

DETERMINACION DE LOS PARAMETROS POBLACIONALES: EDAD, CRECIMIENTO Y MORTALIDAD NATURAL DE LA SARDINA MONTERREY *Sardinops sagax caerulea* (Jenyns, 1842) DE LAS POBLACIONES LOCALIZADAS EN EL SUR DEL GOLFO DE CALIFORNIA (PISCES: CLUPEIDAE).

Manuel Gallardo Cabello *
Alfredo Laguarda Figueras *
V́ctor Ṕrez Arroyo **

RESUMEN

En el presente estudio, se llev3 a cabo la determinaci3n de los grupos de edad y las constantes del crecimiento de la ecuaci3n de von Bertalanffy de la sardina monterrey, *Sardinops sagax caerulea*, localizada en la aguas del sur del Golfo de California. Por otra parte, se proporcionan los datos correspondientes al crecimiento ponderal por sexos, longevidad y mortalidad natural. Fueron identificados siete grupos de edad. Los parámetros correspondientes al crecimiento son: $L_{\infty} = 197.95$ mm; $W_{\infty} = 122.82$ g; $k = 0.3612$; $t_0 = -1.6324$; $A_{(0.95)} = 9.84$ años y $M = 0.3045$.

ABSTRACT

Age group and parameters from von Bertalanffy's growth equation were analysed for Pacific sardine, *Sardinops sagax caerulea*, located in the South of the Gulf of California waters. Data from differences in growth between sexes, weight growth, longevity and natural mortality were analysed. Seven age groups were established. Growth parameters were: $L_{\infty} = 197.95$ mm; $W_{\infty} = 122.82$ g; $k = 0.3612$; $t_0 = -1.6324$; $A_{(0.95)} = 9.84$ years and $M = 0.3045$.

INTRODUCCION

En el presente trabajo se emplearon los datos de edad-longitud de los ejemplares de la sardina monterrey (*Sardinops sagax caerulea*) que fueron capturados en las aguas del sur del Golfo de California. A dichos datos se les aplicaron diversos tratamientos estadísticos que permitieron determinar las constantes de crecimiento de von Bertalanffy.

Los métodos empleados para llevar a cabo la evaluaci3n de los parámetros del crecimiento se desarrollaron y compararon con tres prop3sitos fundamentales:

- Utilizar adecuadamente las distintas metodologías que los diversos autores emplean para este tipo de análisis.
- Ajustar las ecuaciones más adecuadas para el análisis del crecimiento de las poblaciones estudiadas.

- Conocer el crecimiento ponderal por sexos, edad límite o longevidad y mortalidad natural de la especie en cuesti3n.

MATERIAL Y METODOS

Se muestrearon 2,650 ejemplares de *Sardinops sagax caerulea* capturados en el sur del Golfo de California, desde las costas de Guaymas hasta la Isla de San Ignacio. Para ello, se llevaron a cabo muestreos de captura comercial durante cada uno de los meses comprendidos en el periodo noviembre de 1985-abril 1986. Lo anterior fue realizado utilizando los barcos "Concepci3n", "Libertador del Sur", "Sauzal" y "Tor-tugas" de la Compañía Pesquera Zapata.

De cada una de las capturas se separó un kilogramo de peso elegido al azar. De cada lote de peces colectados se registraron en la hojas de muestreo los siguientes datos: nombre del barco, área, fecha y

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

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

volumen de la captura, número de la muestra y peso total de la misma. De cada ejemplar obtenido, se registraron los siguientes datos: longitud estándar, peso entero y sexo. Además, se separaron seis escamas de cada uno de ellos, se montaron preparaciones con dichas escamas y se analizaron los anillos de crecimiento de cada una.

El análisis de las escamas mencionadas permitió establecer los grupos de edad. De acuerdo a los resultados obtenidos, para el análisis de crecimiento se empleó la ecuación de Brody (1927) y von Bertalanffy (1938). La obtención de los parámetros de dicha ecuación, se logró aplicando las metodologías de Ford (1933) y Walford (1949), Gulland (1964), Tomlinson y Abramson (1961), Allen (1966) y Beverton (1954). Para obtener 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

La lectura de las escamas dio como resultado las siguientes longitudes l_t y l_{t+1} :

l_t (mm)	l_{t+1} (mm)
120.0	148.4
148.4	160.3
160.3	170.4
170.4	178.3
178.3	185.0
185.0	191.0

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

$$l_{t+1} = 0.6630 l_t + 65.91$$

Los valores de los coeficientes k y L_{∞} encontrados con el método mencionado, son los siguientes:

$$k = 0.4110$$

$$L_{\infty} = 195.58 \text{ mm}$$

Método de Gulland

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

$$t_0 = -1.2946$$

Método de Tomlinson y Abramson

El valor de Z , obtenido a partir de las tablas polinomiales, para $J_7(Z)$ es el siguiente:

$$Z = 0.6968$$

La tabla 1 muestra el método empleado: aplicando

$$Y = \frac{1}{q} \log_e Z^{-1}, \text{ se tiene el valor de } k = 0.3612$$

Aplicando las ecuaciones:

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

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

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.

TABLA 1. CALCULO DE $\sum_{j=1}^7 l_j J_7(Z)$ DEL METODO DE TOMLINSON Y ABRAMSON.

Z	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	Σ
0.70	7690.2	-5730.02	-10096.82	-7973.53	-2170.98	5245.305	13012.83	-23.01
0.69	7177.4	-5604.62	-9551.95	-7368.61	-1836.13	5066.04	12166.7	48.86

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

mj	Z ^{mj}	Z ^{2mj}	l _j	l _j Z ^{mj}
1	0.6968	0.4855	120.0	83.62
2	0.4855	0.2347	148.4	72.05
3	0.3383	0.1144	160.3	54.23
4	0.2357	0.0550	170.4	40.17
5	0.1643	0.0270	178.3	29.29
6	0.1144	0.0130	185.0	21.17
7	0.0797	0.0060	191.0	15.23
Σ	2.1147	0.9366	1153.4	315.76

Empleando las siguientes ecuaciones:

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

$$L_{\infty} = \frac{1}{D} \left(\sum_j l_j Z^{mj} \sum_j Z^{mj} - \sum_j l_j \sum_j Z^{2mj} \right)$$

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

Se obtiene el valor de $L_{\infty} = 197.95$ mm aplicando la ecuación:

$$t_0 = 1/k \log_e (B/L_{\infty})$$

Se obtiene $t_0 = -1.6324$

Método de Allen

Se utilizó 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 obtuvo como nuevo valor del índice k = 0.3324 a partir de las ecuaciones:

$$L_{\infty} = M/Q$$

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

se obtuvieron los valores siguientes:

$$L_{\infty} = 199.30 \text{ mm}$$

$$t_0 = -1.8160$$

Método de Beverton

Empleando los valores de L_{∞} , obtenidos con los métodos de Ford-Walford, Tomlinson-Abramson y Allen, se aplicó la siguiente ecuación:

$$\log_e (L_{\infty} - l_t) = \log_e L_{\infty} + k t_0 - k t$$

obteniéndose los siguientes resultados:

Valor de L_{∞} (mm)	Valores obtenidos por el método de Beverton	
	k	t ₀
195.58	0.4327	-1.0310
197.95	0.3781	-1.4163
199.30	0.3546	-1.6210

Selección y valoración de los coeficientes del crecimiento

Las curvas del crecimiento de *Sardinops sagax caerulea*, se han desarrollado de acuerdo con las estimaciones previamente realizadas para cada parámetro, mediante los métodos propuestos por los diversos autores, alcanzando los valores calculados de las tallas para cada grupo de edad con respecto a los valores observados.

Los valores calculados, así como la suma de los cuadrados de las diferencias, se muestran en la tabla 3.

Los parámetros L_{∞} y k , que fueron obtenidos mediante el método de Ford-Walford, mostraron diferencias significativas si se comparan a los calculados mediante la técnica de Tomlinson-Abramson.

En otras palabras, el primero de estos dos métodos no proporcionó un ajuste de los datos tan preciso como el segundo. Es posible que lo anterior se deba a que el valor de t_0 , obtenido siguiendo el método de Gulland, esté relacionado con un error de muestreo, ya que por razón natural ciertos grupos de edad están mejor representados que otros.

El método de Tomlinson-Abramson proporcionó valores más precisos de t_0 que el de Gulland, por consistir en una técnica más elaborada, que permite ajustar los errores que se presentan entre los datos observados y la curva calculada.

La metodología de Allen, a pesar de ser más elaborada que la de Walford-Gulland, no proporcionó un ajuste más preciso, en relación a este último.

Por lo anterior, la ecuación de Brody-Bertalanffy adoptará para la sardina monterrey, *Sardinops sagax caerulea*, la siguiente forma:

$$l_t = 197.95[1 - e^{-0.3612(1+1.6324)}]$$

Mediante el método de Tomlinson-Abramson se calcularon los valores de las constantes de esta ecuación. Con dicha ecuación se calculó la longitud teórica de esta población para los distintos grupos de edad que la componen (Tabla 4).

La figura 1 muestra la curva teórica del crecimiento en longitud de la sardina monterrey, *Sardinops sagax caerulea*, correspondiente a las edades de 1 a 7 años.

La población estudiada muestra que durante el primer año el crecimiento es muy rápido, alcanzando 121.45 mm.

A partir del primer año de vida, los incrementos de la velocidad de crecimiento disminuyen de la siguiente manera: 23.19 mm, entre el primero y el

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

Método aplicado	L_{∞} (mm)	k	t_0	SD^2
Walford-Gulland	195.58	0.4110	-1.2946	34.14
Beverton	195.58	0.4327	-1.0310	89.17
Tomlinson-Abramson	197.95	0.3612	-1.6324	25.23
Beverton	197.95	0.3781	-1.4163	36.91
Allen	199.3	0.3324	-1.8160	35.22
Beverton	199.3	0.3546	-1.6210	27.70

La aplicación de la ecuación de Beverton no logró ajustar a los métodos elaborados por Ford-Walford y Tomlinson-Abramson; no obstante, logró ajustar al método de Allen, dando lugar a una corrección adecuada del valor de t_0 .

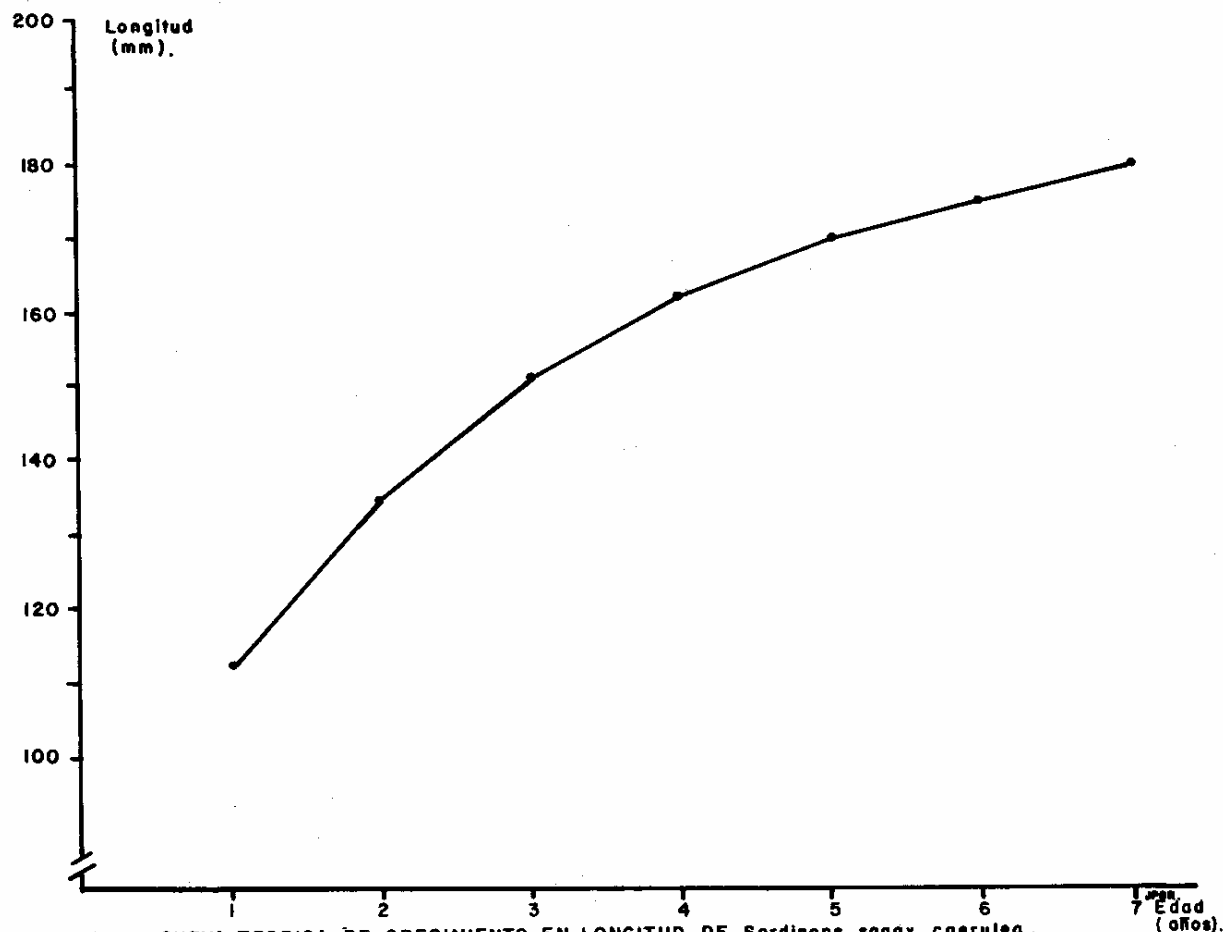
La técnica de Tomlinson-Abramson, permitió una mayor corrección entre la curva calculada y los datos observados.

Ecuación del crecimiento de *Sardinops sagax caerulea*

La curva que más se ajusta a los valores observados, corresponde a los coeficientes $L_{\infty} = 197.95$ mm, $k = 0.3612$ y $t_0 = -1.6324$.

TABLA 4. LONGITUDES TEORICAS DE LA SARDINA MONTERREY, *Sardinops sagax caerulea*, A DIFERENTES EDADES.

EDAD (años)	Valores observados (mm)	Valores calculados (mm)
1	120.0	121.45
2	148.4	144.64
3	160.3	160.80
4	170.4	172.06
5	178.3	179.91
6	185.0	185.38
7	191.0	189.19



segundo año; 16.16 mm, entre el segundo y el tercero; 11.26 mm, entre el tercero y el cuarto; 7.85 mm, entre el cuarto y el quinto; 5.47 mm, entre el quinto y el sexto, y 3.81 mm, entre el sexto y el séptimo año (Fig. 2).

Crecimiento según el sexo

Crecimiento en los machos de *Sardinops sagax caerulea*

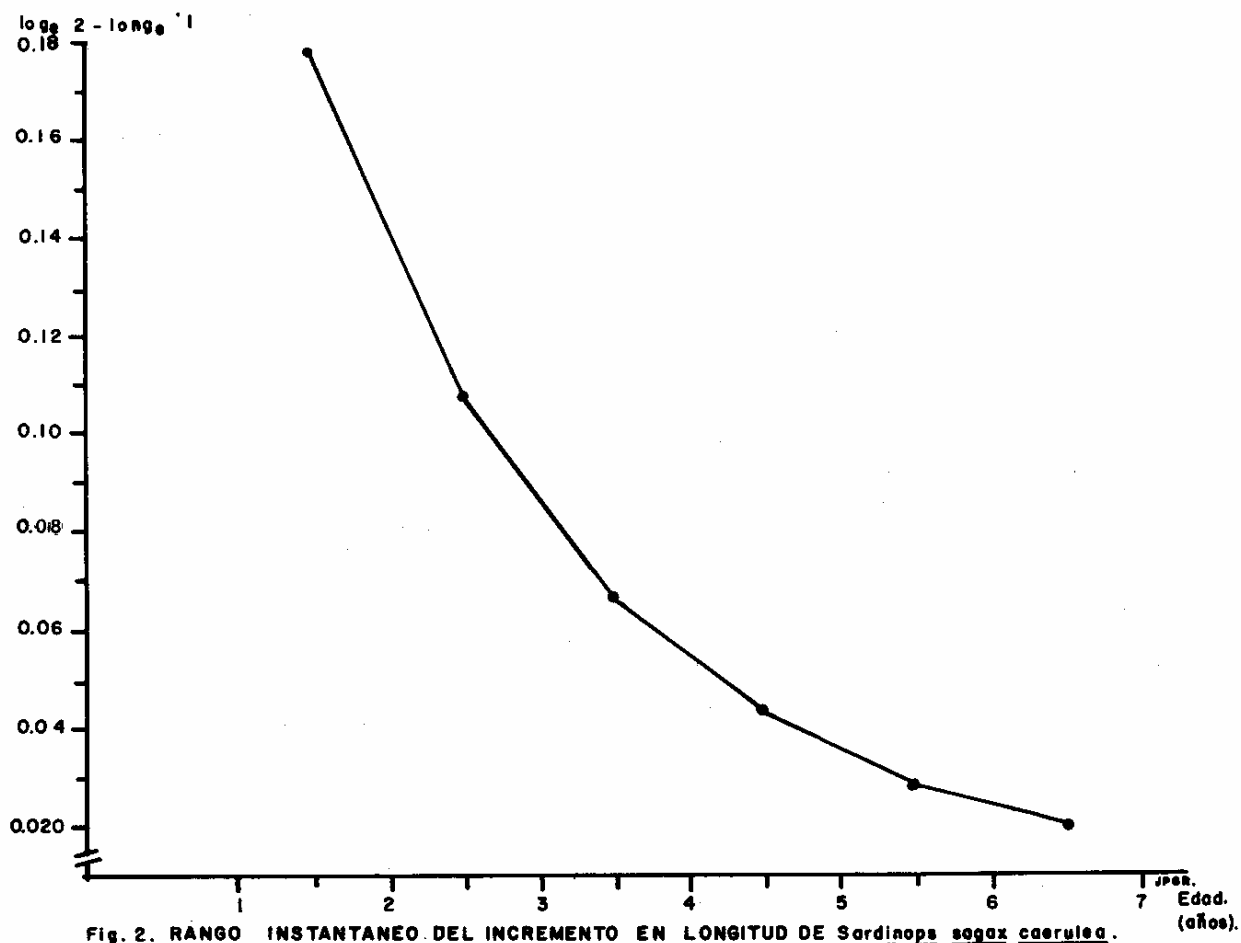
Mediante la lectura de escamas, se obtuvieron los valores L_{∞} , k y t_0 , por medio del método de Tomlinson y Abramson. Al respecto puede proponerse como ecuación del crecimiento en longitud de los machos de *Sardinops sagax caerulea* la forma siguiente:

$$l_t = 192.4 [1 - e^{-0.359(t+1.7162)}]$$

Las longitudes teóricas que se presentan en las diferentes edades se muestran en la tabla 5.

TABLA 5. LONGITUDES TEORICAS PARA LOS MACHOS DE LA SARDINA MONTERREY, *Sardinops sagax caerulea*, A DIFERENTES EDADES.

EDAD (años)	Valores observados (mm)	Valores calculados (mm)
1	118.0	119.84
2	145.6	141.72
3	157.0	157.01
4	165.6	167.68
5	173.1	175.13
6	180.2	180.34
7	186.2	183.98



Crecimiento en las hembras de *Sardinops sagax caerulea*

La curva que mejor se ajusta a los valores observados corresponde 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 *Sardinops sagax caerulea* la forma siguiente:

$$l_t = 206.45 [1 - e^{-0.3382(t+1.69)}]$$

En la tabla 6 se muestran las longitudes teóricas a diferentes edades.

Diferencias del crecimiento entre sexos

Con respecto a este tema se observa que el valor de k es mucho más elevado en los machos que en las hembras; los primeros, alcanzan más rápido una talla cercana a L_{∞}

TABLA 6. LONGITUDES TEORICAS PARA LAS HEMBRAS DE LA SARDINA MONTERREY, *Sardinops sagax caerulea*, A DIFERENTES EDADES.

EDAD (años)	Valores observados (mm)	Valores calculados (mm)
1	122.0	123.33
2	150.9	147.18
3	163.9	164.20
4	174.9	176.31
5	182.9	184.96
6	190.4	191.12
7	197.4	195.52

La figura 3 muestra las curvas teóricas del crecimiento en longitud para machos y hembras.

El crecimiento de machos y hembras muestra diferencias a partir del primer año de edad. Los incrementos en longitud de ambos sexos disminuyen con la edad. Dichos incrementos son los siguientes: entre el primero y el segundo año de edad, el valor del incremento para las hembras es de 23.85 mm y para los machos de 21.88 mm; entre el segundo y tercer año de edad es de 17.02 mm para las hembras y de 15.29 mm para los machos; entre el tercero y el cuarto año de edad es de 12.11 mm y de 10.67 mm; entre el cuarto y el quinto año es de 8.65 mm y de 7.45 mm; entre el quinto y sexto año es de 6.16 mm y 5.21 mm; entre el sexto y séptimo año de 4.40 mm y de 3.64 mm para hembras y machos, respectivamente.

Las diferencias de las tasas de crecimiento entre hembras y machos aumentan con la edad, siendo muy

probable que estén asociadas con la edad a la cual madura uno u otro sexo. Es posible que los machos maduren a una edad más temprana que las hembras, por lo que éstos deben emplear una mayor cantidad 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 longitud y peso se expresa en la siguiente ecuación:

$$W = 0.0000332 X^{2.86}$$

La tabla 7 muestra la relación entre peso y longitud.

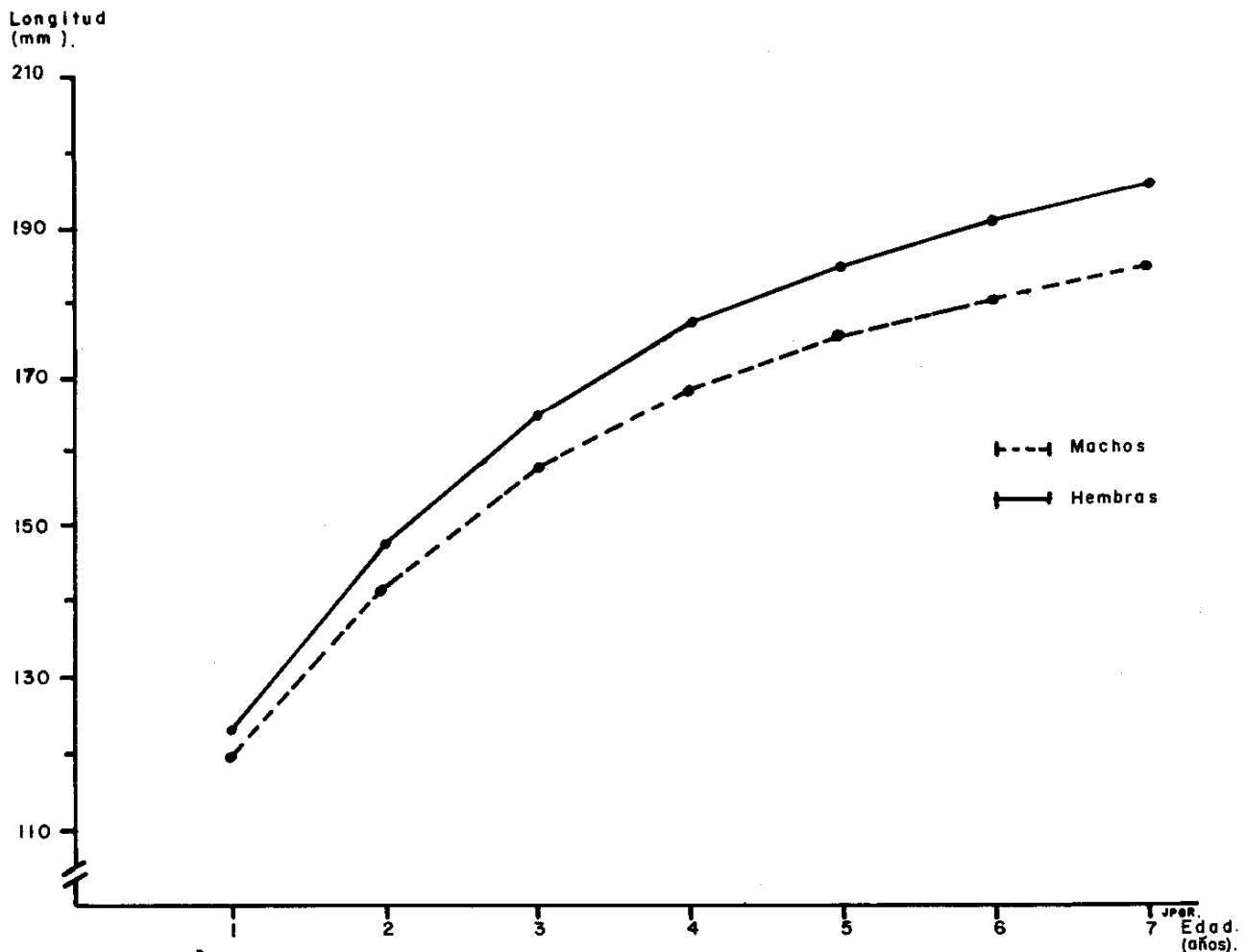


Fig. 3. DIFERENCIAS DEL CRECIMIENTO ENTRE SEXOS DE *Sardinops sagax caerulea*.

TABLA 7. RELACION PESO-LONGITUD.

CLASES DE TALLAS (mm)	PESO ENTERO(g)
130	36.91
135	41.11
140	45.62
145	50.44
150	55.57
155	61.04
160	66.84
165	72.98
170	79.49
175	86.36
180	93.61
185	101.24
190	109.26
195	117.70

La figura 4 muestra la recta de regresión que relaciona al logaritmo del peso y al logaritmo de la longitud.

Peso a cada edad

De acuerdo con la relación entre talla y peso se obtiene, a partir de los datos de crecimiento en longitud, los pesos a cada edad.

La tabla 8 muestra el crecimiento en peso absoluto y los valores en peso relativo.

Crecimiento teórico en peso

La ecuación del crecimiento en peso es la siguiente:

$$W_t = 122.82 [1 - e^{-0.3612(t+1.6324)}]^{2.86}$$

Con esta ecuación, se obtuvieron los pesos teóricos para diferentes edades de *Sardinops sagax caerulea* (Tabla 8, fig. 5)

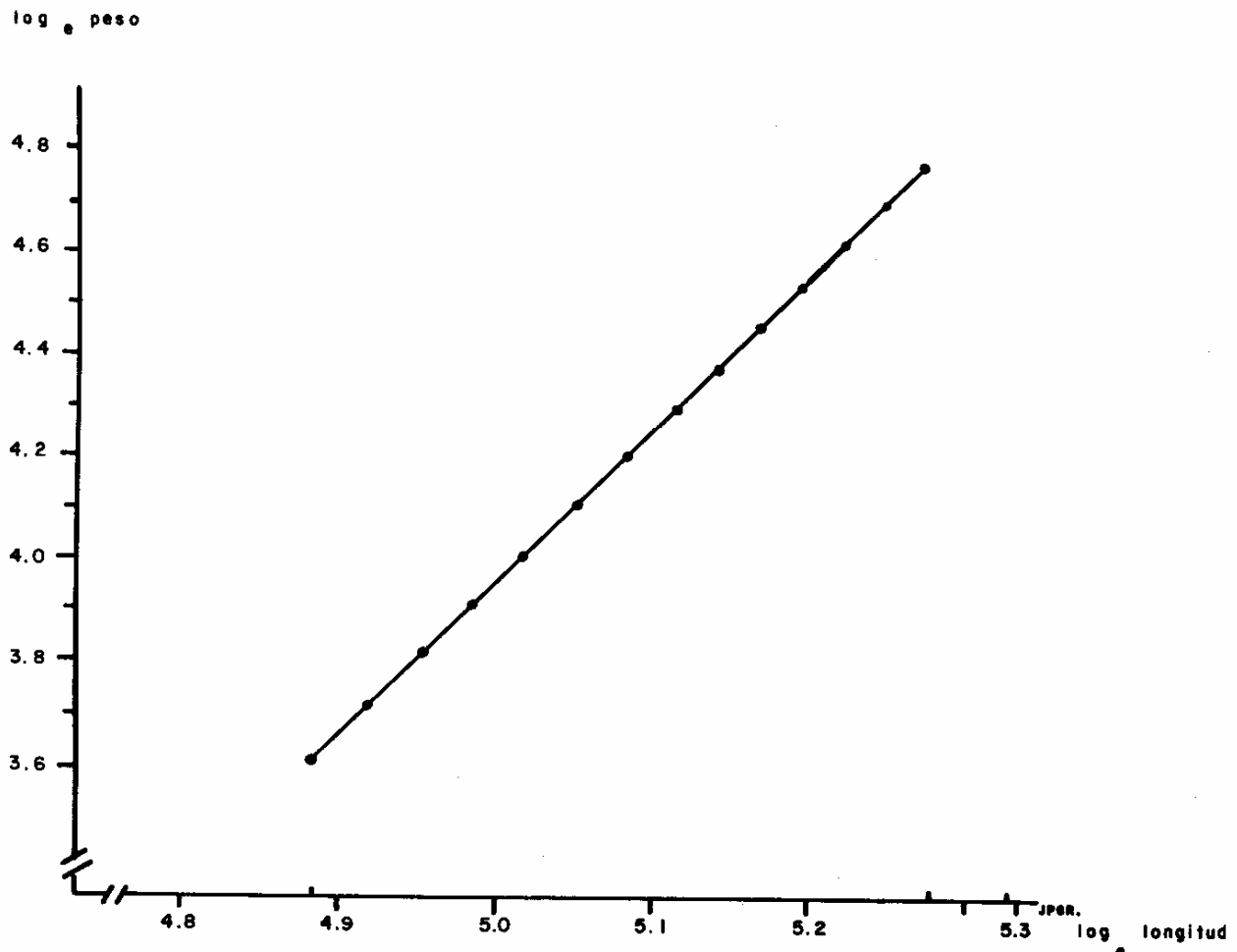


Fig. 4. RELACION LOGARITMO DEL PESO Y LOGARITMO DE LA LONGITUD DE *Sardinops sagax caerulea*.

TABLA 8. CRECIMIENTO EN PESO ABSOLUTO Y RELATIVO DE LA SARDINA MONTERREY *Sardinops sagax caerulea*.

Edad (años)	Longitud (mm)	Peso absoluto (g)	Peso relativo (g)
1	121.45	30.37	
2	144.64	50.10	0.3627
3	160.80	67.78	0.3022
4	172.06	82.26	0.1936
5	179.91	93.45	0.1275
6	185.38	101.81	0.0857
7	189.19	107.90	0.0581

Edad límite o longevidad

La longevidad encontrada para la sardina monterrey, *Sardinops sagax caerulea*, es de 9.84 años. Los valores de la longevidad hallados para las hembras y los machos son de 10.55 años y 9.98 años, respectivamente. Por ello, se supone 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 esta especie es de 0.3045.

Los valores de M para las hembras y los machos son de 0.2811 y 0.3002, respectivamente. Se observa que los machos presentan una tasa de crecimiento mayor que las hembras, llegando más rápidamente a un valor cercano a la edad promedio de muerte y, en consecuencia, a una tasa de mortalidad natural más alta.

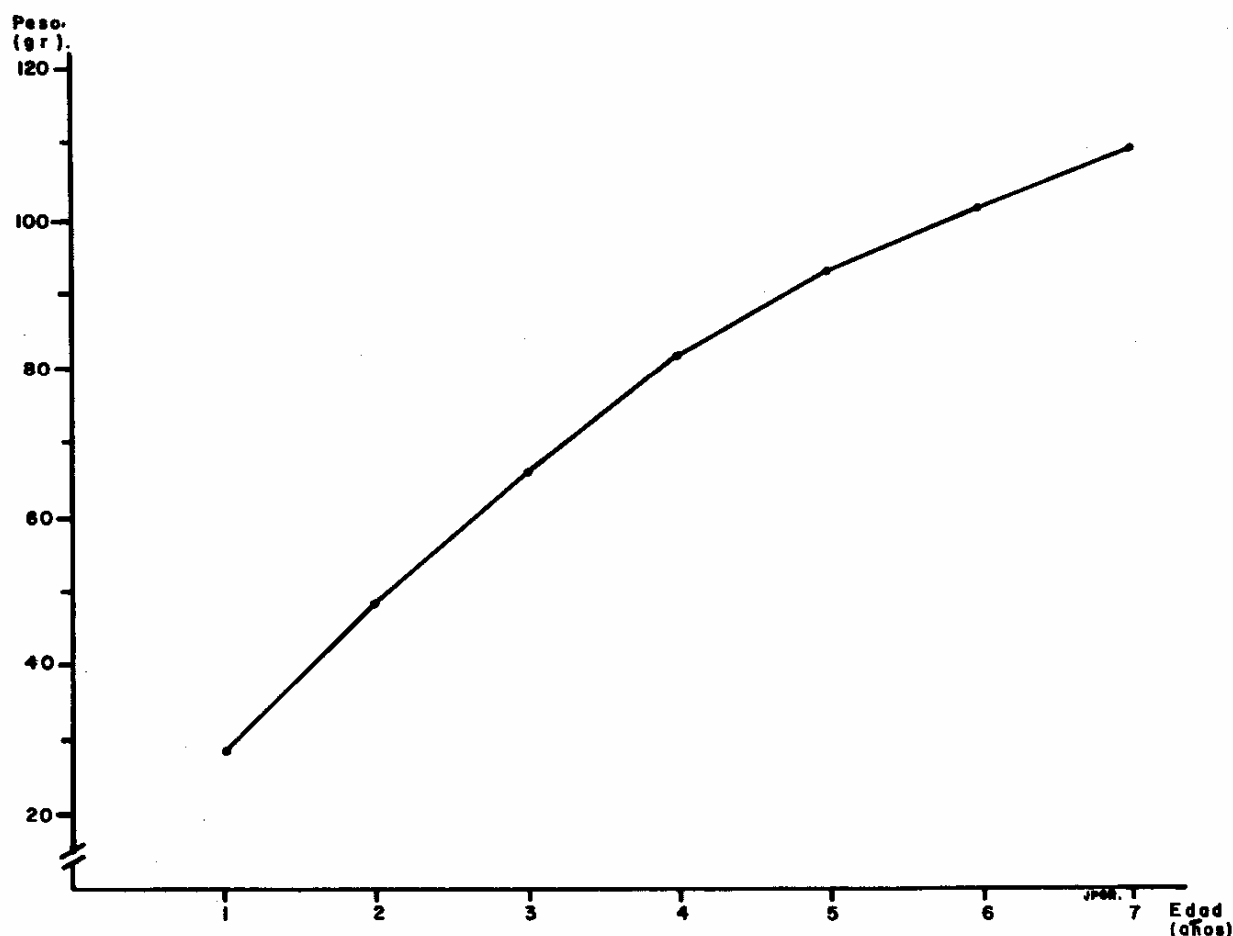


Fig. 5. CURVA TEORICA DEL CRECIMIENTO EN PESO DE *Sardinops sagax caerulea*.

CONCLUSIONES

El análisis de los anillos de crecimiento de la sardina monterrey, *Sardinops sagax caerulea*, hizo posible la identificación de siete grupos de edad.

La curva teórica del crecimiento que mejor ajusta a los valores observados a través de la lectura de las escamas, es la obtenida por medio de la aplicación de la técnica de Tomlinson y Abramson (1961).

Los parámetros del crecimiento de la población son los siguientes:

Talla máxima	$L_{\infty} = 197.95 \text{ mm}$
Peso entero máximo	$W_{\infty} = 122.82 \text{ g}$
Coefficiente catabólico	$k = 0.3612$
Edad teórica a la longitud cero (t_0)	$= -1.6324$
Edad límite o longevidad ($A_{(0.95)}$)	$= 9.84 \text{ años}$
Mortalidad natural (M)	$= 0.3045$

Durante el primer año de vida ocurre el periodo de mayor crecimiento lineal; a partir de dicha edad, la velocidad de crecimiento decrece considerablemente.

El crecimiento de las hembras, a partir del primer año de vida, es mayor que el de los machos de esa misma edad. Dicha diferencia se incrementa con la edad.

Los parámetros por sexos son los siguientes:

MACHOS	HEMBRAS
$L_{\infty} = 192.4 \text{ mm}$	$L_{\infty} = 206.45 \text{ mm}$
$k = 0.359$	$k = 0.3382$
$t_0 = -1.7162$	$t_0 = -1.6900$
$A_{(0.95)} = 9.98 \text{ años}$	$A_{(0.95)} = 10.55 \text{ años}$
$M = 0.3002$	$M = 0.2811$

El valor de k es mucho menor en las hembras que en los machos, por lo que éstos tardan más en alcanzar una talla cercana a L_{∞} ; presentan una mayor longevidad y por consiguiente una menor mortalidad natural.

La relación peso-longitud es:

$$W = 0.0000332 X^{2.86}$$

LITERATURA CITADA

- ALLEN, K.R., 1966. A method of fitting growth curves of the von Bertalanffy type to observed data. J. Fish. Res. Bd. Canadá, 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(I): 93-101
- _____, 1960. Temperature, growth and mortality - The Pacific cockle. J. Conseil, 26(I): 177-214
- _____, 1962. Growth equations with metabolic parameters. J. Conseil, 27(3): 270-286
- TOMLINSON, P.K., y 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