

## SIMULACION DE UNA COHORTE DE *ANCHOA PANAMENSIS* (STEINDACHNER, 1875) EN EL GOLFO DE NICOYA, COSTA RICA

José A. Palacios  
Jorge A. Rodríguez

Escuela de Ciencias Biológicas  
Universidad Nacional  
Heredia, Costa Rica

### RESUMEN

Se explica el modelo de simulación de stock de Jansen a una cohorte hipotética de 100.000 peces de *Anchoa panamensis*, utilizando una tasa de mortalidad natural de 0,274 mensual, obtenida para esta población en 1981 y dos tasas hipotéticas de 0,35 y 0,52 mensual. Se observó el efecto de la mortalidad natural en el crecimiento, tanto en longitud como en peso. Además, se señalan las fluctuaciones en cuanto a número de individuos y biomasa total.

La edad crítica obtenida fue de 6,7 meses, 5,6 meses y 4,5 meses para las tasas de mortalidad natural de 0,274; 0,35 y 0,52, respectivamente. La biomasa generada a esas edades críticas, respectivamente, fue de 121.394 g, 74.813 g y 31.895 g, respectivamente, cifra significativa si se determina que las variaciones en las tasas de mortalidad se encuentran entre los rangos normales reportados para el trópico.

Se estimó el factor de selección en 5,07 para una malla de 13 mm. Con base en esto se estimó una luz de malla de captura de 22 mm para los individuos de  $E_c = 6,7$  meses con una talla de 113 mm.

### ABSTRACT

Jansen's simulation stock was applied to a hypothetical Cohort of 100.000 fishes of *Anchoa panamensis* using natural mortality rate (0,274) found in 1981 for a natural population and two hypothetical rates (0,35 and 0,52 month). The effect of length, weight, number of fishes and total biomass was observed.

The critical age for the natural mortality of 0,27 was 6,7 months, 5,6 months for 0,35 and 4,5 months for 0,52. Both number of individuals and total biomass decreased when mortality rate increase, the first from 121.394 g to 74.813 g and 31.895 g. The difference in fish biomass at the three mortality rate was significant.

The selection factor was estimated as 5,07 for a mesh size of 13 mm. Based on this a captured mesh size of 22 mm was estimated for the individuals of  $E_c = 6,7$  months with a fish size of 113 mm.

### INTRODUCCION

La evaluación y el estudio de la dinámica poblacional de los recursos susceptibles de, o en

explotación han planteado un desafío; de ahí el surgimiento de sistemas biológico-matemáticos que ayuden a entender el efecto de la explotación o del ambiente en los recursos naturales (Pavez, 1971).

El análisis de las poblaciones se puede describir en el tiempo, utilizando modelos de simulación. Se parte de datos de estructuras por edades, curvas de supervivencia y tasas instantáneas de mortalidad. Es importante hacer notar que los cambios en el medio ambiente marino tienen lugar en un lapso muy corto de tiempo y a veces resultan muy violentos para ser superados por la capacidad adaptativa de los individuos. Es en este momento cuando la degradación de los ecosistemas se pone de manifiesto con un empobrecimiento de su calidad y productividad ecológica (Chávez, 1978).

Una pesquería se puede analizar por medio de la estimación de indicadores de stock (Ricker, 1975). También en una combinación de la tasa instantánea de mortalidad natural y del coeficiente de crecimiento, aplicados a un modelo de simulación de stock, puede estimarse la edad crítica, la talla crítica y el peso crítico de una cohorte.

En el presente trabajo se pretende estimar la edad y la talla crítica en la cual se está generando la mayor biomasa del stock de *Anchoa panamensis*, utilizando los parámetros de crecimiento y diferentes tasas de mortalidad encontradas para esta especie, y otras teóricas pero encontradas para peces tropicales.

*Anchoa panamensis* es un pez de forraje muy abundante en el Golfo de Nicoya, Costa Rica, es utilizado ocasionalmente como carnada en la pesca artesanal, de anzuelo y en la pesca deportiva. Además su bajo nivel dentro de la cadena trópica, lo hace presa de un gran número de depredadores, de ahí la importancia de realizar estudios relacionados con el comportamiento de la dinámica poblacional de esta especie.

Estudios relacionados con *A. panamensis* han sido escasos; se conocen a nivel taxonómico, biológico y ecológico (Peterson, 1956; Warburton, 1979) y de crecimiento y estructura poblacional (Palacios y Phillips, 1984).

## MATERIALES Y METODOS

En el presente estudio se utilizó el modelo de predicción de Jansen (1972), en donde la biomasa de la población ( $S_t$ ) está dada por el producto del número de individuos y el crecimiento individual en peso.

$$S_t = N_t \times W_t$$

Donde  $N_t$  es el número de peces a un tiempo  $t$  y  $W_t$  es el peso del pez a ese tiempo.

Sustituyendo  $N_t$  y  $W_t$  por sus respectivas formulaciones de sobrevivencia y crecimiento:

$$S_t = N_0 e^{-Mt} W_{\infty} [1 - e^{-k(T-T_0)}]^b$$

La cual al derivarse resulta:

$$\frac{dS_t}{dt} = N_0 e^{-Mt} W_{\infty} [1 - e^{-k(T-T_0)}]^{b-1}$$

$$[e^{-k(T-T_0)}(3k + M) - M]$$

El tiempo queda como la única variable en las ecuaciones anteriores, de modo que se puede estimar la producción y el cambio instantáneo de ésta respecto del tiempo. Lo anterior nos permite estimar el tiempo crítico, valor que al introducirlo a las ecuaciones de crecimiento en peso y longitud de von Bertalanffy, permite estimar el peso crítico ( $W_c$ ) y la longitud crítica ( $L_c$ ).

**Parámetros de modelo:** Los parámetros de entrada al modelo: tiempo cero ( $T_0$ ), tasa de crecimiento ( $k$ ), longevidad de la especie ( $T_1$ ), peso y longitud asintótica ( $W_{\infty}$ ,  $L_{\infty}$ ), utilizados en este trabajo se recalcularon a partir de Palacios y Phillips (1984). La tasa de mortalidad natural se obtuvo, al igual que lo hicieron esos autores, por la fórmula empírica de Pauly para peces tropicales y ajustada por un factor (0,8) para clupeidos y engraulidos recomendado por Pauly (1983). La tasa de mortalidad natural se consideró constante durante todo el lapso de vida de la cohorte, basados en el planteamiento de Pereiro (1982), donde considera que "los cambios en la tasa de mortalidad natural generalmente ocurren entre cohortes, así es posible pensar que la tasa de mortalidad se mantiene constante dentro de cada cohorte". Esta tasa calculada para el presente trabajo, fue de  $M = 4,11$  pero al ajustarse resulta de  $M = 3,28$  anual, o sea 0,274 mensual. Las dos tasas de mortalidad natural teóricas son  $M = 0,352$  y  $M = 0,52$  mensual.

La talla de la primera captura ( $T_c$ ), se estimó de acuerdo con la propuesta de Csirke (1980) y Brey y Pauly (1986).

Además, según Csirke (1980) a los parámetros antes mencionados se les conoce como de primer tipo, y describen alguna característica inherente a la especie, están controlados por factores genéticos o del medio ambiente y solamente que

ocurran cambios notables en el ecosistema suelen mantenerse estables; de ahí que se les pueda incluir como constantes en todos los modelos de dinámicas de poblaciones.

Los parámetros de salida del modelo son: número de sobrevivientes ( $N_t$ ), producción ( $St$ ), cambio instantáneo de la producción ( $ds/dt$ ), longitud de la primera captura ( $Lc'$ ), longitud crítica ( $Lc$ ), peso y tiempo crítico ( $Wc$ ,  $Tc$ ).

El factor de selección ( $F_s$ ) resulta ser una cantidad adimensional y su magnitud varía de acuerdo con la especie; se fundamenta en que la talla de retención al 50 % es casi proporcional a la luz de la malla (para este caso 13 mm), de manera que en la práctica se puede aplicar una relación de proporcionalidad  $F_s = Lca \text{ 50 \%} / \text{luz de malla}$ , donde  $Lca$  es la longitud de captura al 50 % y nos indica la talla en la cual la mitad de la cantidad de los peces quedan retenidos.

Para efecto del presente trabajo, la cohorte

inicial supuesta es de 100.000 especímenes recién eclosionados de *A. panamensis*.

## RESULTADOS

Al graficar los valores de la derivada de la función de stock respecto del tiempo, se estiman los valores de edad crítica (Fig. 1). Dichos valores se reducen conforme se incrementa la tasa de mortalidad natural. Así a una tasa de mortalidad natural de 0,274 le corresponde una edad crítica de 6,67 meses. Para las tasas de mortalidad natural de 0,35 y 0,52 mensual, las edades críticas resultantes fueron 5,6 y 4,5 meses, respectivamente.

Analizando las curvas de producción natural (Fig. 2), observamos que la biomasa se incrementa respecto del tiempo hasta la edad crítica, luego el rendimiento en peso disminuye. Por lo tanto, la edad crítica es el momento en el cual la población presenta la mayor biomasa.

Considerando el stock inicial de 100.000 pe-

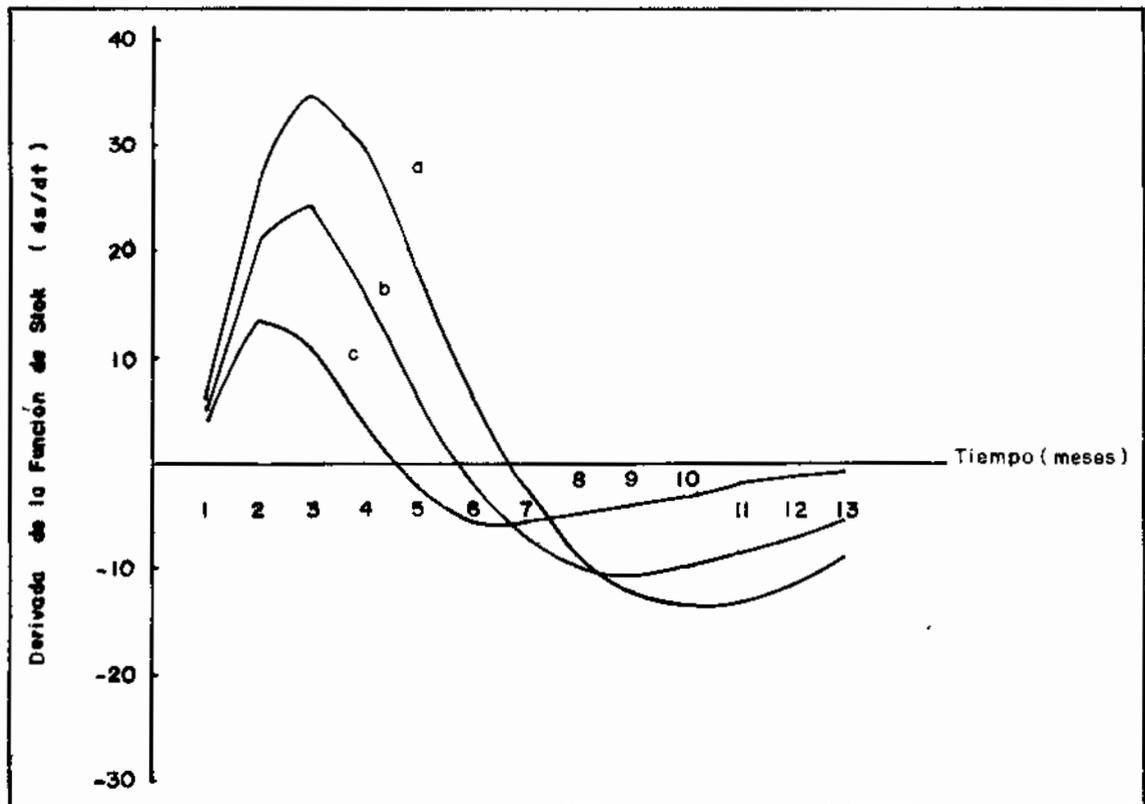


FIGURA 1. Curvas de la derivada de la función de stock en el tiempo.

- A— curva para  $M = 0,274$  edad crítica de 6,7 meses. B—  $M = 0,352$  edad crítica de 5,6 meses.  
C—  $M = 0,52$  edad crítica de 4,5 meses.

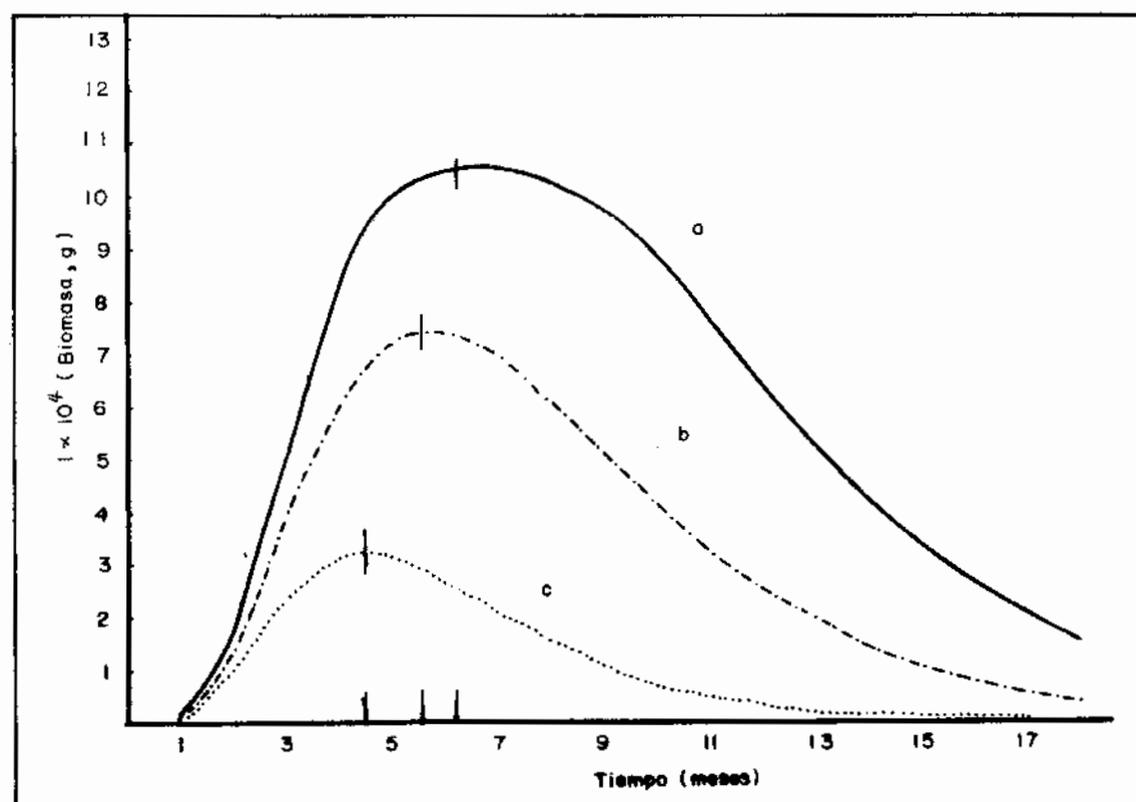


FIGURA 2. Producción (gramos) en el tiempo de un stock de *A. panamensis*.

a—  $M = 0,274$   $E_c = 6,7$  producción 121.394 g

b—  $M = 0,352$   $E_c = 5,6$  producción 74.818 g

c—  $M = 0,52$   $E_c = 4,5$  producción 31.895 g

ces y las tasas respectivas de la mortalidad natural podemos obtener las curvas de supervivencia y mortalidad (Fig. 3). El punto de intersección de ambas curvas representa el  $T_c'$  (edad de la primera captura). Esta edad varía inversamente conforme a la tasa de mortalidad natural.

Los datos obtenidos por Palacios y Phillips

(1984), y recalculados para este trabajo, dan un modelo  $W_t = 27,1 [1 - e^{-0,172(T-0,514)}]^3$ , para el peso en función del tiempo y de  $L_t = 160,1 [1 - e^{-0,172(T-0,514)}]$  para la longitud. Con ambos modelos se puede determinar la talla en longitud y peso para la edad crítica ( $E_c$ ) de cada tasa de mortalidad (Fig. 4). Corresponde para  $E_c = 6,7$  meses un peso y talla de 7,5 y 113 mm, mientras

CUADRO 1. Resumen de los parámetros obtenidos mediante la aplicación de los diversos modelos para las tres tasas de mortalidad natural en *Anchoa panamensis*.

$M$	$T_c'$	$L_c'$	$P_c'$	$E_c^*$	$L_c^*$	$P_c^*$	$T_m$
0,274	2,5	66	0,66	6,6	113	7,5	22
0,352	2,3	62	0,50	5,6	105	5,37	21
0,52	1,5	48	0,10	4,5	93	3,4	18

$M$ : mortalidad  $T_c'$  = edad primera captura  $L_c'$  = longitud de la primera captura  $P_c'$  = peso de la primera captura.  $E_c^*$  = edad crítica  $L_c^*$  = longitud a la edad crítica.  $P_c^*$  = peso a la edad crítica.  $T_m$  = luz de malla.

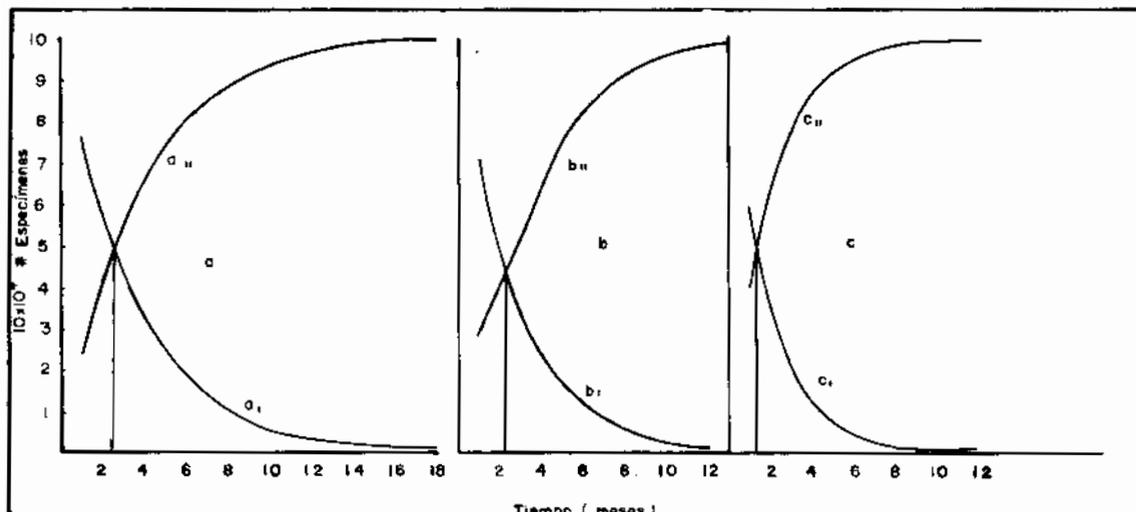


FIGURA 3. Talla de la primera captura para *A. panamensis* a 3 tasas diferentes de mortalidad.

- a—  $M = 0,274$   $T_c = 2,5$  meses a' curva de mortalidad a'' curva de supervivencia.  
 b—  $M = 0,352$   $T_c = 2,3$  meses b' curva de mortalidad b'' curva de supervivencia  
 c—  $M = 0,52$   $T_c = 1,3$  meses c' curva de mortalidad c'' curva de supervivencia

que para la  $E_c = 5,6$  meses las mismas variables resultan de 5,37 g 105 mm y para  $E_c = 4,5$  meses el peso generado es de 3,49 g y la talla de 93 mm.

En el Cuadro 1 se presentan los valores de los parámetros obtenidos en el transcurso de la aplicación de los modelos para las tres tasas de mortalidad natural, además se presenta el valor de la luz de malla requerida para capturar especímenes en la talla crítica, que es donde se está produciendo la mayor biomasa. El factor selección ( $F_s$ ) obtenido fue de 5,07.

## DISCUSION

Al estudiar la dinámica poblacional de peces, se hace indispensable conocer la tasa instantánea de mortalidad natural; es un parámetro que depende grandemente de aspectos propios de la especie.

Según Cushing (1975), los modos de muerte en el mar son muy diversos y están directamente relacionados con el medio ambiente (Csirke, 1980). Por lo general incluyen una serie de variables que regulan el crecimiento poblacional y hacen que cada población alcance su tamaño óptimo, con efectos compensatorios en el crecimiento y reclutamiento, que repercuten directamente en la tasa de mortalidad natural ( $M$ ). Se hace difícil obtener estos valores en sistemas naturales, pero son muy

confiables en poblaciones poco o casi sin explotación (Pauly, 1980).

Al aplicar en el modelo de Jansen diversos valores en las tasas de mortalidad natural, se puede observar una diferencia drástica en la edad crítica de 61 y 31 días entre la tasa de mortalidad mayor e intermedia respecto de la menor ( $M = 0,274$ ). Conlleva esta variación automáticamente no solo una reducción muy significativa en la biomasa de 46.576 g y 89.499 g, respectivamente, sino también una disminución en la talla de 8 y 20 mm y en el peso individual de 2,13 g y 4,1 g (Cuadro 1).

La producción natural se ve perjudicada si se comienzan a contabilizar peces a edades muy tempranas, ya que el rendimiento en peso por pez es relativamente bajo; esto debido principalmente al bajo peso promedio por pez a esa edad. Desde este concepto, se debe aprovechar la capacidad natural del incremento en peso hasta un máximo, en nuestro caso de 121.394 g, 74.818 g y 31.895 g. Posteriormente a estas edades, existe un decremento, ya que el crecimiento en peso no es tan rápido y el efecto de la mortalidad natural hace que la población se reduzca drásticamente.

Como se ha establecido a ciertas condiciones del ambiente donde se reduzca la tasa de mortalidad natural, el porcentaje de supervivencia de una

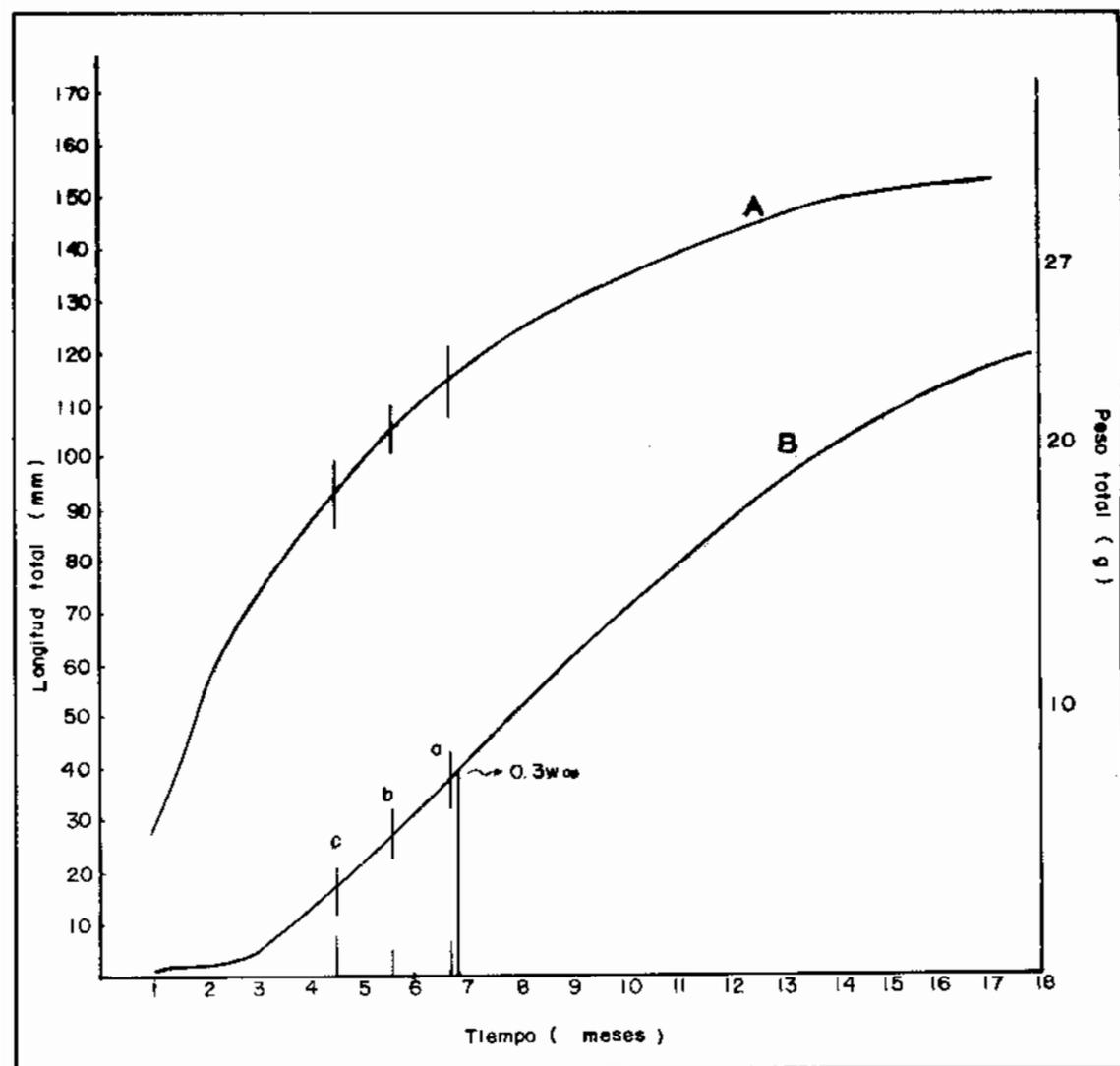


FIGURA 4. Modelo de crecimiento en longitud (A) y peso (B) definiendo la talla y peso respectivo de los individuos de *A. panamensis* para las edades críticas obtenidas a diferentes tasas de mortalidad.

- a—  $E_c = 6,8$  meses    peso = 6,7 g    longitud 113 mm
- b—  $E_c = 5,3$  meses    peso = 5,3 g    longitud 105 mm
- c—  $E_c = 4,5$  meses    peso = 3,31 g    longitud 93 mm

cohorte se incrementa y permite aumentar el reclutamiento en los stocks explotables. Considerando las fluctuaciones de supervivencia y mortalidad (Fig. 3), se puede obtener el respectivo  $T_c'$  para cada luz de malla con que se pesca (en nuestro caso 13 mm), se hace indispensable la luz de malla a 22 mm para comenzar a capturar a partir de la talla requerida ( $L_c = 113$  mm), donde está la mayor biomasa. Similar situación hay que establecer conforme se cambia la tasa de mortalidad natural. En

los casos de  $M = 0,352$  o  $M = 0,52$  habrá que reducir el tamaño de malla a 21 mm o 18 mm, respectivamente (Cuadro 1); con esto explotaremos la población en su respectivo punto óptimo de producción. Pero en estos pescos críticos la población se encuentra lejos del punto donde el pez alcanza  $1/3$  del valor de su peso asíntótico (8,02 g); posterior a éste, la tasa de crecimiento en peso entra en una inflexión donde el crecimiento se va reduciendo (Csirke, 1980). Con la tasa de mortalidad

natural ( $M = 0,274$ ), el valor del peso (7,69) se encuentra muy cercano al valor del peso (8,02) en el tercio del peso asintótico. Si mantenemos la luz de malla de 22 mm no se va a obtener el óptimo de producción, pero se le permitirá a la especie recuperarse con el restablecimiento de las condiciones ambientales. También generariamos estabilidad en la pesquería. Con lo anterior se hace indispensable conocer y evaluar los factores ambientales que actúan sobre la mortalidad de huevos, larvas y juveniles y cómo actúan en la tasa de mortalidad natural.

Uno de los aspectos que influyen marcada y diariamente en la tasa de mortalidad natural y que no se debe despreciar, lo constituyen los contaminantes. En el laboratorio se ha encontrado que los biocidas, además de ser tóxicos, pueden producir diversos tipos de cáncer, mutaciones, malformaciones y esterilidad (Hidalgo, 1986).

Los contaminantes pueden actuar en cualquier momento sobre la cohorte y sus efectos dependen de la edad, de modo que si no matan a los

individuos de edad madura, pueden repercutir en la fecundidad y viabilidad de las generaciones subsiguientes.

En Golfo de Nicoya, zona donde radica la población de *A. panamensis* muestreada, es una región muy propensa a los contaminantes y éstos pueden entrar al sistema por diversas vías: desechos o descargas de los centros de población e industriales establecidos en la zona, desechos químicos de barcos que atracan en Caldera y principalmente por el incremento de biocidas en la agricultura regional, que son transportados por el sistema fluvial de la zona al estuario (Solórzano y Fallas, 1985).

Es importante, por consiguiente, considerar periódicamente la mortalidad natural y los agentes que la causan para comprender mejor la dinámica de la población que se va a explotar o se está explotando. Además, se debe estimar si las fluctuaciones de supervivencia y mortalidad se presentan por la pesca, por factores naturales o por factores introducidos negativamente por el hombre.

LITERATURA CITADA

- Brey, F. and D. Pauly. 1986. Electronic length frequency analysis. ICLARM contribution 261. 49 pp.
- Csírke, J.B. 1980. Introducción a la dinámica de peces. FAO, Doc. Tec. Pesca. 192: 1-82 pp.
- Cushing, D.H. 1975. Ecología Marina y pesquerías. Ed. Acribis, España. 265 pp.
- Chávez, E. 1978. Principios metodológicos para la evaluación del impacto ambiental en especies acuáticas. Laguna (41-42). 17-31.
- Gulland, J.A. 1963. Fish Stock Assessment. A manual of basic methods. FAO/Wiley Series Food and Agriculture. Vol. 1. 223 pp.
- Hidalgo, C.C. 1986. Determinación de residuos de plaguicidas organoclorados en huevos de 8 especies de aves acuáticas colectadas durante 1983-1984 en la Isla Pájaros, Guanacaste, Costa Rica. Tesis para optar por el grado de Magister Scientiae en Biología. UCR. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, 89 pp.
- Jansen, A.L. 1972. Population biomass, number of individual Weight and the Linear Surplus-productions model. J.F. Res. Bd. of Can. 29 (11) 651-655.
- Palacios, J.A. y P. Phillips. 1984. Análisis de la estructura poblacional de *Anchoa panamensis* (Steindachner, 1875) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. Rev. Biol. Trop., 32 (1): 77-84.
- Pauly, D. 1980. A selection of simple methods for the assessment of tropical fish stocks. FAO Fisheries Circular, No. 729, 54 pp.
- Pauly, D. 1982. Studying single-species dynamics in a tropical multispecies context. In D. Pauly y G.I. Murphy (eds). Theory and Management of Tropical Fisheries. ICLARM Conference Proceedings, 28: 251-282 pp.
- Pauly, D. 1983. Some simple methods for assessment of tropical fish stocks. FAO. Fish. Tech. paper. 234. 52 pp.
- Pavez, P. 1971. Aplicación de procedimientos de evaluación directa empleados en la explotación de recursos pesqueros. Curso interamericano de artes y método de pesca. Esc. Pesq. y Alim. Universidad Católica de Valparaíso. Mimeogr. 14 pp.
- Pereiro, J.A. 1982. Modelos al uso en dinámica de poblaciones marinas sometidas a explotación. Infotec. Esp. Oceanog. No. 1. 225 pp.
- Peterson, C. 1956. Observations on the taxonomy biology and ecology of engraulid and chupeid fish in the Gulf of Nicoya, Costa Rica. Inter. Amer. Trop. Tuna Com., 1: 1-211.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Bull. Fish. Res. Bd. Can. No. 191. 382 pp.
- Solórzano, N. y L. Fallas. 1985. Orientaciones para el desarrollo pesquero de la región Pacífico Central en "Memorias". Primer Seminario sobre la problemática pesquera de Costa Rica, Puntarenas, Costa Rica, 4-7 diciembre.
- Warburton, K. 1979. Growth and production of some important species of fish in mexican coastal lagoon system. J. Fish. Biol., 14: 449-464.