

**EDAD OPTIMA DE CAPTURA SEGUN EL METODO DE ALLEN  
Y PROPUESTA DE TALLA MINIMA LEGAL PARA LA  
ANCHOVETA NORTEÑA *Engraulis mordax* GIRARD, 1856**

**OPTIMUM AGE OF CATCH ACCORDING TO THE ALLEN METHOD  
AND PROPOSAL FOR A MINIMUM LEGAL SIZE FOR THE  
NORTHERN ANCHOVY *Engraulis mordax* GIRARD, 1856**

Germán González-Dávila\*

Instituto Nacional de la Pesca  
Ensenada, Baja California, México

\* Domicilio actual: Institut des Sciences de l'Evolution, Université Montpellier II,  
Place Eugène Bataillon, 34060 Montpellier Cedex, Francia.

González-Davila, G. (1990). Edad óptima de captura según el método de Allen y propuesta de talla mínima legal para la anchoveta norteña *Engraulis mordax* Girard, 1856. Optimum age of catch according to the Allen method and proposal for a minimum legal size for the northern anchovy *Engraulis mordax* Girard, 1856. *Ciencias Marinas*, 16(1): 129-153.

**RESUMEN**

Con base en datos del periodo 1975-1987 de pesos promedio a cada edad, en las capturas de la pesquería mexicana de anchoveta norteña *Engraulis mordax*, se construye una curva de crecimiento en peso cuyo valor en el origen es  $W_0$  (peso promedio de los individuos al nacer), para lo cual se desarrolla un procedimiento (homólogo al de López-Veiga para tallas) para la estimación de los parámetros  $w_{\infty}$  y  $k$ . Con ésta y con la curva de supervivencia, se utiliza el método de Allen para la construcción de la curva de producción de biomasa y para la identificación de la edad óptima de captura. Se construye una curva de crecimiento en talla con valor en el origen  $L_0$  (talla de las larvas al nacer), para identificar la talla promedio que corresponde a la edad óptima de captura. Se discute la situación de la subpoblación central de anchoveta frente a la pesquería, especialmente su actual estructura de edades y su potencial de renovación. Con fundamento en todo lo anterior, se propone talla mínima de captura = 105mm de longitud patrón o estándar.

**ABSTRACT**

Based on data from 1975 to 1985 of average weight at each age in the Mexican fishery catches of northern anchovy *Engraulis mordax*, a weight growth curve is plotted and its value in the origin is  $W_0$  (average weight of the individuals at birth), for which a procedure (similar to that of López-Veiga for sizes) is developed to estimate  $w_{\infty}$  and  $k$ . With the latter and with the survival curves, the Allen method is used to plot the biomass production curve and to identify the optimum age of catch. A curve of growth in length is plotted with a value in the origin of  $L_0$  (size of the larvae at birth), to identify the average size which corresponds to the optimum age of catch. The situation of the central subpopulation of the anchovy facing the fishery, especially its present age structure and its renovation potential, is discussed. Based on the above, a minimum catch size = 105mm of standard length is proposed.

## INTRODUCCION

En su conocido trabajo de 1957, Beverton y Holt presentan un "modelo simple para obtener el rendimiento anual en peso, de una pesquería en estado estacionario", utilizando parámetros de los modelos usuales de crecimiento y supervivencia. Este "modelo simple" expresa el rendimiento como función de dos variables: la edad de la cohorte y la intensidad de pesca. Es pues, una función definida de un plano  $(x, y)$  a los números reales  $(z)$ , por lo que su gráfica es tridimensional, sobre la cual las curvas "eumétricas" indican las mejores edades para iniciar captura a cada intensidad de pesca, o las mejores intensidades de esfuerzo pesquero para capturar cada edad.

Existe otro modelo más sencillo y más ampliamente aplicable pues no requiere parámetros de intensidad de pesca  $y$ , por tanto, tampoco que la pesquería se encuentre en estado "estacionario" (cuando la capacidad de renovación de biomasa de la población se mantiene constante y el volumen de las capturas es equivalente a dicha capacidad) (cfr. Margalef, 1977: 622 y 623); muy útil para estimar la edad óptima a la cual iniciar la explotación de una especie: es el método de Allen (1951), que conjuga también los modelos de crecimiento y de supervivencia.

Para obtener un mejor ajuste del modelo de von Bertalanffy a los datos de crecimiento en peso, se presenta un procedimiento similar al desarrollado por López-Veiga para crecimiento en talla (1979). Este último procedimiento es especialmente aplicable a especies de muy rápido crecimiento durante su primera etapa de vida, por lo que se ajusta muy bien al caso de la anchoveta norteña *Engraulis mordax* Girard, 1856.

En septiembre de 1987, gracias a las gestiones de la Coordinación Operativa de la Pesquería de Anchoveta (Secretaría de Pesca), se establecieron por primera vez normas regulatorias, después de 25 años de haberse iniciado el aprovechamiento comercial de esta especie, en México. La norma regulatoria central consiste en una talla mínima de captura: 100mm de longitud patrón o estándar. Cuando aparecen más del 30% de individuos menores que esa talla en la composición de las capturas, la zona de pesca donde ello

## INTRODUCTION

In their well-known work, Beverton and Holt (1957) present a simple model to obtain the annual yield in weight for a fishery in a steady state, using parameters from standard growth and survival models. This "simple model" gives the yield as a function of two variables: the age of the cohort and the fishing intensity. Hence, it is a function of an  $(x, y)$  plane to real numbers  $(z)$  and, therefore, its graph is three-dimensional, over which the "eumetric" curves indicate the optimum ages at first capture at each fishing intensity, or the best fishing effort intensities to catch each age.

Another simpler model exists which has wider applications since it does not require fishing intensity parameters or that the fishery be in a "steady" state (when the capacity of biomass renewal of the population remains constant and the volume of the catches is equivalent to this capacity) (cfr. Margalef, 1977: 622 and 623). This is Allen's (1951) method, which also combines the growth and survival models, and which is very useful in order to estimate the optimum age at which the exploitation of a species can begin.

To obtain a better fit of the von Bertalanffy model to the growth in weight data, a procedure is presented which is similar to that developed by López-Veiga (1979) for growth in size. The latter is particularly applicable to species of rapid growth during the first stage of life, which fits very well to the case of the northern anchovy *Engraulis mordax* Girard, 1856.

In September 1987, due to measures taken by the Coordinación Operativa de la Pesquería de Anchoveta (Secretaría de Pesca), regulations were introduced for the first time, 25 years after the commercial exploitation of this species had begun in Mexico. A minimum catch size of 100mm of standard length was established. When more than 30% of the anchovies in the catch composition are of a smaller size, the corresponding fishing area is temporarily closed until the situation changes.

However, there are doubts as to whether the legal size limit is the most appropriate in order to protect the reproductive capacity of

sucede se cierra transitoriamente, hasta en tanto tal situación se modifique.

Sin embargo, existen dudas respecto a si el límite de talla permisible es o no el más adecuado para proteger la capacidad reproductiva de la especie. En el presente trabajo se parte de la hipótesis de que es posible obtener mejores rendimientos a tallas mayores que 100mm, no obstante la alta mortalidad de la anchoveta. Además, desde el punto de vista reproductivo, se muestra que el margen de sobrevivencia a la pesca que resulta de la norma vigente, es insuficiente.

#### MATERIALES

La anchoveta norteña es una de las especies pesqueras mejor conocidas de América y del mundo. Es quizás la más importante especie forrajera de la Corriente de California (Ahlstrom, 1965; Baxter, 1967; Messersmith *et al.*, 1969; Squire, 1972), por lo que existe una inmensa cantidad de información disponible respecto de su ciclo de vida, de sus características y comportamiento poblacionales, así como del ambiente marino que habita. Muchísimos investigadores pesqueros, mexicanos y norteamericanos, han invertido parte o gran parte de sus esfuerzos, durante décadas, para desarrollar el conocimiento sobre *Engraulis mordax*. De modo que actualmente se dispone de bastante información respecto de sus formas específicas de crecer y sobrevivir.

Los parámetros de los modelos de crecimiento y de supervivencia pueden variar en el tiempo, y de una a otra cohorte. Ello en función de las condiciones ecológicas particulares que cada cohorte encuentra desde su nacimiento hasta su muerte. La anchoveta es particularmente sensible a la variación de dichas condiciones (Lasker, 1975; Hunter y Coyne, 1982). Por ello, y no sólo en razón de los diferentes procedimientos que se apliquen para su estimación, se reportan valores diversos para mortalidad natural  $M$ , mortalidad por pesca  $F$ , talla y peso máximos asintóticos  $L_{\infty}$  y  $W_{\infty}$ , y coeficientes  $k$  y  $t_0$ .

Valores de mortalidad natural  $M$  con frecuencia se reportan incluidos en valores de mortalidad total  $Z = M + F$ . Beverton, en 1963, reporta  $Z = 0.9$ ; en 1967, Bayliff reporta  $Z = 1.7$ ; en 1974, McCall presenta  $Z = 1.09$ , y

the species. This study is based on the hypothesis that it is possible to obtain better yields at sizes larger than 100mm, in spite of the high mortality rate of the anchovy. Furthermore, from a reproductive point of view, it can be seen that the margin of survival to fishing resulting from the current regulation is insufficient.

#### MATERIALS

The northern anchovy is one of the best known fishery species in America and throughout the world. It is probably the most abundant species in the California Current (Ahlstrom, 1965; Baxter, 1967; Messersmith *et al.*, 1969; Squire, 1972). Therefore, a lot of information is available regarding its life cycle, population behaviour and characteristics and the marine environment which it inhabits. For decades, many fishery scientists, both Mexican and American, have spent a good deal of time studying *Engraulis mordax* and there is quite a lot of information regarding its specific ways of growing and surviving.

The parameters of the growth and survival models can vary with time and from one cohort to another. This depends on the particular ecological conditions that each cohort finds from birth to death. The anchovy is particularly sensitive to variations in these conditions (Lasker, 1975; Hunter and Coyne, 1982). Therefore, and not only because of the different procedures which are applied for its estimation, several values are reported for natural mortality  $M$ , fishing mortality  $F$ , maximum asymptotic size and weight  $L_{\infty}$  and  $W_{\infty}$ , and coefficients  $k$  and  $t_0$ .

Values of natural mortality  $M$  are often reported included in values of total mortality  $Z = M + F$ . Beverton (1963) reports  $Z = 0.9$ ; Bayliff (1967) reports  $Z = 1.7$ ; McCall (1974) presents  $Z = 1.09$  and specifies  $M = 1.06$ ,  $F = 0.03$ ; Villamar *et al.* (1979) present values between 1.1 and 1.4 for  $Z$  and recently, Cota *et al.* (1986) present  $M = 1$ . McCall uses Chapman and Robson's (1960) method, recognized for its capacity to obtain unbiased values of  $M$ , as opposed to the one used by Beverton (catch curve) which underestimates the value for early ages and overestimates them for late ages. Bayliff offers a value corresponding to a period during which the

precisa  $M = 1.06$ ,  $F = 0.03$ ; Villamar *et al.* en 1979 presentan valores de  $Z$  entre 1.1 y 1.4; recientemente, Cota *et al.* (1986) presentan  $M = 1$ . McCall utiliza el método de Chapman y Robson (1960), reconocido por su capacidad para obtener valores muy insesgados de  $M$ , a diferencia del utilizado por Beverton (curva de captura) que subestima su valor para edades tempranas en tanto lo sobreestima para edades tardías. Bayliff ofrece un valor correspondiente a un período durante el cual las tasas de explotación se mantienen menores que 20% (González-Dávila, 1989), por lo que el valor de  $M$  debe corresponder a 1.28. Los valores de Villamar *et al.* (1979) corresponden a un período durante el que las tasas de explotación se incrementan de menos del 20% en 1972, a poco más del 40% en 1978 (González-Dávila, 1989), de lo que se sigue que los valores de  $M$  se encuentran entre 0.75 y 0.67.

Schaefer (1972) y Pauly (1980), entre otros, demuestran las altas tasas de mortalidad natural que sufren las especies masivas, especialmente los pelágicos menores. Esta es una condición típica de las especies altamente transferentes de energía en la cadena trófica (Margalef, 1977: 478 y ss., 602). Por consiguiente, la mortalidad natural  $M$  de la anchoveta norteña, no puede ser, en general, menor que 1.0.

En relación con los parámetros de crecimiento  $L_{\infty}$  y  $w_{\infty}$ , los valores obtenidos como tales, o bien los datos de referencia, son muy variables. La descripción original para la especie (Girard, 1856) reporta longitud estándar media de 165mm. Clark y Phillips (1952) reportan longitud patrón (o estándar) máxima promedio 172mm. Bayliff (1967) presenta valores de  $L_{\infty} = 164$ mm y de  $w_{\infty} = 21$ g. Debe considerarse que existen diferencias significativas en las dimensiones medias de los individuos entre cada una de las tres subpoblaciones de anchoveta norteña (Vrooman *et al.*, 1981); así, los individuos de la subpoblación más sureña -de Cabo San Lucas, B.C.S., a norte de la Bahía de San Sebastián Vizcaíno-, desarrollan tallas y pesos promedio a cada edad menores que los individuos de la subpoblación central -de Punta Baja, B.C., a la Bahía de San Francisco, California-, y éstos a su vez, menores que los individuos de la subpoblación norteña -del sur de la Bahía de Monterey, California, hasta las Islas Reina Carlota, C.B.,

exploitation rates remain below 20% (González-Dávila, 1989); hence, the value for  $M$  should be 1.28. The values of Villamar *et al.* (1979) correspond to a period during which the exploitation rates increased from less than 20% in 1972 to more than 40% in 1978 (González-Dávila, 1989), giving values of  $M$  between 0.75 and 0.67.

Schaefer (1972) and Pauly (1980), among others, show the high natural mortality rates which the large species undergo, especially the minor pelagics. This is typical of species characterized by high energy transfer in the trophic chain (Margalef, 1977: 478 and ss., 602). Therefore, the natural mortality  $M$  of the northern anchovy cannot be, in general, lower than 1.0.

Regarding the growth parameters  $L_{\infty}$  and  $w_{\infty}$ , the values obtained as such, or the reference data, are highly variable. A mean standard length of 165mm is reported in the original description of the species (Girard, 1856). Clark and Phillips (1952) report an average maximum standard length of 172mm. Bayliff (1967) gives values of  $L_{\infty} = 164$ mm and  $w_{\infty} = 21$ g. There are, however, significant differences in the mean sizes of the fish between each of the three subpopulations of the northern anchovy (Vrooman *et al.*, 1981). Hence, the anchovies of the southernmost population (from Cabo San Lucas, Baja California Sur, to the north of San Sebastián Vizcaíno Bay) develop mean weights and sizes at each age smaller than those of the anchovies of the central subpopulation (from Punta Baja, Baja California, to San Francisco Bay, California), and these in turn, smaller than those from the northern subpopulation (from the south of Monterey Bay, California, to the Queen Charlotte Islands, British Columbia). An increasing gradient therefore exists, in sizes and weights, from south to north. These differences, between the anchovies of the northern and central subpopulations, have been clearly presented by Mallicoate and Parrish (1981), based on nearly 20 years of work in the North American fishery.

The Mexican fishery exploits the central subpopulation, specifically the southern segment located from the maritime border with the United States to Punta Baja. Therefore,

Canadá. Existe pues un gradiente, creciente, de tallas y pesos, de sur a norte. Estas diferencias, entre los individuos de las subpoblaciones norteña y central, han sido claramente expuestos por Mallicoate y Parrish (1981), con base en poco menos de 20 años de muestreos de la pesquería norteamericana.

La pesquería mexicana explota la subpoblación central, concretamente su segmento sureño -ubicado de la frontera marítima con USA a Punta Baja-, por lo que las tallas y los pesos promedios a cada edad son comparativamente menores a aquéllos de la pesquería norteamericana y, en general, a los valores de indicadores reportados en la bibliografía. Luego de una fase de desarrollo de poco más de 10 años, la pesquería mexicana inicia su fase de crecimiento durante 1975 y la fase de estabilización a partir de 1983 (González-Dávila, 1989). Se observa una tendencia sostenida a la disminución de las tallas mínima, promedio y máxima, en las capturas comerciales: de 63, 118.9 y 158 mm durante 1975 (Villamar *et al.*, 1979) a 46, 95.9 y 146 mm durante 1987 (García *et al.*, 1988) (Tabla I); durante 1988, alrededor del 70% de los individuos capturados son juveniles menores de 100mm. En tanto, los pesos máximos registrados en la pesquería mexicana, se mantienen en alrededor de 21g durante el mismo período, con un registro máximo, extraordinario, de 26.2g en 1985 (Lo y Methot, en prensa) (Tabla II).

Con base en lo anterior, se ha seleccionado un valor de  $L_{\infty} = 150\text{mm}$ , que expresa tanto el hecho de dimensiones menores en relación con individuos de fracciones poblacionales más norteñas, como también la reacción de la población sujeta a muy altas tasas de explotación durante fines de los 70's y principios de los 80's (González-Dávila, 1989), modificando una propiedad intensiva (Margalef, 1977: 610-612) uno de cuyos resultados es la reducción relativa de los promedios de tallas a cada edad.

## MÉTODOS

El método de Allen (1951), consiste en construir un gráfico de supervivencia como función de los pesos promedio a cada edad. Se conjugan los modelos de crecimiento y de supervivencia. El producto de ambas fun-

the average sizes and weights at each age are comparatively less than those of the North American fishery and, in general, than the values of indicators reported in the literature. After having gone through a development phase of slightly more than ten years, the Mexican fishery began to grow in 1975 and stabilized in 1983 (González-Dávila, 1989). A steady decrease in the minimum, average and maximum sizes is observed in the commercial catches: from 63, 118.9 and 158 mm, respectively, during 1975 (Villamar *et al.*, 1979) to 46, 95.9 and 146 mm, respectively, during 1987 (García *et al.*, 1988) (Table I). During 1988, about 70% of the anchovies caught were juveniles smaller than 100mm. Hence, the maximum weights recorded in the Mexican fishery are of around 21g during the same period, with a maximum, extraordinary, record of 26.2g in 1985 (Lo and Methot, in press) (Table II).

Based on this, a value of  $L_{\infty} = 150\text{mm}$  has been chosen, which expresses both the fact of smaller sizes in relation to more northern population groups, as well as the reaction of the population subjected to very high exploitation rates at the end of the 1970's and beginning of the 1980's (González-Dávila, 1989), modifying an intensive property (Margalef, 1977: 610-612), one of the results being the relative reduction of the average sizes at each age.

## METHODS

Allen's (1951) method consists in plotting a survival graph as a function of the average weights at each age. Growth and survival models are combined. The product of both functions expresses the biomass which each cohort reaches at each age.

The original von Bertalanffy (1938) equation is used as a basis to describe the growth in weight, and not the solution proposed by Beverton and Holt (1957) for the same Pütter (1920) model based on physiological concepts:

ciones expresa la biomasa que alcanza cada cohorte a cada edad.

Para describir el crecimiento en peso se utiliza como base la ecuación original de von Bertalanffy (1938), y no la solución propuesta por Beverton y Holt (1957) para el mismo modelo de Pütter (1920) que éste propone con fundamento en conceptos fisiológicos:

$$\frac{dm}{dt} = Hs - Km$$

que es la tasa de crecimiento, donde H es la biomasa sintetizada por unidad de superficie, s es la superficie de absorción, k es la constante de destrucción de biomasa por unidad de masa, y m es la biomasa.

Von Bertalanffy resuelve la ecuación diferencial calculando la constante de integración en  $t = 0$ :

$$L_t = L_\infty - (L_\infty - L_0)e^{-kt} \quad (1)$$

Beverton y Holt proponen una solución alternativa calculando la constante de integración en  $t = t_0$ :

$$L_t = L_\infty \left( 1 - e^{-k(t-t_0)} \right) \quad (2)$$

ecuaciones de crecimiento en talla  $L_t$  en las que  $L_\infty$  es el límite asintótico (dependiente de los procesos anabólicos y catabólicos),  $L_0$  es la talla cuando  $t = 0$  (es decir, la talla de la larva en el momento del nacimiento o eclosión),  $k = K/3$  (parámetro dependiente del catabolismo) y,  $t_0$  es la "edad negativa" en el momento en que  $L_t = 0$  (cuyo valor absoluto, para mantener un significado biológico, debe corresponder a la duración de la embriogénesis).

La ecuación 2 es la más conocida y de uso corriente. Quizás debido a que constituye una simplificación, más aparente que real, pues evita un parámetro de claro significado biológico ( $L_0$ ) introduciendo otro considerado en muchos casos sólo factor de corrección o ajuste estadístico ( $t_0$ ). Por lo general  $t_0$  adquiere valores -negativos- de varias

$$\frac{dm}{dt} = Hs - Km$$

which is the growth rate, where H is the synthesized biomass per surface unit, s is the absorption surface, K is the biomass destruction constant per unit mass and m is the biomass.

Von Bertalanffy solves the differential equation by calculating the integration constant at  $t = 0$ :

Beverton and Holt propose an alternative solution calculating the integration constant at  $t = t_0$ :

These are equations of growth in size  $L_t$  where  $L_\infty$  is the asymptotic limit (which depends on anabolic and catabolic processes),  $L_0$  is the size when  $t = 0$  (that is, the size of the larva at the time of birth or hatching),  $k = K/3$  (parameter dependent on catabolism) and,  $t_0$  is the "negative age" when  $L_t = 0$  (whose absolute value, to keep a biological meaning, should correspond to the length of embryogenesis).

Equation 2 is better known and in current use, maybe because it is a simplification, more apparent than real, since it avoids a parameter of clear biological significance ( $L_0$ ) introducing another one often considered to be only a correction or statistical adjustment factor ( $t_0$ ). In general,  $t_0$  has -negative- values of several units of time. This is related

unidades de tiempo, lo que está relacionado con subestimaciones de los valores de  $k$ , de tal modo que la curva de crecimiento no describe adecuadamente el desarrollo a edades tempranas, especialmente el primer año de vida. Esta insuficiencia en el ajuste del modelo a la realidad, es especialmente importante en los casos de especies de corta vida y de acelerado crecimiento a edades tempranas. Por lo tanto, la expresión propuesta por Beverton y Holt no mejora el ajuste del modelo sino todo lo contrario; además, requiere la estimación de tres parámetros ( $L_\infty$ ,  $k$ ,  $t_0$ ) en lugar de solo dos ( $L_\infty$ ,  $k$ ), pues es bastante sencillo obtener la talla de las larvas al nacer ( $L_0$ ).

Para describir el crecimiento en peso, se propone una expresión similar a la de von Bertalanffy para crecimiento en talla, a partir de la ecuación 1. Considerando una forma de crecimiento proporcional o isométrica (Huxley, 1932; Teissier, 1937), se cumple que:

$$W_t = a(L_t)^3 \quad (3)$$

donde  $W_t$  es el crecimiento en peso proporcional al cubo de la talla,  $a$  es la constante de proporcionalidad.

Reemplazando la ecuación 1 en la ecuación 3, se tiene que:

$$\begin{aligned} W_t &= a(L_\infty - (L_\infty - L_0)e^{-kt})^3 \\ \Leftrightarrow W_t^r &= a^r(L_\infty - (L_\infty - L_0)e^{-kt}) \end{aligned}$$

donde:

$$r = \frac{1}{3}$$

se sigue que

para  $t = 0$

$$W_0^r = a^r L_0 \quad (5)$$

to underestimations of the values of  $k$ , in such a way that the growth curve does not adequately describe the development at early ages, especially the first year of life. This lack of an adequate fit of the model to reality is especially important in the cases of species with short lives and of rapid growth at early ages. Therefore, the expression proposed by Beverton and Holt does not improve the fit of the model but quite the opposite. Furthermore, it requires the estimation of three parameters ( $L_\infty$ ,  $k$ ,  $t_0$ ) instead of only two ( $L_\infty$ ,  $k$ ), since it is quite simple to obtain the size of the larvae at birth ( $L_0$ ).

To describe the growth in weight, an expression similar to that of von Bertalanffy's for growth in size is proposed, from equation 1. Considering a proportional or isometric form of growth (Huxley, 1932; Teissier, 1937):

where  $W_t$  is the growth in proportional weight to the cube of the size and  $a$  is the proportionality constant.

Substituting equation 1 in equation 3:

where:

$$r = \frac{1}{3}$$

hence,

$$W_t^r = a^r L_\infty - (a^r L_\infty - a^r L_0)e^{-kt} \quad (4)$$

for  $t = 0$

y en el límite cuando  $t \rightarrow \infty$

and in the limit when  $t \rightarrow \infty$

$$W_{\infty}^r = a^r L_{\infty} \quad (6)$$

sustituyendo 5 y 6 en 4:

substituting 5 and 6 in 4:

$$W_t^r = W_{\infty}^r - (W_{\infty}^r - W_0^r) e^{-kt}$$

$$\Leftrightarrow W_t = W_{\infty}^r - (W_{\infty}^r - W_0^r) e^{-kt} \quad (7)$$

que es una expresión de crecimiento en peso homóloga a la ecuación 1, original de von Bertalanffy (1938). El peso seco de las larvas al nacer es de 0.023g a 0.026g, del cual alrededor del 50% es vitelo (Hunter, 1977); considerando que más o menos el 90% es agua en la composición del peso del organismo (Margalef, 1977: 93; Lehninger, 1978<sup>4r</sup>: 39), se adopta el valor de  $W_0 = 0.1225g$ .

which is an expression of growth in weight similar to equation 1, von Bertalanffy's (1938) original. The dry weight of the larvae at birth is of 0.023g to 0.026g, of which around 50% is vitellus (Hunter, 1977). Considering that roughly 90% of the composition of the weight of the organism is water (Margalef, 1977: 93; Lehninger, 1978<sup>4r</sup>: 39), a value of  $W_0 = 0.1225g$  is adopted.

Para obtener los parámetros  $w$ -,  $k$ , e incluso  $t_0$  para crecimiento en peso, se desarrolla un procedimiento similar al propuesto por López-Veiga para crecimiento en talla (1979). Se parte de la ecuación propuesta por Beverton y Holt (1957), y que resulta de reemplazar la ecuación 2 en la ecuación 3:

To obtain the parameters  $w$ -,  $k$  and even  $t_0$  for growth in weight, a procedure similar to that proposed by López-Veiga (1979) for growth in size is developed. Starting with the equation proposed by Beverton and Holt (1957) which results from substituting equation 2 in equation 3:

$$W_t = W_{\infty} \left( 1 - e^{-k(t-t_0)} \right)^3 \quad (8)$$

extrayendo raíz cúbica, reordenando y aplicando logaritmos, la ecuación 8 puede reescribirse como:

extracting cubic root, reordering and applying logarithms, equation 8 can be rewritten as:

$$\ln(W_{\infty}^r - W_t^r) = \ln W_{\infty}^r + kt_0 - kt$$

la que para  $t = 0$ ,  $t = t_1$ , y  $t = t_1 + n$  es:

which for  $t = 0$ ,  $t = t_1$  and  $t = t_1 + n$  is:

$$\ln(W_{\infty}^r - W_0^r) = \ln W_{\infty}^r + kt_0 \quad (9)$$

$$\ln(W_{\infty}^r - W_{t_1}^r) = \ln W_{\infty}^r + kt_0 - kt_1 \quad (10)$$

$$\ln(W_{\infty}^r - W_{t_1+n}^r) = \ln W_{\infty}^r + kt_0 - k(t_1 + n) \quad (11)$$



sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas que se puede resolver sencillamente restando la ecuación 10 a la 9, y la ecuación 11 a la 10:

system of three equations with three unknowns which can be easily solved by subtracting equation 10 from 9, and equation 11 from 10:

$$1 n (W_{\infty}^r - W_0^r) - 1 n (W_{\infty}^r - W_{t_1}^r) = k t_1 \quad (12)$$

$$1 n (W_{\infty}^r - W_{t_1}^r) - 1 n (W_{\infty}^r - W_{t_1+n}^r) = k n \quad (13)$$

dividiendo la ecuación 12 entre la ecuación 13:

dividing equation 12 by 13:

$$\frac{\ln \left( \frac{W_{\infty}^r - W_0^r}{W_{\infty}^r - W_{t_1}^r} \right)}{\ln \left( \frac{W_{\infty}^r - W_{t_1}^r}{W_{\infty}^r - W_{t_1+n}^r} \right)} = \frac{t_1}{n}$$

reordenando y aplicando función exponencial:

reordering and applying an exponential function:

$$\frac{W_{\infty}^r - W_0^r}{W_{\infty}^r - W_{t_1}^r} = \left( \frac{W_{\infty}^r - W_{t_1}^r}{W_{\infty}^r - W_{t_1+n}^r} \right)^{(t_1/n)} \quad (14)$$

La ecuación 14 carece de solución explícita pero puede resolverse iterativamente. De otra forma, pueden seleccionarse pesos correspondientes a edades tales que  $t_1/n = 1$ , situación que ocurre cuando  $t_1 + n = 2t_1$ , y entonces:

Equation 14 does not have an explicit solution but can be solved iteratively. Otherwise, weights corresponding to ages can be selected such that  $t_1/n = 1$ , which occurs when  $t_1 + n = 2t_1$ , and then:

$$W_{\infty}^r = \left( \frac{W_{t_1}^{2r} - W_0^r W_{t_1+n}^r}{2W_{t_1}^r - W_{t_1+n}^r - W_0^r} \right)^3 \quad (15)$$

conocido el valor de  $w_{\infty}$ , con base en la ecuación 12 se tiene:

knowing the value of  $w_{\infty}$ , based on equation 12:

$$k = \frac{\ln \left( \frac{W_{\infty}^r - W_0^r}{W_{\infty}^r - W_{t_1}^r} \right)}{t_1} \quad (16)$$

y una vez conocido el valor de  $k$ , con base en la ecuación 9:

$$t_0 = \frac{\ln\left(\frac{w_\infty^r - w_0^r}{w_\infty^r}\right)}{k} \quad (17)$$

Este procedimiento se aplica a los pesos promedio a cada edad, que se observan en la composición de la pesquería mexicana durante el período 1975-1987 (Tabla II). Debido a la naturaleza estacional de los muestreos, los datos corresponden a individuos que recién cumplen la edad  $t$  o que se encuentran más o menos próximos a cumplir  $t+1$ , razón por la cual se ha atribuido a cada peso promedio la edad  $t+1/2$  correspondiente; especialmente, al peso que corresponde a los individuos de edad "cero", se ha atribuido la edad 0.75, pues dicho dato se considera sobreestimado en virtud de que son los individuos más grandes los más frecuentemente capturados a esta edad (cfr. Ricker, 1975: 60 ss), y en virtud de las características del desarrollo postlarval reportadas (Kramer y Zweifel, 1970; Lasker *et al.*, 1970; Hunter y Coyne, 1982).

Para describir la supervivencia se utiliza la conocida expresión:

$$\frac{N_t}{N_0} = e^{-Zt} \quad (18)$$

en la que  $N_t$  es el número de supervivientes a la edad  $t$ ,  $N_0$  es el número original de individuos, y  $Z$  es la mortalidad total (donde  $Z = F+M$ , es decir a la suma de la mortalidad por pesca  $F$  más la mortalidad natural  $M$ ). Esta ecuación resulta de integrar la ecuación diferencial  $dN/dt = -Zt$ , que es la tasa instantánea de pérdida en el número de individuos en función de la edad. Muchos autores han contribuido al planteamiento y uso de esta expresión (Edser, 1908; Heincke, 1913; Pearl y Parker, 1921; Ricker, 1948; Beverton y Holt, 1957; etc.), pero se reconoce a Baranov (1918) como el primero que explicita la relación entre la curva de supervivencia y la "curva de captura".

and once the value of  $k$  is known, based on equation 9:

This procedure is applied to the average weights at each age, observed in the composition of the Mexican fishery during 1975-1987 (Table II). Due to the seasonal nature of the samplings, the data correspond to fish that have just reached age  $t$  or are about to reach  $t+1$ . For this reason, the corresponding age  $t+1/2$  has been attributed to each average weight. In particular, an age of 0.75 has been attributed to the weight corresponding to fish of age "zero", since it is considered to be overestimated because the larger fish are the ones most frequently caught at this age (cfr. Ricker, 1975: 60 ss), and because of the characteristics of the postlarval development reported (Kramer and Zweifel, 1970; Lasker *et al.*, 1970; Hunter and Coyne, 1982).

The following known expression is used to describe the survival:

in which  $N_t$  is the number of survivors at age  $t$ ,  $N_0$  is the original number of fish and  $Z$  is the total mortality (where  $Z = F + M$ , i.e. the sum of fishing mortality  $F$  plus natural mortality  $M$ ). This equation results from integrating the differential equation  $dN/dt = -Zt$ , which is the instant loss rate in the number of fish as a function of age. Many authors have contributed to the formulation and use of this expression (Edser, 1908; Heincke, 1913; Pearl and Parker, 1921; Ricker, 1948; Beverton and Holt, 1957; etc.), but Baranov (1918) is recognized as being the first to clearly specify the relation between the survival curve and the "catch curve".

En la construcción de esta curva para su aplicación al modelo de Allen, se considera solamente la mortalidad natural para poder estimar el potencial natural que ofrece el recurso.

Finalmente, para construir el gráfico de Allen (1951) y obtener la curva de rendimientos a cada edad, se transforma la curva de supervivencia en función de la edad, a supervivencia en función del peso promedio a cada edad, de acuerdo a:

$$N_w: W_t \rightarrow N_t, \text{ para toda/for all } w \in \{W_0, W_\infty\} \quad (19)$$

en el gráfico correspondiente (Fig. 3) puede observarse que, bajo la curva es posible construir rectángulos de lados  $W_t$  y  $N_t$ ; existirá uno y sólo uno de área máxima, que puede encontrarse mediante la ecuación:

$$B_t = N_t W_t \quad (20)$$

$$= N_0 e^{-M t} \left[ W_\infty^r - (W_\infty^r - W_0^r) e^{-k t} \right]^3$$

que es la biomasa  $B_t$  como función del peso promedio que alcanzan los supervivientes a cada edad, definida como el producto de las ecuaciones 7 y 18 (considerando sólo la mortalidad natural).

## RESULTADOS

El mejor ajuste de la ecuación 7 a los datos (Tabla II) con base en la ecuación 14, se logra con la pareja

$$W_{t_1}, W_{t_1+n}$$

correspondientes a las edades  $t_1 = 1.5$  y  $t_1+n = 5.5$ . Considerar una edad menor que 5.5 como  $t_1+n$  produce valores subestimados de  $w_\infty$  y sobreestima  $k$  (curva punteada en la Fig. 1); en tanto que utilizar edades diferentes a 1.5 como  $t_1$  aleja los valores esperados de los observados, subestimándolos a edades menores y sobreestimándolos a edades mayores que ésta (curva delgada en la Fig. 1). Los valores estimados para los parámetros son:

In plotting this curve for its application to the Allen model, only natural mortality is considered in order to estimate the natural potential offered by this resource.

Finally, to plot Allen's (1951) graph and obtain the yield curve at each age, the survival curve as a function of age is transformed into survival as a function of the average weight at each age, according to:

In the corresponding graph (Fig. 3), it can be seen that under the curve it is possible to construct rectangles of sides  $W_t$  and  $N_t$ ; one and only one of maximum area will exist, which can be found through equation:

which is biomass  $B_t$  as a function of the average weight reached by the survivors at each age, defined as the product of equations 7 and 18 (considering only natural mortality).

## RESULTS

The best fit of equation 7 to the data (Table II) based on equation 14, is achieved with the pair

$$W_{t_1}, W_{t_1+n}$$

corresponding to the ages  $t_1 = 1.5$  and  $t_1+n = 5.5$ . To consider an age under 5.5 as  $t_1+n$  produces underestimated values of  $w_\infty$  and overestimates  $k$  (dotted curve in Fig. 1); whilst to use ages different to 1.5 as  $t_1$  separates the expected values from those observed, underestimating them to younger ages and overestimating them to older ages than this one (thin curve in Fig. 1). The estimated values for the parameters are:

$$W_{\infty} = 21.35890771, \quad k = 0.9172421062, \quad t_0 = -0.21502701$$

(curva de línea gruesa en la Fig. 1).

La Figura 2 ilustra la curva de supervivencia considerando una mortalidad natural  $M = 1$  y por cada 100 individuos como población original, de acuerdo a la ecuación 18. El gráfico de Allen de acuerdo a la definición 19 (Fig. 3), y la función  $B_t$  (ecuación 20, Fig. 4), describen las biomazas que suman los individuos supervivientes a cada edad según aumenta su peso corporal. Los valores obtenidos como edad óptima y peso individual promedio óptimo, cuando se produce la biomasa máxima, son:

$$t_{op} = 1.226, \quad W_{op} = 8.423, \quad B_{max} = 247.198.$$

Finalmente, para obtener la talla correspondiente a  $t_{op}$ , se construye la curva de crecimiento en talla de acuerdo a la ecuación 1, utilizando los valores  $L_{\infty} = 150\text{mm}$ ,  $k$  el mismo que el estimado para crecimiento en peso, y  $L_0 = 2.8\text{mm}$  que es la talla de las larvas recién nacidas (Kramer y Ahlstrom, 1968; Hunter, 1977). Los valores obtenidos para talla óptima y para  $t_0$  son:

$$L_{op} = 102.189, \quad t_0 = -0.0205431997.$$

Lo anterior se ilustra en la Figura 5.

Los valores de todas las curvas se indican en la Tabla III.

#### DISCUSION Y CONCLUSIONES

El rápido crecimiento que experimenta la anchoveta durante su primer año de vida, es una condición no expresada por los parámetros  $k$  y  $t_0$  que diversos autores reportan. Por ejemplo, Bayliff (1967) presenta  $k = 0.45$ ; Spratt (1975, citado por López-Veiga, 1979) presenta  $k = 0.299$  y  $t_0 = -1.7144$ . Y aplicando procedimientos (a los pasos de la Tabla II) análogos a los tradicionales para crecimiento en talla (Ford, 1933; Walford, 1946; Gulland, 1964), se obtiene un valor de  $k = 0.46522$ ; o bien (Beverton, 1954) valores de  $k$  entre 0.5088 y 0.3765, y valores de  $t_0$  entre

(thick curve in Fig. 1).

Figure 2 illustrates the survival curve considering a natural mortality  $M = 1$  and for every 100 individuals as original population, according to equation 18. The Allen graph according to definition 19 (Fig. 3) and the function  $B_t$  (equation 20, Fig. 4) describe the biomasses made up by the individual survivors at each age as their body weight increases. The values obtained as optimum age and optimum average individual weight, when the maximum biomass is produced, are:

Finally, to obtain the corresponding size for  $t_{op}$ , the growth in size curve is plotted according to equation 1, using the values  $L_{\infty} = 150\text{mm}$ ,  $k$  the same as that estimated for growth in weight and  $L_0 = 2.8\text{mm}$  which is the size of newly born larvae (Kramer and Ahlstrom, 1968; Hunter, 1977). The values obtained for optimum size and for  $t_0$  are:

The above is illustrated in Figure 5.

The values of all the curves are given in Table III.

#### DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The rapid growth of the anchovy during its first year of life is a condition which is not expressed by the parameters  $k$  and  $t_0$  reported by several authors. For example, Bayliff (1967) gives  $k = 0.45$ ; Spratt (1975, cited by López-Veiga, 1979) gives  $k = 0.299$  and  $t_0 = -1.7144$ . By applying procedures (to the steps in Table II) analogous to the traditional ones for growth in size (Ford, 1933; Walford, 1946; Gulland, 1964), a value of  $k = 0.46522$  is obtained; or (Beverton, 1954) values of  $k$  between 0.5088 and 0.3765, and values of  $t_0$  between -1.3 and -2.4 (these analogous pro-

**Tabla I.** Tallas mínima, promedio y máxima en las capturas de la pesquería mexicana, 1975-1987.

**Table I.** Minimum, average and maximum sizes in the catches of the Mexican fishery, 1975-1987.

	Mínima (mm)	Tallas Promedio (mm)	Máxima (mm)
1975	63	118.9	158
1976	58	101.9	143
1977	68	116.0	153
1978	58	99.7	143
1979	58	104.8	153
1980	56	101.9	140
1981	68	101.7	141
1982	54	106.5	140
1983	42	88.1	134
1984	45	86.7	136
1985	38	97.0	138
1986	42	91.0	139
1987	46	95.9	146
Promedios	53.5	100.8	143.4

Fuentes: 1975-1978 estimadas a partir de datos graficados en Villamar *et al.* (1979); 1979-1984 según García *et al.* (1986); 1985-1986 de A. Barrera CRIP-Ensenada (comunicación personal); 1987 estimada a partir de frecuencias por intervalo de talla, de García *et al.* (1988).

-1.3 y -2.4 (no se describen estos procedimientos análogos -analogía similar a la aquí desarrollada respecto del método de López-Veiga-, por carecer de otro interés que el de, en este caso, la comparación).

En cambio, las expresiones de crecimiento en peso (ecuación 7) y en talla (ecuación 1) que aquí se han utilizado, sí permiten una descripción adecuada de la rapidez característica con la que *Engraulis mordax* alcanza elevados porcentajes del peso y la talla que logrará durante toda su vida; concomitantemente, la utilización de un procedimiento homólogo al de López-Veiga (ecuaciones 14, 15, 16 y 17), permite una estimación mucho más realista de los parámetros  $w_{\infty}$ ,  $k$ , y  $t_0$ . Lo anterior es posible en virtud de que las ecuaciones 7, 14, 15, 16 y 17 contienen un valor de origen, real,  $w_{\infty}$ , a

cedures are not described -analogía similar to that developed here with respect to the López-Veiga method- due to the lack of another interest than that of, in this case, comparison).

On the other hand, the expressions of growth in weight (equation 7) and in size (equation 1) used herein, do allow an adequate description of the characteristic speed with which *Engraulis mordax* reaches the high percentages of weight and size which will be achieved during its life; concomitantly, the use of a similar procedure to that of López-Veiga (equations 14, 15, 16 and 17), allows a much more realistic estimation of the parameters  $w_{\infty}$ ,  $k$  and  $t_0$ . This is possible because equations 7, 14, 15, 16 and 17 have a value at origin  $w_{\infty}$  which is real, as opposed to equation 8 (of generalized use) which requires that  $t_0$  be

Tabla II. Pesos promedio a cada edad en las capturas de la pesquería mexicana según muestreos estacionales, 1975-1987.

Table II. Average weights at each age in the catches of the Mexican fishery according to seasonal samplings, 1975-1987.

	Edad					
	0 (gr)	1 (gr)	2 (gr)	3 (gr)	4 (gr)	5+ (gr)
1975	1.5	8.7	13.2	15.9	17.0	20.8
	7.0	10.8	13.9	15.5	16.8	20.8
	6.3	11.8	14.7	15.6	17.4	20.8
	6.0	11.3	14.1	15.2	17.9	20.8
1976	2.2	8.9	13.3	15.8	17.0	20.8
	5.0	10.0	13.5	15.6	16.8	20.8
	6.4	11.5	14.6	15.5	17.7	20.8
	7.7	11.3	14.3	15.6	17.5	20.8
1977	2.7	9.4	13.4	15.8	17.0	20.8
	5.0	10.0	13.5	15.6	16.8	20.8
	6.3	11.6	14.6	15.6	17.5	20.8
	6.5	11.5	14.2	15.7	17.7	20.8
1978	(2.45)	(7.85)	(11.875)	(14.2)	(16.225)	(19.55)
	5.2	10.0	13.5	15.5	16.7	20.8
	9.2	13.6	15.4	17.3	18.8	20.8
	10.4	14.6	16.3	19.2	18.0	20.8
1979	(2.45)	(7.85)	(11.875)	(14.2)	(16.225)	(19.55)
	6.9	11.6	12.8	15.0	17.2	20.7
	7.4	11.8	13.3	16.6	17.5	20.8
	7.1	12.0	13.6	16.9	17.9	20.8
1980	2.8	9.4	13.4	15.8	17.0	20.8
	5.4	10.2	13.9	15.7	17.0	20.8
	7.7	12.9	16.1	17.0	18.7	20.8
	8.5	13.0	16.0	17.7	18.8	20.8
1981	(2.45)	(7.85)	(11.875)	(14.2)	(16.225)	(19.55)
	7.4	10.7	12.6	14.3	15.4	20.8
	7.6	10.7	12.6	14.0	16.2	20.8
	8.4	11.4	13.3	14.7	14.9	20.8
1982	(2.45)	(7.85)	(11.875)	(14.2)	(16.225)	(19.55)
	5.3	12.4	14.3	15.9	16.5	21.5
	8.2	12.1	13.5	14.8	15.3	23.4
	7.3	11.9	13.5	14.7	15.4	22.5

Continúa...

Tabla II (Cont.)

	Edad					
	0 (gr)	1 (gr)	2 (gr)	3 (gr)	4 (gr)	5+ (gr)
1983	1.1	6.7	9.0	10.1	12.1	18.6
	5.3	7.1	8.7	9.1	17.6	21.0
	6.7	8.7	10.2	11.0	17.8	23.8
	3.3	7.1	8.0	9.7	13.9	22.5
1984	4.4	6.9	8.1	11.1	17.4	18.2
	5.6	8.6	13.7	16.0	17.5	23.7
	4.9	9.2	12.7	12.1	17.3	22.5
	5.0	8.5	12.0	15.2	15.8	22.5
1985	(2.45)	(7.85)	(11.875)	(14.2)	(16.225)	(19.55)
	5.1	14.1	15.7	18.3	18.7	20.6
	6.4	18.8	20.1	26.2	25.0	22.5
	7.1	18.5	20.9	22.3	22.6	22.5
1986	2.7	6.5	12.4	15.4	17.0	18.2
	4.7	8.4	13.8	16.4	16.6	20.2
	8.1	13.1	16.0	20.7	20.9	23.7
	5.3	12.9	15.5	19.7	18.6	22.5
1987	2.2	6.3	12.2	13.7	15.3	18.2
	5.3	10.3	10.5	16.7	19.8	21.3
	4.4	13.8	12.9	18.3	22.3	24.1
	7.1	13.2	12.6	13.1	14.4	21.5
Promedios	5.468	10.635	13.380	15.550	17.310	21.022

Los paréntesis indican que se trata de valores estacionales promedio calculados con base en los datos de años durante los cuales sí se realizó tal muestreo estacional. Se hace esto para evitar cierta sobrevaloración de los promedios totales por edad, ya que la naturaleza estacional de los muestreos ofrece cifras, en general, menores a principios de cada año.

Fuentes: Datos del Programa Anchoqueta del CRIP-Ensenada, Instituto Nacional de la Pesca, SEPES, México. Editados por Lo y Methot (en prensa, CalCOFI Rep.).

diferencia de la ecuación 8 (la de uso generalizado) que requiere estimar estadísticamente  $t_0$ . La misma diferencia se establece entre las ecuaciones 1 y 2.

Un buen ajuste al crecimiento en peso es indispensable para aplicar el método de Allen, sobretodo en los casos de pelágicos menores como la anchoqueta, entre los cuales una diferencia de sólo unos cuantos gramos o unos cuantos milímetros resulta por demás signi-

estimated statistically. The same difference is established between equations 1 and 2.

A good fit to the growth in weight is essential in order to apply the Allen method, especially in the case of minor pelagics such as the anchovy, among which a difference of only a few grams or a few millimetres is quite significant. Thus, that the optimum age of catch ( $t_0$ ) for the Mexican fishery of *Engraulis mordax* is above or very close to the first year

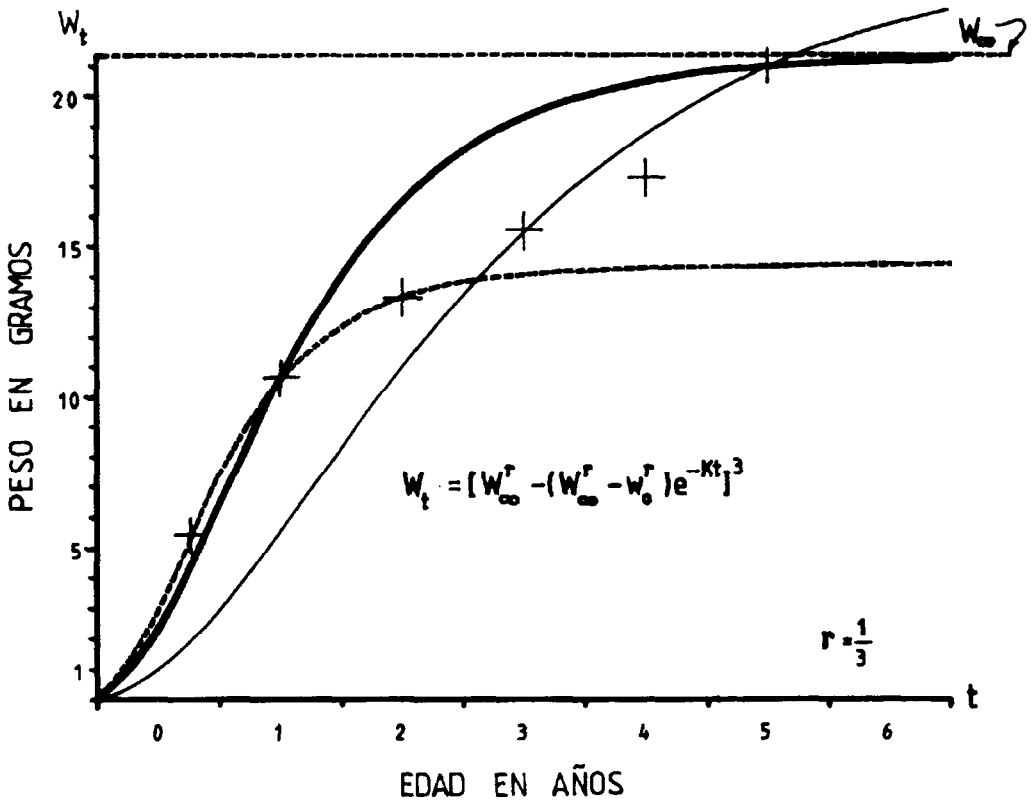


Figura 1. Crecimiento en peso: la curva de línea gruesa indica el ajuste obtenido, las curvas de líneas punteada y delgada ilustran los sesgos resultantes de utilizar otras parejas  $t_1, t_1 + n$ .  
 Figure 1. Growth in weight: the curve shown by a thick line gives the fit obtained and the curves shown by the dotted and thin lines give the slants obtained by using other pairs  $t_1, t_1 + n$ .

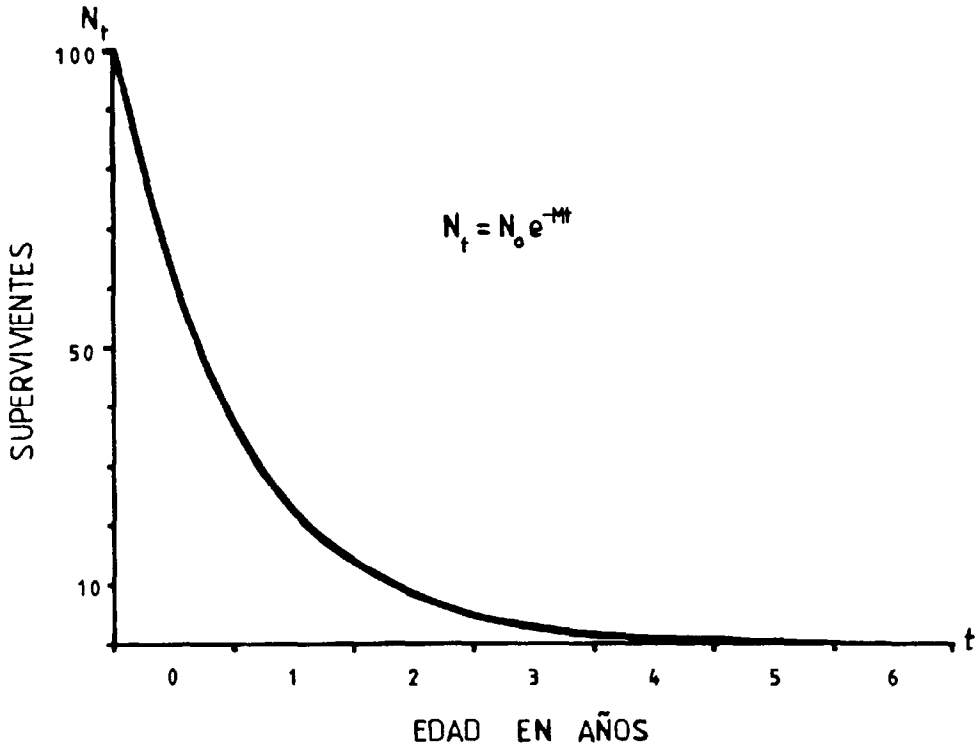
ficativa. Así, que la edad óptima de captura ( $t_{op}$ ) para la pesquería mexicana de *Engraulis mordax*, sea mayor que, pero muy cercana a, el primer año de vida, resulta completamente congruente con la forma específica de crecimiento y con la alta mortalidad natural de la especie.

Sin embargo, este criterio de optimización por sí solo no permite asegurar tasas de natalidad suficientes para la reposición de la biomasa poblacional. Cuando la anchoveta cumple un año de edad, alrededor del 25% maduran sexualmente para reproducirse; a los dos y tres años de edad el 50% maduran; sólo a partir de los cuatro años de vida el 100% lo hace (Clark y Phillips, 1952; Baxter, 1967;

of life, is completely congruent with the specific form of growth and with the high natural mortality of the species.

However, this optimization criterion by itself does not insure sufficiently high birth rates for the replenishment of the population biomass. Around 25% of the anchovies mature sexually in order to reproduce when they are one year old, 50% mature at two and three years of age and 100% are mature at four years (Clark and Phillips, 1952; Baxter, 1967; Hunter and Macewicz, 1985). The  $L_{op}$  size corresponding to optimum age, even though it is larger, is very close to the current minimum catch size in the Mexican fishery: 100mm of standard length (Table III). Thus, the present



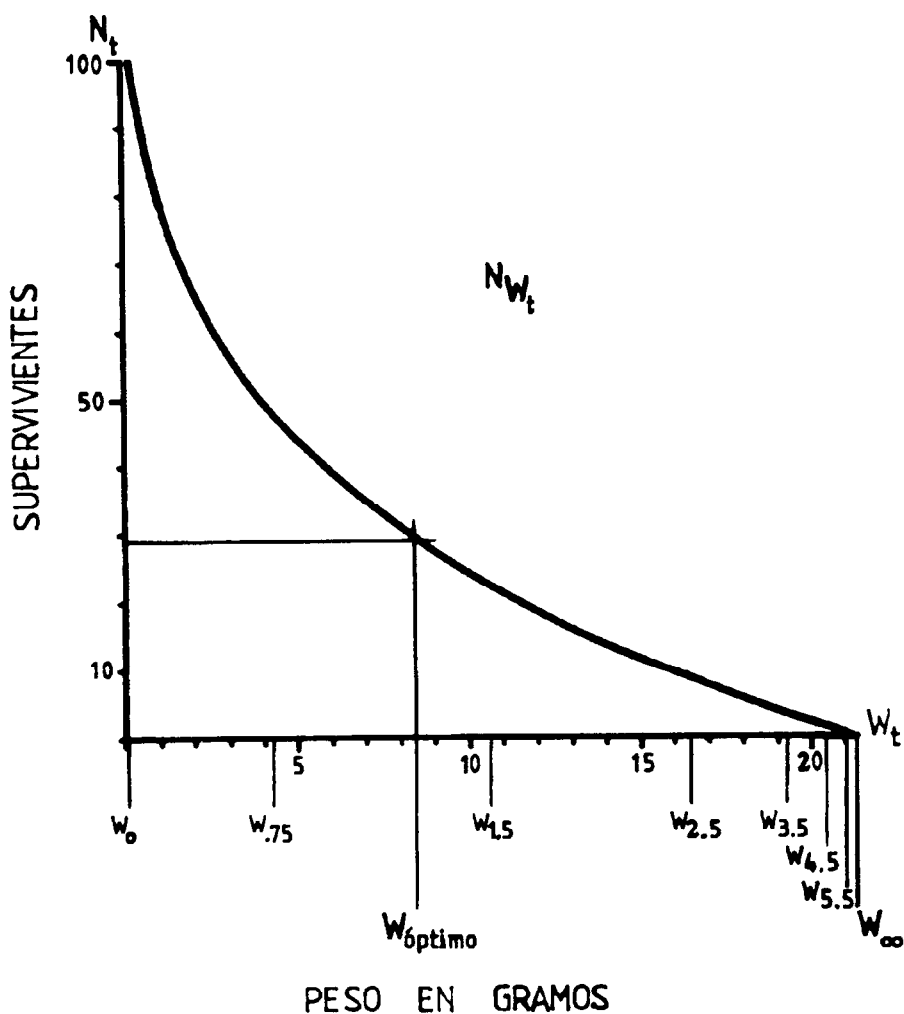


**Figura 2.** Supervivencia: por cada 100 individuos como población original  $N_0$ ,  $M = 1$ .  
**Figure 2.** Survival: for every 100 individuals as original population,  $N_0$ ,  $M = 1$ .

Hunter y Macewicz, 1985). La talla  $L_{Op}$  correspondiente a la edad óptima, aunque es mayor, es muy próxima a la vigente talla mínima de captura en la pesquería mexicana: 100mm de longitud patrón (Tabla III). De tal modo, la actual medida regulatoria es bastante adecuada en términos de rendimiento económico, al menos para el corto plazo. Sin embargo, a mediano plazo existen razones suficientes para suponer cierta disminución en la capacidad de renovación de la población y, por tanto, mayor fragilidad ante eventos oceanográficos destructivos. Y es que la explotación pesquera ha transformado la estructura de edades de la población, convirtiendo a las edades cero y uno las principales sostenedoras actuales de la pesquería y de la reproducción. Anteriormente, las edades dos y tres presentaban las mayores frecuencias de aparición en las capturas de la pesquería mexicana (Tabla IV).

regulation is quite adequate in terms of economic yield, at least on a short-term basis. However, in the long run, there are sufficient reasons to suppose a certain decrease in the renewal capacity of the population and, therefore, greater fragility in the presence of destructive oceanographic events. The fishery exploitation has transformed the age structure of the population, turning ages zero and one into the main supporters of the fishery and of the reproduction. Previously, ages two and three appeared with the highest frequency in the catches of the Mexican fishery (Table IV).

The minimum catch size regulation is applied by closing those fishing areas when and where more than 30% of the anchovies smaller than 100mm in standard length are found in the catches. This is equivalent to reducing the number of sexually mature one-year-old anchovies from 25% to 17.5%, without taking into account that most of the



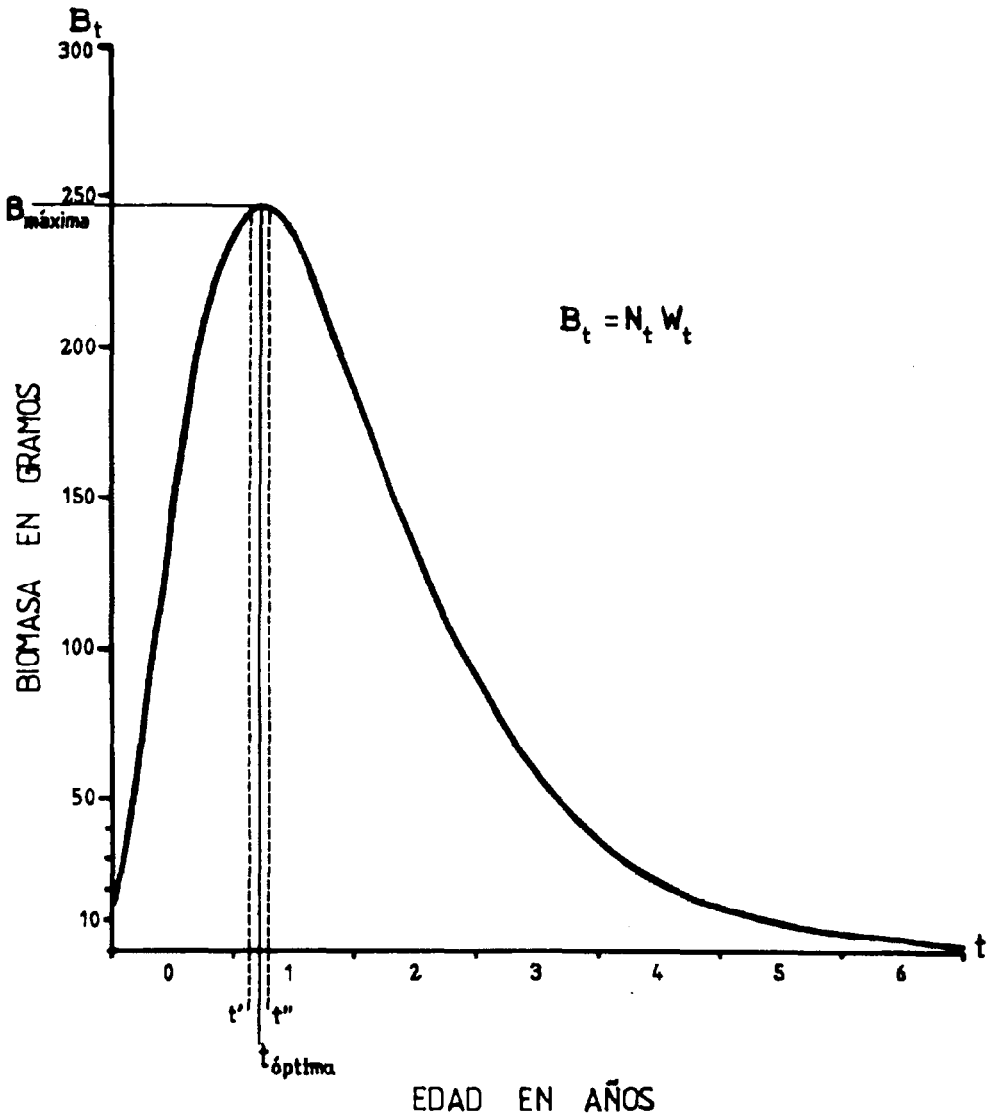
**Figura 3.** Gráfico de Allen: supervivientes como función de pesos promedio. Las áreas de los rectángulos de lados  $W_t$ ,  $N_t$ , que pueden construirse bajo la curva, representan la biomasa de los supervivientes a cada edad.

**Figure 3.** Allen graph: survivors as a function of average weights. The areas of the rectangles of sides  $W_t$ ,  $N_t$ , which can be constructed under the curve, represent the biomass of the survivors at each age.

La norma de talla mínima de captura se aplica cerrando aquellas zonas de pesca en las que, y cuando, aparecen más del 30% de individuos menores de 100mm de longitud patrón en la composición de las capturas. Ello equivale a reducir el número de individuos sexualmente maduros de un año de edad, del 25% al 17.5%, sin considerar que la mayor

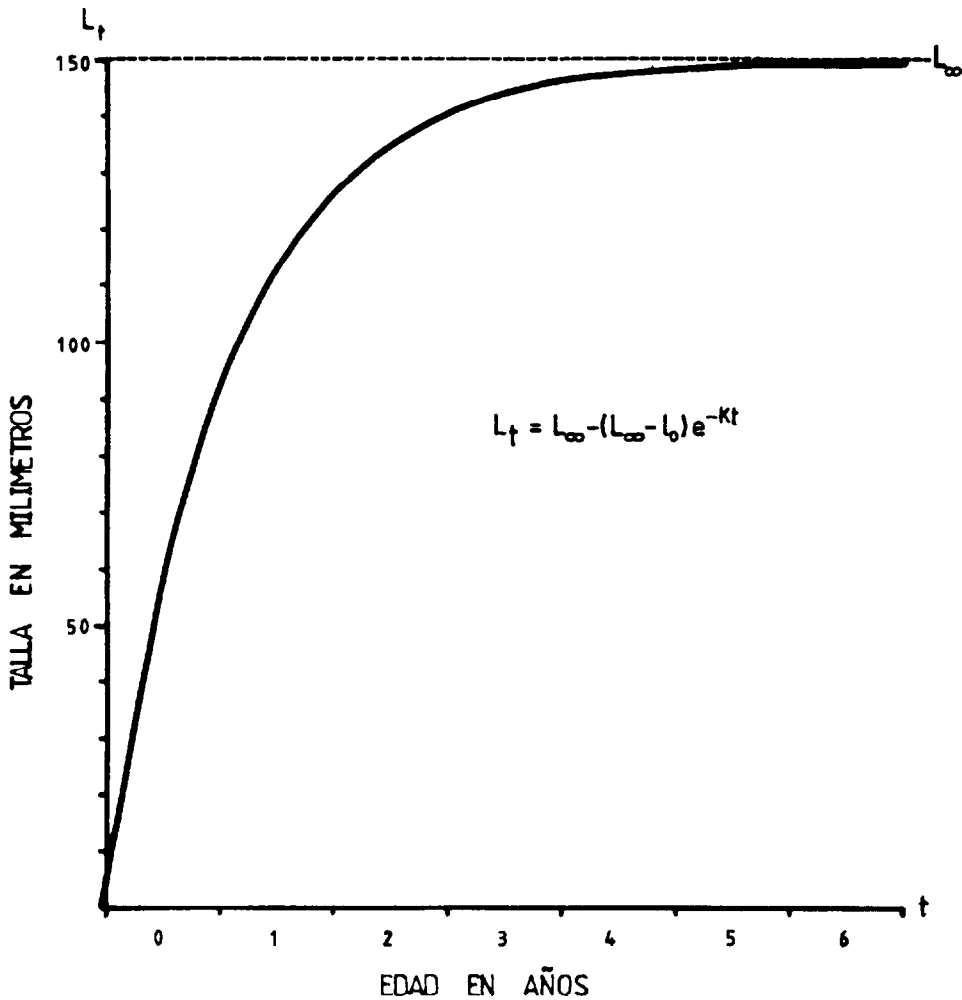
anchovies larger than 100mm and smaller than 126.5mm (size at two years of age) that can be legally caught, also show this small frequency of sexual maturity, frequency which decreases as their capture increases.

Due to a significant reduction in the availability of this resource in Mexican waters



**Figura 4.** Biomasa como función del peso promedio de los supervivientes a cada edad.  $t'$  es la edad a la que el individuo promedio ha desarrollado 100mm de longitud patrón, la biomasa que suman los supervivientes a esta edad es idéntica a la que suman los supervivientes a la edad  $t''$ , pero ya con 104.4mm de talla.

**Figure 4.** Biomass as a function of the average weight of the survivors at each age.  $t'$  is the age at which the average individual has developed 100mm of standard length. The biomass made up by the survivors at this age is identical to that made up by the survivors at age  $t''$ , but with a size of 104.4mm.



**Figura 5.** Crecimiento en talla. Alrededor del 60% de la talla que la anchoveta puede alcanzar en toda su vida, la desarrolla durante su primer año de vida.

**Figure 5.** Growth in size. Around 60% of the size that the anchovy can reach is developed during the first year of life.

parte de los individuos mayores de 100mm y menores de 126.5mm (talla a los 2 años de edad) que sí pueden ser capturados legalmente, presentan por igual esta pequeña frecuencia de madurez sexual, frecuencia que disminuye conforme aumentan sus capturas.

Debido a que la disponibilidad del recurso en aguas mexicanas se ha reducido significativamente durante los últimos siete

over the past seven years, especially since the "El Niño" of 1983, the exploitation rates have also decreased (González-Dávila, 1989), which explains that, despite what was said in the previous two paragraphs (and because of favourable oceanographic conditions), the biomass of the central northern anchovy population has relatively recovered (Methot, 1986; Methot and Lo, 1987; Lo and Methot, in press). The volume of the catches in the 1988

**Tabla III.** Crecimiento en peso, supervivencia, biomasa y crecimiento en talla.  
**Table III.** Growth in weight, survival, biomass and growth in size.

t	$W_t$	$N_t$	$B_t$	$L_t$
0	0.1225	100	12.250	2.8
0.5	2.377	60.653	144.168	56.947
0.75	4.328	47.237	204.435	76.015
1	6.479	36.788	238.354	91.176
1.177	8.008	30.820	246.810	99.991 <u>1/</u>
1.226 <u>2/</u>	8.423	29.346	247.198 <u>3/</u>	102.189
1.277	8.850	27.887	246.814 <u>4/</u>	104.374
1.292	8.975	27.472	246.558	104.998 <u>5/</u>
1.5	10.635	22.313	237.299	112.814
1.630	11.601	19.593	227.304	116.994 <u>6/</u>
2	14.011	13.534	189.620	126.493
2.5	16.476	8.208	135.244	135.140
3	18.174	4.979	90.485	140.606
3.5	19.306	3.020	58.300	144.062
4	20.045	1.832	36.714	146.246
4.5	20.522	1.111	22.798	147.627
5	20.827	.674	14.033	148.500
5.5	21.022	.409	8.591	149.052
6	21.145	.248	5.241	149.401
6.5	21.224	.150	3.191	149.621
7	21.273	.091	1.940	149.760
$\infty$	21.35890771	0	0	150

1/ Talla mínima de captura vigente, corresponde a  $t'$ .

2/ Edad óptima.

3/ Biomasa máxima.

4/ Biomasa equivalente a la que corresponde para talla mínima en vigor, pero obtenida a talla mayor correspondiente a  $t''$ .

5/ Propuesta de talla mínima de captura.

6/ Talla propuesta como mínima por Villamar *et al.* (1979).

años, sobretudo a partir del "Niño" de 1983, las tasas de explotación han disminuido también (González-Dávila, 1989), lo que explica que no obstante lo expuesto en los dos párrafos anteriores (y gracias a condiciones oceanográficas favorables también), la biomasa de la población central de anchoveta norteña se haya recuperado relativamente (Methot, 1986; Methot y Lo, 1987; Lo y Methot, en prensa). El volumen de las capturas de la

season has been moderate (101 mil mt), equivalent to an exploitation rate of only 10% (González-Dávila, 1989). This maintains a favourable situation for the recovery of the central population. On the contrary, and despite the minimum catch size regulation, around 70% of the anchovies caught during 1988 have been smaller than 100mm, most of them around 85mm of standard length. These never matured and never reproduced.

**Tabla IV.** Composición por edades en las capturas de la pesquería mexicana, 1975-1987.  
**Table IV.** Composition by ages of the catches of the Mexican fishery, 1975-1987.

	Edad					
	0 (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5+ (%)
1975 a	3.25	12.94	24.74	40.97	14.93	3.16
1976 b	29.50	12.30	17.30	27.40	12.30	1.20
1977 b	11.90	28.60	16.80	23.50	15.70	3.50
1978 c	30.18	12.05	51.04	3.06	2.39	1.27
1979	13.09	64.54	15.89	6.06	0.36	0.06
1980	17.15	38.54	39.46	3.92	0.93	0.00
1981 a	7.58	52.02	27.67	11.82	0.87	0.04
1982	24.88	25.53	37.05	10.69	1.81	0.03
1983	20.34	70.51	7.62	1.54	0.00	0.00
1984	47.70	40.77	10.52	0.81	0.20	0.00
1985	42.84	27.66	22.01	6.56	0.87	0.07
1986	30.62	56.29	9.01	3.10	0.86	0.13
1987	34.43	38.15	20.32	5.48	1.03	0.60

a: Con base en muestreos de los cuatro trimestres del año.

b: Con base en muestreos del último trimestre del año.

c: A partir de este año con base en muestreos de los tres últimos trimestres.

Fuentes: 1975-1985 Methot (1986); 1986 Methot y Lo (1987); 1987 Lo y Methot (en prensa).

temporada 1988 ha sido moderado (101 mil tm), equivalente a una tasa de explotación de sólo 10% (González-Dávila, 1989), lo que mantiene una situación favorable para la recuperación de la población central; por el contrario, y a pesar de la norma de talla mínima de captura, alrededor del 70% de los individuos capturados durante 1988 han sido menores de 100mm, la mayor parte de ellos de alrededor de 85mm de longitud patrón: estos jamás maduraron y jamás se reprodujeron.

Tanto por las características reproductivas de la especie, como por los problemas prácticos para administrar la norma reguladora de talla mínima, la actual resulta insuficiente desde el punto de vista preventivo para asegurar en el futuro rendimientos sostenibles de no menos de 150 mil tm por temporada (lo que no ha sucedido más que una sola vez desde 1983). Hace casi diez años un grupo de investigadores pesqueros mexicanos propusieron 117mm como talla mínima de captura (Villamar *et al.*, 1979); sin embargo, esta talla

Because of the reproductive characteristics of this species and the practical problems involved in managing the minimum size regulation, the current one is insufficient from a preventive point of view in order to ensure future yields of not less than 150 mil mt per season (which has not occurred more than once since 1983). Nearly ten years ago, a group of Mexican fishery scientists proposed a minimum catch size of 117mm (Villamar *et al.*, 1979). However this size is excessive, since in spite of the expected yield according to equation 20 it is only 8% less than the maximum (Table III). The occurrence of more than 30% of anchovies smaller than 117mm is so frequent because the average sizes in the catches are around 100.8mm (Table I). Therefore, the adoption of this measure would be equivalent to a closed season.

It is necessary to reinforce the regulation which favours the survival of the juveniles and individuals which are just one year old so that they can reproduce at least once.

resulta excesiva, pues no obstante los rendimientos esperados de acuerdo a la ecuación 20 son sólo 8% menores que el máximo (Tabla III), la aparición de más del 30% de individuos menores de 117mm es tan frecuente en virtud de que las tallas promedio en las capturas se sitúan alrededor de los 100.8mm (Tabla I), que adoptar esta medida equivale casi a veda total.

Lo que se requiere es fortalecer la medida regulatoria que tiene como objetivo propiciar que los juveniles e individuos que recién cumplen su primer año de vida, sobrevivan a la pesca para reproducirse al menos una vez. A la vista de la curva de biomasa (Fig. 4), puede observarse que el rendimiento que se obtiene con individuos de edad  $t'$  (de talla promedio 100mm), puede igualmente obtenerse con individuos de edad  $t''$  (de talla promedio 104.4mm) (Fig. 4, Tabla III); por lo que incrementar en esta proporción la talla mínima legal no tiene un efecto reductor en el volumen de las capturas, mientras que sí ofrece un mayor margen de supervivencia a los individuos que se reproducen por primera y quizás única vez en su vida, y se ajusta mejor a las posibilidades prácticas de la administración pesquera para la aplicación de una norma regulatoria de talla mínima, en una pesquería cerquera de pelágicos menores masivos.

Prácticamente, se propone que la talla mínima legal de captura se modifique a 105mm (ciento cinco milímetros) de longitud patrón o estándar.

#### LITERATURA CITADA

Ahlstrom, E.H. (1965). Kinds and abundance of fishes in the California Current region based on egg and larval surveys. CalCOFI Rep., Vol X: 31-52.

Allen, K.R. (1951). The Horokiwi Stream: a study of a trout population. N.Z. Mar. Dep. Fish. Res. Div. Bull. New Ser., 10: 231 p.

Baranov, F.I. (1918). On the question of the biological basis of fisheries. Nauchn. Issled. Ikhtiologicheskii Inst. Izv., 1: 81-128.

From the biomass curve (Fig. 4), it can be seen that the yield which is obtained with fish of age  $t'$  (of average size 100mm) can also be obtained with fish of age  $t''$  (of average size 104.44mm) (Fig. 4, Table III). Therefore, increasing in this proportion the minimum legal size does not have the effect of reducing the volume of the catches but it does offer the fish which reproduce for the first and perhaps only time in their lives a wider margin of survival. It also adjusts better to the practical possibilities of fishery management for the application of a minimum size regulation, in a purse-seine fishery of large minor pelagics.

Thus, it is proposed that the minimum legal catch size be modified to 105mm of standard length.

English translation by Christine Harris.

---

Baxter, J.L. (1967). Summary of biological information on the northern anchovy *Engraulis mordax* Girard. CalCOFI Rep., Vol XI: 110-116.

Bayliff, W.H. (1967). Growth, mortality and exploitation of the Engraulidae, with special reference to the Anchoveta *Cetengraulis mysticetus*, and the Colorado, *Anchoa naso*, in the Eastern Pacific Ocean. Bull. Inter. Am. Trop. Tun. Comm., 12: 365-432.

von Bertalanffy, L. (1938). A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II). Hum. Biol., 10(2): 181-213.

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. Lab., Beaufort, N.C., Misc. Contr., 2: 159 p.

Beverton, R.J.H. (1963). Maturation, growth and mortality of Clupeid and Engraulid stocks in relation to fishing. Cons. Perm. Int. Exp. Mer, Rapp. Proces-verb. Réunion., 154: 44-67.

Beverton, R.J.H. and Holt, S.J. (1957). On the dynamics of exploited fish populations. U.K. Min. Agric. Fish., Fish. Inv. (Ser. 2), 19: 533 p.

- Chapman, D.G. and Robson, D.S. (1960). The analysis of a catch curve. *Biometrics*, 16: 354-368.
- Clark, F.N. and Phillips, J.B. (1952). The northern anchovy (*Engraulis mordax*) in the California Fishery. *Calif. Fish. Game*, 38(2): 189-207.
- Cota, A., Díaz de León, A., García, W., Granados, M.L., Pedrín, O., Barrera, A. y Figueroa, J.A. (1986). Análisis de los efectos de la explotación sobre la anchoveta *Engraulis mordax* Girard (1856) mediante el uso del método de Análisis de Cohortes. SEPES, Inst. Nac. Pesca, CRIP Cont. Biol. Tec. Pesq., 1: 1-16.
- Edser, T. (1908). Note on the number of plaice at each length, in certain samples from the southern part of North Sea, 1906. *J.R. Stat. Soc.*, 71: 686-690.
- Ford, E. (1933). An account of the herring investigations conducted at Plymouth during the years from 1924-1933. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.*, 19: 305-384.
- García, W., Cota, A., Barrera, A., Luévano, A., Pedrín, O., Granados, M.L. y Figueroa, J.A. (1986). Análisis de la pesquería de anchoveta *Engraulis mordax* durante el período de 1979-1984. SEPES, Inst. Nac. Pesca, CRIP Contr. Biol. Tec. Pesq., 1: 42-53.
- García, W. et al. (1988). Boletín Anual Temporada 87. Inst. Nac. Pesca, CRIP Prog. Anch. Inf. Int., 13 p.
- Girard, C.F. (1856). Fishes collected by Dr. A.L. Heerman, naturalist attached to the survey of the Pacific Railroad route, under Lieut. R.S. Williamson. *U.S.A. Proc. Ac. Nat. Sci. Phil.* (1854), 7: 129-156.
- González-Dávila, G. (1989). Informe técnico de la pesquería de anchoveta de Baja California, México, 1982-1988. (*Síntesis Ejecutiva 1989*). SEPES, Inst. Nac. Pesca, Doc. Int., 12 p.
- Gulland, J.A. (1964). Manual of methods for fish population analysis. *FAO (Food Agric. Organ. U.N.) Fish. Tech. Pap.*, 40: 1-60.
- Heincke, F. (1913). Investigations on the plaice. General report. 1. Plaice fishery and protective regulations. Part 1. *Rapp. P.V. Reun. Cons. Perm. Int. Explor. Mer*, 16: 67 p.
- Hunter, J.R. (1977). Behavior and survival of northern anchovy *Engraulis mordax* larvae. *CalCOFI Rep.*, Vol. XIX: 138-146.
- Hunter, J.R. and Coyne, K.M. (1982). The onset of schooling in northern anchovy larvae, *Engraulis mordax*. *CalCOFI Rep.*, Vol. XXIII: 246-251.
- Hunter, J.R. and Macewicz, B.J. (1985). Measurement of spawning frequency in multiple spawning fishes. *NOAA Tech. Rep. NMFS*, 36: 79-94.
- Huxley, J. (1932). Problems of relative growth. *Methuen & Co. London*.
- Kramer, D. and Ahlstrom, E.H. (1968). Distributional atlas of fish larvae in the California Current region: northern anchovy *Engraulis mordax* Girard, 1951 through 1965. *CalCOFI Atlas*, 9: 269 p.
- Kramer, D. and Zweifel, J.R. (1970). Growth of anchovy larvae (*Engraulis mordax* Girard) in the laboratory as influenced by temperature. *CalCOFI Rep.*, Vol. XIV: 84-87.
- Lasker, R. (1975). Field criteria for survival of anchovy larvae: the relation between inshore chlorophyll maximum layers and successful first feeding. *Fish. Bull.*, 73(3): 453-462.
- Lasker, R., Feder, H.M., Rheilacker, G.H. and May, R.C. (1970). Feeding, growth and survival of *Engraulis mordax* larvae reared in the laboratory. *Mar. Biol.*, 5(4): 345-353.
- Lehninger, A.L. (1978, 4r). *Biochemistry*. Worth Publ. Inc. U.S.A., 1104 p.
- Lo, N.C.H. and Methot, R.D. Spawning biomass of the northern anchovy in 1988. *CalCOFI Rep.* (in press).
- López Veiga, E.C. (1979). Fitting von Bertalanffy growth curves in short-lived fish species. A new approach. *Inv. Pesq.*, 43(1): 179-186.



- MacCall, A.D. (1974). The mortality rate of *Engraulis mordax* in the southern California. CalCOFI Rep., Vol. XVII: 131-135.
- Mallicoate, D.L. and Parrish, R.H. (1981). Seasonal growth patterns of California stocks of Northern Anchovy, *Engraulis mordax*, Pacific Mackerel, *Scomber japonicus*, and Jack Mackerel, *Trachurus symmetricus*. CalCOFI Rep., Vol. XXII: 69-81.
- Margalef, R. (1977). Ecología. Ed. Omega, Barcelona, España, 951 p.
- Methot, R.D. (1986). Dynthetic estimates of historical abundance and mortality for northern anchovy, *Engraulis mordax*. NMFS, Southw. Fish. Cent. Adm. Rep. LJ-86-29: 85p.
- Methot, R.D. and Lo, N.C.H. (1987). Spawning biomass of the northern anchovy in 1987. NMFS, Southw. Fish. Cent. Adm. Rep. LJ-87-14: 46 p.
- Messersmith, J.D., Baxter, J.L. and Roedel, P.M. (1969). The anchovy resources of the California Current region off California and Baja California. Calif. Mar. Res. Comm. CalCOFI Rep., Vol. XIII: 32-38.
- Pauly, D. (1980). On the interrelationships between natural mortality, growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish sticks. J. Cons. Inter. Expl. Mer, 39(2): 175-192.
- Pearl, R. and Parker, S.L. (1921). Experimental studies on the duration of life: Introductory discussion of the duration of life in *Drosophila*. Amer. Nat., 55: 481-509.
- Pütter, A. (1920). Studien über physiologische Ähnlichkeit. VI. Wachstumsähnlichkeiten. Pflügers Arch., 180: 298 p.
- Ricker, W.E. (1948). Methods of estimating vital statistics of fish populations. Indiana Univ. Publ. Sci. Ser., 15: 101 p.
- Ricker, W.E. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Fish. Res. Bd. Can. Bull., 191: 382 p.
- Shafer, M.B. (1972). Dynamics of the fishery for the Anchoveta *Engraulis ringens*, off Peru. Bol. Inst. Mar Peru, 1(5): 192-303.
- Squire, J.L. Jr. (1972). Apparent abundance of some pelagic marine fishes off the southern and central California coast as surveyed by an airborne monitoring program. Fish. Bull. U.S., 70(3): 1005-1119.
- Teissier, G. (1937). Les lois quantitatives de la croissance. Act. Scient. Indust. Hermann, Paris.
- Villamar, A. et al. (1979). Análisis y propuesta nacional sobre la administración de la pesquería de anchoveta. Doc. Int. Dep. Pesca, Dir. Gral. Inst. Nac. Pesca: 224 p.
- Vrooman, A.M., Paloma, P.A. and Zweifel, J.R. (1981). Electrophoretic, morphometric and meristic studies of subpopulations of northern anchovy, *Engraulis mordax*. Calif. Fish Game, 67(1): 39-51.
- Walford, L.A. (1946). A new graphic method of describing the growth of animals. Biol. Bull., 90(2): 141-147.