión encontrada para todos los puntos por el método de los mínimos cuadrados es la siguiente:

$$l_{t+1} = 0.6463 l_t + 72.83$$

Los valores de los coeficientes k y L^∞ , hallados por este método, son los siguientes:

$$k = 0.4365$$

$$L^\infty = 205.91 \text{ mm}$$

Método de Gulland

Para el cálculo de los valores de t_0 se empleó el método de Gulland (1964), logrando el siguiente resultado:

$$t_0 = - 1.1656$$

Método de Tomlinson y Abramson

El valor de Z obtenido a partir de las tablas de polinomiales para $J7j$ (Z) es el siguiente:

$$Z = 0.6755$$

En la tabla 1 se muestra el método empleado aplicando: $y = 1/q \log_e Z^{-1}$ se tiene el valor de k : 0.3923

aplicando las ecuaciones:

$$\sum_j l_j = P L^\infty - B \sum_j Z^{mj}$$

$$\sum_j l_j Z^{mj} = L^\infty \sum_j Z^{mj} - B \sum_j Z^{2mj}$$

se obtienen los valores $\sum Z^{mj}$, $\sum Z^{2mj}$, $\sum l_j$ y $\sum l_j Z^{mj}$ que aparecen en la tabla 2.

Empleando las siguientes ecuaciones:

$$D = (\sum_j Z^{mj})^2 - P \sum_j Z^{2mj}$$

$$L^\infty = 1/D (\sum_j l_j Z^{mj} \sum_j Z^{mj} - \sum_j l_j \sum_j Z^{2mj})$$

$$B = 1/D (P \sum_j l_j Z^{mj} - \sum_j l_j \sum_j Z^{mj})$$

se alcanza el valor de $L^\infty = 208.7 \text{ mm}$.

Utilizando la ecuación:

$$t_0 = 1/K \log_e (B/L^\infty)$$

se obtiene el valor de $t_0 = - 1.3819$

7
TABLA 1. CALCULO DE $\sum_{j=1}^7 1/j (Z)$ DEL METODO DE TOMLINSON Y ABRAMSON.

Z	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	$\bar{\Sigma}$
0.67	6543.51	-5650.758	-9075.287	-6676.314	-1339.1448	4990.552	11246.552	39.11
0.68	7011.3688	-5787.1744	-9597.7674	-7235.6984	-1630.3704	5178.124	12030.110	-31.41

TABLA 2. RESOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES DEL METODO DE TOMLINSON Y ABRAMSON.

mj	Z^{mj}	$Z2mj$	lj	$lj Z^{mj}$
1	0.6755	0.4563	125.6	84.84
2	0.4563	0.2082	156.8	71.55
3	0.3082	0.0950	170.3	52.49
4	0.2082	0.0433	181.2	37.28
5	0.1406	0.0197	189.6	26.66
6	0.0950	0.0090	196.0	18.62
7	0.0642	0.0041	202.0	12.96
Σ	1.9481	0.8357	221.5	304.41

Método de Allen

Se tomó como valor de trabajo del índice k, el estimado por el método de Tomlinson y Abramson.

Aplicando las ecuaciones:

$$\alpha = QS - PR$$

$$Dk(\alpha) = QU + RS - PT$$

$$-\alpha / Dk(\alpha)$$

se alcanzó como nuevo valor del índice k: 0.3780

A partir de las ecuaciones:

$$L \alpha = M / Q$$

$$t_0 = \frac{\log e(-P) - \log e(M)}{k}$$

se consiguieron los siguientes valores:

$$L \alpha = 207.77 \text{ mm y } t_0 = -1.4633$$

Método de Beverton

Empleando los valores de $L \alpha$ obtenidos por medio de los métodos de Ford-Walford, Tomlinson-Abramson y Allen, se aplicó la siguiente ecuación:

$$\log e(L \alpha - l_t) = \log e L \alpha + k t_0 - k t$$

con los siguientes resultados:

Valor de L (mm)	Valores obtenidos por el Método de Beverton	
	k	t ₀
205.91	0.4660	-0.8382
208.17	0.4062	-1.2190
207.77	0.4151	-1.1602

Selección y valoración de los coeficientes del crecimiento

De acuerdo a las estimaciones realizadas para cada parámetro, mediante los métodos propuestos por los diversos autores, se han desarrollado las curvas de crecimiento de *Opisthonema libertate*, alcanzándose los valores calculados de las tallas para cada edad con respecto a los valores observados.

Los valores calculados y la suma de los cuadrados de las diferencias aparecen en la tabla 3.

TABLA 3. VALORES DE LOS COEFICIENTES DEL CRECIMIENTO OBTENIDOS POR DIVERSOS METODOS.

Método aplicado	L^{∞} (mm)	k	t_0	SD^2
Walford-Gulland	205.91	0.4365	-1.1656	31.19
Beverton	205.91	0.4660	-0.8382	106.48
Tomlinson-Abramson	208.17	0.3923	-1.3819	24.36
Beverton	208.17	0.4062	-1.2190	38.59
Allen	207.77	0.3780	-1.4633	35.22
Beverton	207.77	0.4151	-1.1602	43.69

Los parámetros L^{∞} y k obtenidos por el método Ford-Walford presentaron diferencias significativas en comparación con los calculados mediante la técnica de Tomlinson y Abramson. Es decir, el primero no proporcionó tan buen ajuste de los datos en relación al segundo. Lo anterior puede deberse a que el valor de t_0 , obtenido por el método de Gulland, podría estar relacionado con un error de muestreo, debido a que, por razón natural, algunos grupos de edad están mejor representados que otros.

Al parecer, el método de Tomlinson-Abramson proporciona mejores valores de t_0 que el de Gulland, por ser una técnica más elaborada que ajusta los errores que se presentan entre los datos observados y la curva calculada. El método de Allen, a pesar de ser más elaborado que el de Walford-Gulland, no proporcionó un mejor ajuste en relación a este último. La aplicación de la ecuación de Beverton a los métodos antes citados no ofreció en ninguno de los casos, un mayor ajuste. En otras palabras, la técnica de Tomlinson y Abramson fue la que permitió una mayor corrección entre la curva calculada y los datos observados.

Ecuación del crecimiento de *Opisthonema libertate*

La curva calculada que más se ajusta a los valores observados, es la correspondiente a los coeficientes $L^{\infty} = 208.17$ mm, $k = 0.3923$, $t_0 = -1.3819$.

Por lo tanto, la ecuación de Brody-Bertalanffy adoptará para la sardina crinuda, *Opisthonema libertate*, la siguiente forma:

$$l_t = 208.17 [1 - e^{-0.3923(t + 1.3819)}]$$

Los valores de las constantes de esta ecuación son los calculados por el método de Tomlinson y Abramson.

Con dicha ecuación se calculó la longitud teórica de esta población para las diferentes edades que la componen (Tabla 4).

TABLA 4. LONGITUDES TEORICAS DE LA SARDINA CRINUDA (*Opisthonema libertate*) A DIFERENTES EDADES

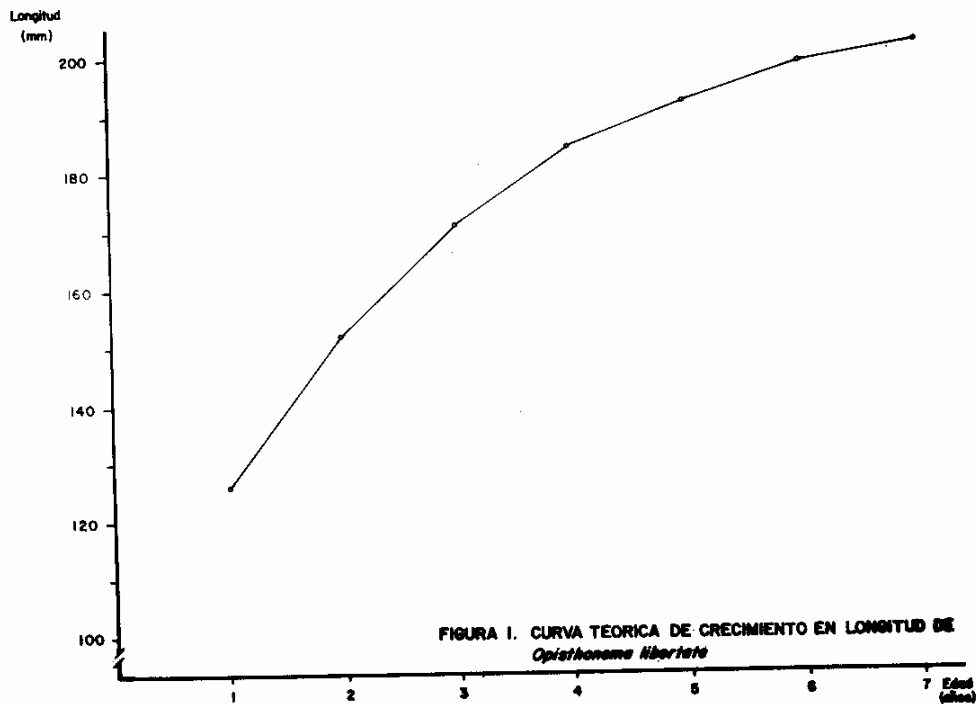
Edad (años)	Valores observados (mm)	Valores calculados (mm)
1	125.6	126.40
2	156.8	152.93
3	170.3	170.85
4	181.2	182.96
5	189.6	191.14
6	196.0	196.66
7	202.0	200.40

En la figura 1 se muestra la curva teórica de crecimiento en longitud de la sardina crinuda, *Opisthonema libertate*, correspondiente a las edades de uno a siete años.

En la población estudiada se observa que durante el primer año el crecimiento es muy rápido, alcanzándose 126.4 mm, de longitud.

A partir del primer año de vida, la velocidad del crecimiento disminuye, incrementándose la longitud 22.49 mm, entre el primero y segundo año; 15.19 mm, entre el segundo y tercero; 10.26 mm, entre el tercero y cuarto; 6.94 mm, entre el cuarto y quinto; 4.68 mm, entre el quinto y sexto, y 3.16 mm, entre el sexto y séptimo año (Fig. 2).

ANALISIS DE LA EDAD, CRECIMIENTO Y MORTALIDAD DE LA SARDINA CRINUDA EN EL SUR DEL GOLFO DE CALIFORNIA.



Crecimiento según el sexo

Crecimiento en los machos de *Opisthonema libertate*

Utilizando los datos obtenidos por medio de la lectura de escamas, se calcularon los valores de L_{∞} , k y t_0 , por medio de la aplicación de la técnica de Tomlinson y Abramson. De tal manera, puede proponerse como ecuación del crecimiento en longitud de los machos de *Opisthonema libertate* la forma:

$$L_t = 203.6 [1 - e^{-0.4116(t + 1.31229)}]$$

Las longitudes teóricas, a diferentes edades, aparecen en la tabla 5.

Crecimiento en las hembras de *Opisthonema libertate*

La curva calculada que más se ajusta a los valores observados, es la correspondiente a los coeficientes obtenidos por el método de Tomlinson y Abramson. Por lo tanto, la ecuación de Brody-Bertalanffy adoptará para el caso de las hembras de *Opisthonema libertate*, la forma:

$$L_t = 209.58 [1 - e^{-0.3978(t + 1.4072)}]$$

Las longitudes teóricas a diferentes edades aparecen en la tabla 6.

TABLA 5. LONGITUDES TEORICAS PARA LOS MACHOS DE LA SARDINA CRINUDA (*Opisthonema libertate*) A DIFERENTES EDADES.

Edad (años)	Valores observados (mm)	Valores calculados (mm)
1	123.9	125.00
2	154.6	151.53
3	168.9	169.10
4	178.6	180.74
5	187.2	188.45
6	193.4	193.56
7	198.4	196.95

Diferencias de crecimiento entre sexos

Con respecto a los parámetros del crecimiento entre sexos, se observa que el valor de k , es mucho más elevado en los machos que en las hembras, por lo que éstos alcanzarán más rápido una talla cercana a L_{∞} .

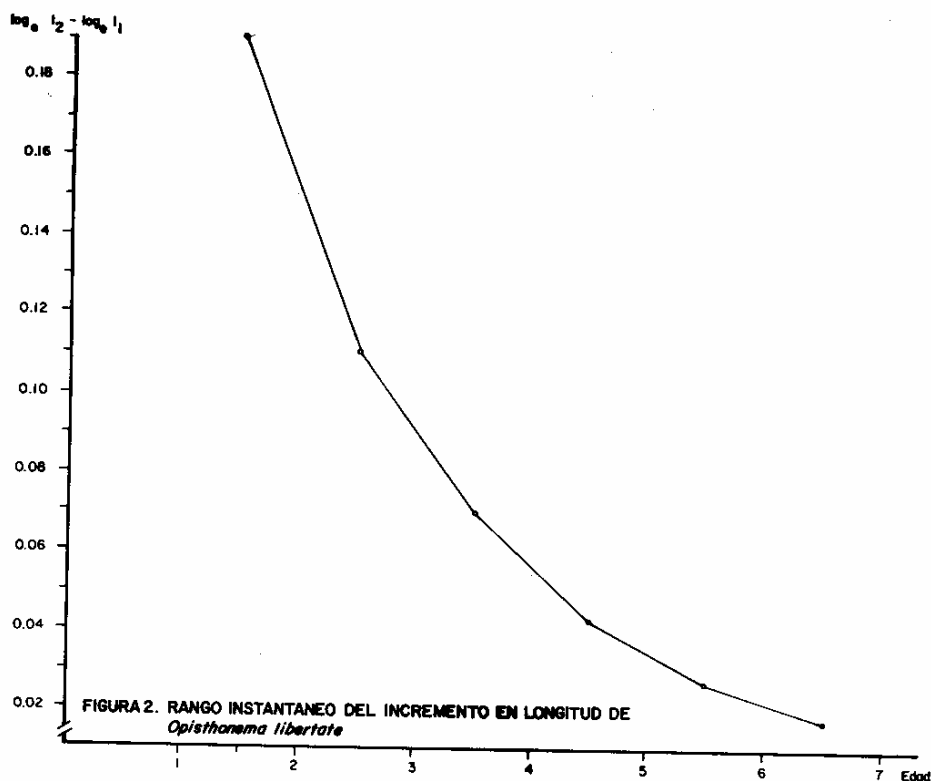


TABLA 6. LONGITUDES TEORICAS PARA LAS HEMBRAS DE LA SARDINA CRINUDA (*Opisthonema libertate*) A DIFERENTES EDADES.

Edad (años)	Valores observados (mm)	Valores calculados (mm)
1	128.0	129.14
2	157.8	155.54
3	172.5	173.28
4	184.2	185.19
5	192.8	193.19
6	198.4	198.57
7	203.4	202.18

En la figura 3 se observan las curvas teóricas de crecimiento en longitud para machos y hembras.

Las diferencias del crecimiento entre sexos aparecen a partir del primer año de edad. Entre el primero y segundo año de edad, las hembras incrementan su longitud en 26.4 mm; en ese mismo intervalo de tiempo, los machos incrementan su longitud en 26.53

mm; al alcanzar su tercer año de edad, el incremento en longitud para las hembras es de 17.74 mm, mientras que el incremento para los machos de esa misma edad es de 17.57 mm; en el cuarto año de edad es de 11.91 mm y 11.64 mm; en el quinto de 8.00 mm y 7.71 mm; en el sexto de 5.38 mm y 5.11 mm, y en el séptimo de 3.61 mm y 3.39 mm, para hembras y machos, respectivamente.

Como puede observarse, las diferencias de las tasas de crecimiento entre machos y hembras aumentan con la edad. Es muy probable que las diferencias del crecimiento entre sexos de *Opisthonema libertate*, estén asociadas con la edad de madurez de uno y otro sexo. Es posible que los machos maduren a una edad más temprana que las hembras, por lo que éstos deben emplear una cantidad mayor de energía para la generación de productos sexuales, mientras que las hembras de la misma edad, emplean la mayor parte de su energía en el crecimiento.

Crecimiento en peso Relación talla - peso

La línea de regresión entre la longitud y el peso viene dada por la siguiente ecuación:

$$W = 0.00001996 \times L^{2.97}$$

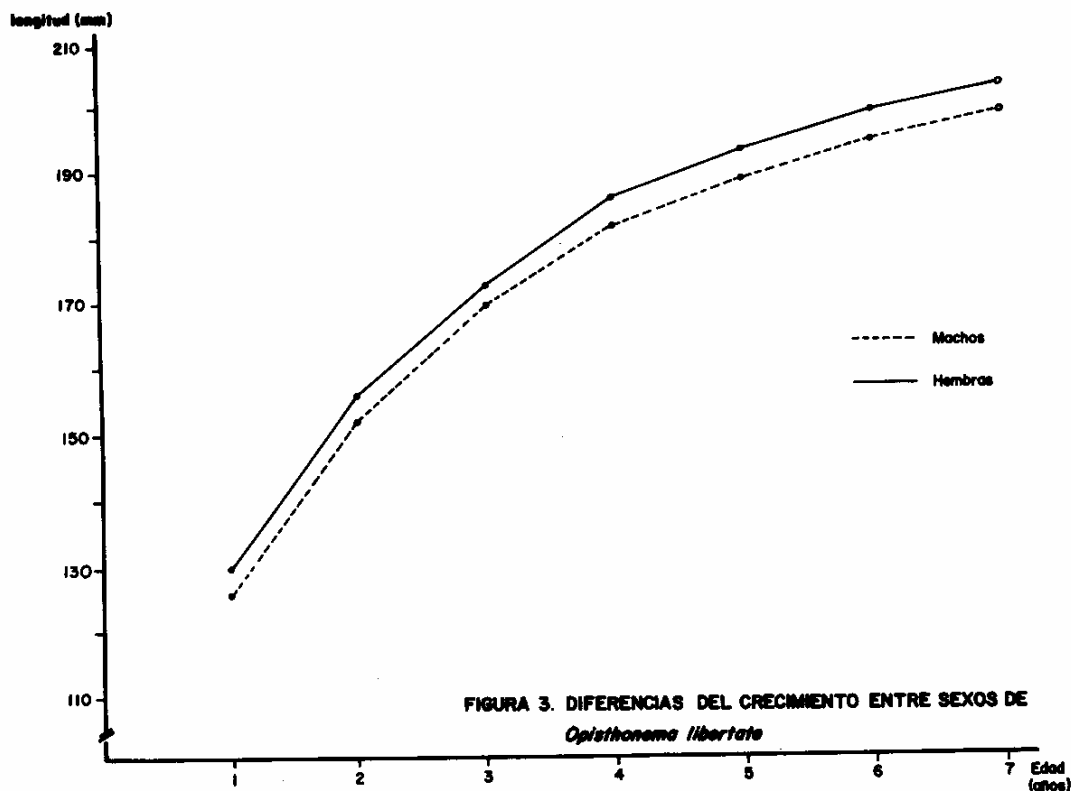


FIGURA 3. DIFERENCIAS DEL CRECIMIENTO ENTRE SEXOS DE *Opisthonema libertate*

En la tabla 7 aparece la relación entre el peso y la longitud. En la figura 4 se muestra la recta de regresión de la relación entre el logaritmo del peso y el logaritmo de la longitud, calculada por medio del método de mínimos cuadrados.

Peso a cada edad

De acuerdo con la relación entre la talla y el peso, se obtienen los pesos a cada edad, a partir de los datos de crecimiento en longitud. En la tabla 8 se muestra el crecimiento en peso absoluto y los valores del peso relativo.

Crecimiento teórico en peso

La ecuación del crecimiento en peso es la siguiente:

$$W_t = 153.41 [1 - e^{-0.3923(t + 1.3819)}]^{2.97}$$

Con esta ecuación se calcularon los pesos teóricos de *Opisthonema libertate* a diferentes edades, los cuales aparecen en la tabla 8.

Edad límite o longevidad

La edad límite encontrada para la sardina crinuda, *Opisthoma libertate*, es de 8.94 años. Por otra parte, se observan diferencias entre la longevidad que pueden

TABLA 7. RELACION PESO - LONGITUD.

CLASES DE TALLAS (mm)	PESO ENTERO (g)
120	29.87
125	33.72
130	37.89
135	42.38
140	47.22
145	52.41
150	57.96
155	63.89
160	70.21
165	76.92
170	84.06
175	91.62
180	99.61
185	108.06
190	116.96
195	126.34
200	136.21
205	146.58

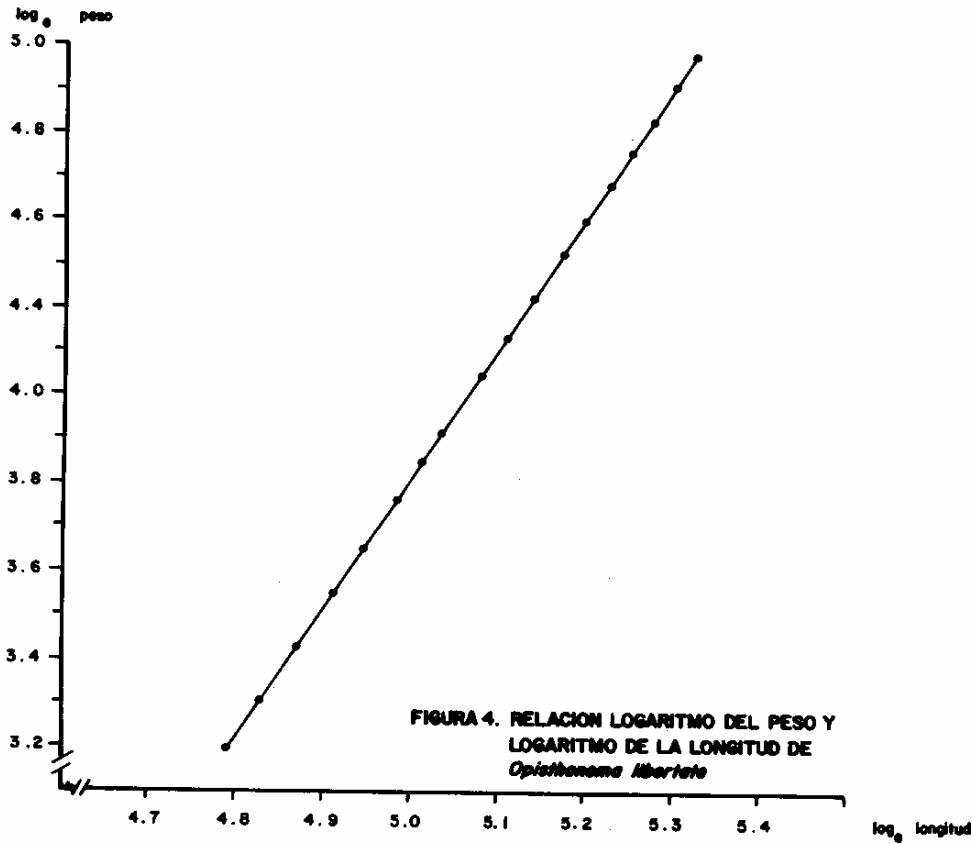


TABLA 8. CRECIMIENTO EN PESO ABSOLUTO Y RELATIVO DE LA SARDINA CRINUDA (*Opisthonema libertate*).

EDAD (años)	LONGITUD (mm)	PESO ABSOLUTO (g)	PESO RELATIVO (g)
1	126.40	34.86	
2	152.93	61.39	0.5659
3	170.85	85.31	0.3290
4	182.96	104.56	0.2035
5	191.14	119.10	0.1302
6	196.66	129.57	0.0842
7	200.40	137.02	0.0559

alcanzar las hembras con respecto a los machos, siendo dicho valor de 8.52 años para los machos y de 8.86 para las hembras. De acuerdo con lo anterior, puede suponerse que la longitud y edad límite dependen especialmente de la disponibilidad del alimento, del desove y de la explotación pesquera.

Mortalidad natural

La tasa de mortalidad natural (M) obtenida para la sardina crinuda (*Opisthonema libertate*) es de 0.335. Los valores de M para cada sexo son de 0.3516 para los machos y de 0.3380 para las hembras.

De acuerdo con lo anterior, se observa que los machos presentan una tasa de crecimiento mayor que las hembras, alcanzando más rápido un valor cercano a la edad media de muerte y, por lo tanto, una tasa de mortalidad natural más alta.

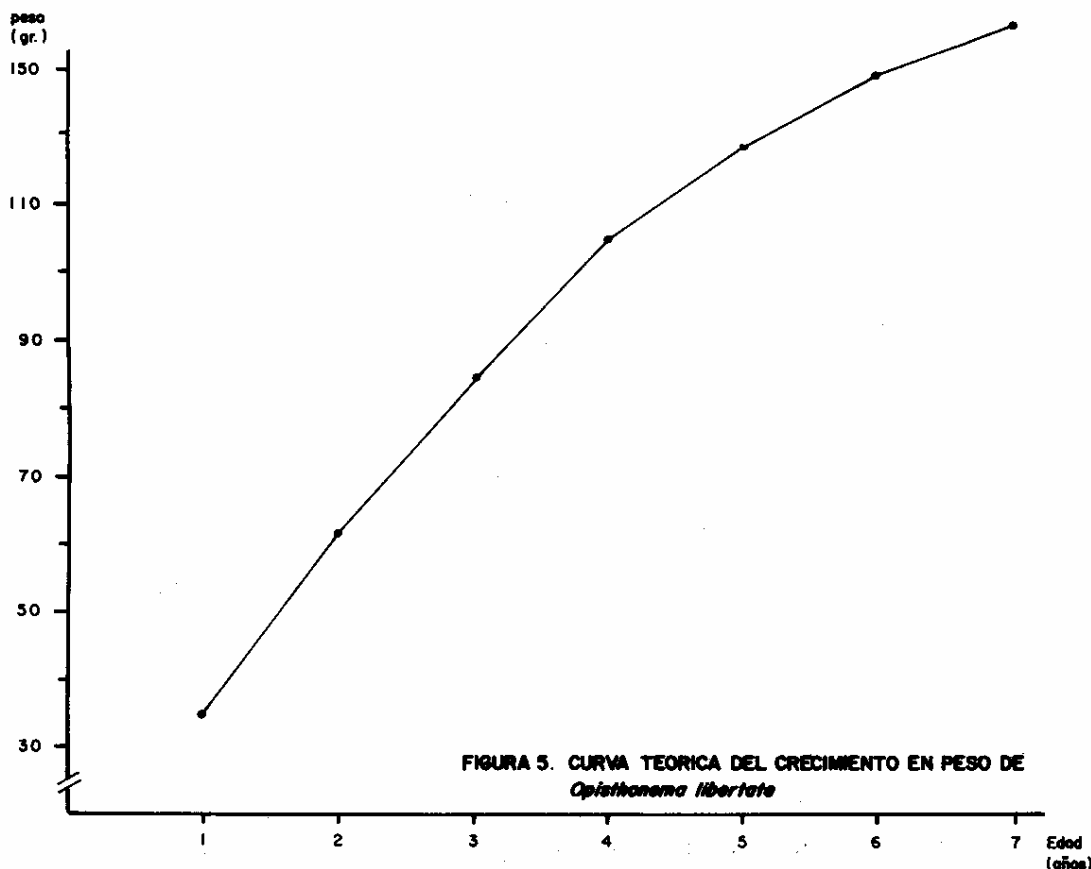
CONCLUSIONES

El análisis de los anillos de crecimiento de las escamas de la sardina crinuda, *Opisthonema libertate*, permitió la identificación de siete grupos de edad.

La curva teórica del crecimiento (Fig. 5) que más se asemeja a los valores observados por medio de la lectura de las escamas, es la que se alcanzó al aplicar el método de Tomlinson y Abramson (1961).

Los parámetros del crecimiento de la población son los siguientes:

Talla máxima $L_{\infty} = 208.17 \text{ mm.}$
 Peso entero máximo $W_{\infty} = 153.41 \text{ g}$



Coefficiente catabólico $k = 0.3923$
 Edad teórica a la longitud cero $(t_0) = -1.3819$
 Edad límite o longevidad $A_{(0.95)} = 8.94$ años
 Mortalidad natural $(M) = 0.335$

El valor k es mucho más elevado en los machos que en las hembras, por lo que alcanzan más rápidamente una talla cercana a L_{∞} , presentan una longevidad menor y una mayor mortalidad natural.

La relación peso-longitud es:

$$W = 0.00001996 x^{2.97}$$

El período de mayor crecimiento lineal ocurre al alcanzar el primer año de vida, a partir de dicha edad, la velocidad del crecimiento disminuye considerablemente. El crecimiento de los machos, a partir del primer año de vida, es menor que el de las hembras de esa misma edad, diferencia que aumenta en proporción directa con la edad.

Los parámetros de crecimiento por sexos son los siguientes:

MACHOS	HEMBRAS
$L_{\infty} = 203.60$	$L_{\infty} = 209.58$
$k = 0.4116$	$k = 0.3978$
$t_0 = -1.3129$	$t_0 = -1.4072$
$A_{(0.95)} = 8.52$ años	$A_{(0.95)} = 8.86$ años
$M = 0.3516$	$M = 0.338$

LITERATURA CITADA

- ALLEN, K.R., 1966. A method of fitting growth curves of the von Bertalanffy type to observed data. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 23 (3): 163-277.
- BEVERTON, R.J.H., 1954. Notes on the use of theoretical models in the study of the dynamics of exploited fish populations. *U.S. Fish and Wildl. Serv. Fish. Lab., Beaufort, Misc. Contrib.*, 2: 1-181.
- BRODY, S., 1927. Growth rates. *Univ. Missouri Agric. Exp. Sta. Bull.*, 97: 101-215.
- FORD, E., 1933. An account of the herring investigations conducted at Plymouth during the years from 1924 to 1933. *J. Mar. Biol. Ass. UK*, NS, 19: 305-384.
- GULLAND, J.A., 1964. Manual of methods of fish population analysis. *FAO. Fish. Tech. Pap.*, 40: 1-60.
- TAYLOR, C.C., 1958a. A note on Lee's phenomenon in Georges Bank Handdock. *Spe. Publ., ICNAF*, 1: 243-251.
- _____, 1958b. Cod growth and temperature. *J. Conseil*, 23 (3): 366-370.
- _____, 1959. Temperature and growth - The Pacific razor clam. *J. Conseil*, 25 (1): 93- 101.
- _____, 1960. Temperature, growth and mortality - The Pacific cockle. *J. Conseil*, 26 (1): 117-124.
- _____, 1962. Growth equations with metabolic parameters. *J. Conseil*, 27 (3): 270-286.
- TOMLINSON, P.K., and N.J. ABRAMSON, 1961. Fitting a von Bertalanffy growth curve by least squares. *Fish. Bull., Calif.* (116): 3-69.
- VON BERTALANFFY, L. 1938. A quantitative theory of organic growth. *Human Biology*, 10 (2): 181-213.
- WALFORD, L.A., 1946. A new graphic method of describing the growth of animals. *Biol. Bull.*, 90 (2): 141-147.