



INSTITUTO DEL MAR DEL PERU

Boletín

ISSN-0378-7699
VOLUMEN 10 N° 7

*LA CONSTRUCCION DE CURVAS
DE RENDIMIENTO SOSTENIBLE
(SHEPERD 1982)
PARA LA MERLUZA
PERUANA*

C. Wosnitza - Mendo

M. Espino

**Publicación N° 39 de PRÓCOPA
auspiciada por la Deutsche Gesellschaft
für Technische Zusammenarbeit (GTZ)**

CALLAO - PERU, 1986

C Instituto del Mar del Perú
Esq. Gamarra y Gral. Valle s/n
Teléfono 297630
Apartado Postal 22
Callao, PERU

Hecho el depósito de Ley.
Reservados todos los derechos de reproducción total o
parcial, la fotomecánica y los de traducción.

Impreso en el Perú
Improffset
Av. José Gálvez # 107
Teléfono 327052
Lima, PERU

Conducción editorial: Dr. Antonio Landa Cannon, Editor
Científico.

Bol. Inst. Mar Perú-Callao, Vol. 10 N° 7, 165-183, 1986.

LA CONSTRUCCIÓN DE CURVAS DE RENDIMIENTO SOSTENIBLE
(SHEPHERD 1982) PARA LA MERLUZA PERUANA

por C. Wosnitza-Mendo¹ y M. Espino²

- ¹ Programa Cooperativo Peruano-Alemán de Investigación Pesquera (PROCOPA), Instituto del Mar del Perú, Apartado 22, Callao-Perú
- ² Instituto del Mar del Perú, Apartado 22, Callao-Perú

Publicación N° 39 de PROCOPA

Resumen

Estimados de rendimiento por recluta y biomasa por recluta obtenidos con el modelo de Beverton y Holt se combinan con la relación stock-reclutamiento (Ricker, 1954) para construir curvas de rendimiento relacionando el rendimiento total con la mortalidad por pesca. Asumiendo un reclutamiento a la pesca a la edad $t_e = 2$ y $t_e = 3$ se obtienen, para condiciones normales, valores de rendimiento sostenible de 105,600 y 144,000 TM respectivamente.

Abstract

Estimates of yield per recruit and biomass per recruit obtained by the Beverton and Holt model are combined with the stock-recruitment relationship (Ricker, 1954) in order to construct yield curves relating total yield to fishing mortality. Assuming that the recruitment to the fishery is at about $t_e = 2$ and $t_e = 3$ respectively one obtains values of sustainable yield of 105,600 and 144,000 metric tons for normal conditions.

Introducción

En dinámica de poblaciones de peces se distingue dos tipos de modelos, los "modelos de producción" y los "modelos analíticos". Entre los primeros se puede mencionar el modelo de Schaefer (1954) o de Csirke y Caddy (1983) y, entre los últimos el modelo de Beverton y Holt (1957) y los relacionados con el análisis de cohortes. Cada tipo de modelo tiene sus ventajas y desventajas (ver Gulland, 1979). La virtud principal de los modelos de producción es que no requieren de muchos parámetros detallados para presentar una idea general útil para el manejo del stock pero incluyen la asunción de que el stock va a fallar en reproducirse si se reduce demasiado. Las principales desventajas son que, considerando la relación stock-reclutamiento implícita, ésta podría ser inapropiada y que se basan en situaciones de condiciones estables pero, dada las grandes fluctuaciones en el reclutamiento, aquella estabilidad casi nunca existe.

Los modelos analíticos, por otro lado, son casi exactamente complementarios a los anteriores. Incluyen los detalles mencionados arriba, ya que sus resultados normalmente están expresados como rendimiento por recluta y biomasa por recluta y, en principio, pueden ser combinados con cualquier relación stock-reclutamiento para generar estimados de rendimiento total (Shepherd, 1982).

Material y Métodos

- 1° La relación stock-reclutamiento relaciona el número de reclutas con la biomasa del stock desovante. Ambos parámetros se obtuvieron del análisis de cohortes (Espino *et al.*, 1984a). Luego se aplicó la ecuación de Ricker (1954) para estimar α y β

$$R = \alpha S e^{-\beta S}$$

R = N° de reclutas
 S = stock desovante (biomasa)
 α y β = constantes

En este caso el parámetro α tiene la dimensión de reclutas por unidad de biomasa y representa la pendiente de la curva en el origen. El parámetro β expresa la dependencia de la densidad que existe según teoría por encima de cierto nivel de biomasa del stock desovante.

Para poder comparar los resultados con los diferentes valores de Y/R_e obtenidos por el modelo de rendimiento por recluta de Beverton y Holt se calculó α y β con R_{II} (Nº de reclutas a la edad 2) y R_{III} (Nº de reclutas a la edad 3) e incluyendo y rechazando respectivamente el valor extraordinariamente alto de 1974. Como se discutió en Espino y Wosnitza-Mendo (1984b) la relación stock-reclutamiento depende en gran parte de la densidad del stock que se ve influenciada por fenómenos naturales como "El Niño". Entonces, si se incluye el valor de 1974 resultaría un α más alto (más reclutas por unidad de biomasa).

- 2º Los valores de rendimiento por recluta (Y/R_e) y la biomasa de desovantes por recluta (SB/R) se calculó según el modelo de Beverton y Holt (1957) y el procedimiento está descrito en Wosnitza-Mendo et al. (1985). Se obtiene una matriz de valores (Tabla 1) para $t_e = 2$ y $t_e = 3$ y diferentes F . La Figura 1 c,d muestra el transcurso de las curvas para $t_e = 3$.
- 3º Las diferentes relaciones stock-reclutamiento se combinan con sus respectivos valores de S/R y Y/R usando las siguientes ecuaciones

$$[1] \quad R = \alpha S e^{-\beta S} \Rightarrow S/R = 1/\alpha e^{\beta S} = s_{1,j}$$

Para $s_{1,j}$ (biomasa por recluta) se usa el valor hallado por el modelo de Beverton y Holt (paso 2). Resolviendo [1] tenemos:

$$[2] \quad s_{1,j} = \frac{\log_e (\alpha \cdot s_{1,j})}{\beta}$$

(α y β son los valores teóricos calculados en el paso 1)

Se substituye $S_{1,j}$ en la relación stock-reclutamiento determinándose:

$$[3] \quad R_{1,j} = \alpha S_{1,j} e^{-\alpha S_{1,j}}$$

Se multiplica $R_{1,j}$ por $y_{1,j}$ (Y/R) para obtener el rendimiento de equilibrio $Y_{E1,j}$ para los F_1 y t_{E1} .

Para obtener curvas de rendimiento de equilibrio tradicionales se toma t_e constante y se plotea los valores $Y_{E1,j}$ versus F_1 .

Resultados

Usando los valores de la Tabla 2 para R_{11} se calculó la relación stock-reclutamiento:

- a) $R_{11} = 6,218.8 \text{ S} \cdot e^{-0.0058} \quad (10 \text{ valores})$
 $r^2 = 0.676$
- b) $R_{11} = 7,760.6 \text{ S} \cdot e^{-0.0058} \quad (8 \text{ valores})$
 $r^2 = 0.747$
- c) $R_{11} = 6,195.1 \text{ S} \cdot e^{-0.0058} \quad (7 \text{ valores})$
 $r^2 = 0.9325$

Se ve que el valor α para el total de los datos (10) y omitiendo 1974 (7) es alrededor de 6,200 reclutas por unidad de biomasa desovante. Incluyendo el valor alto de 1974 α crece y da 7,760.6 reclutas por unidad de biomasa desovante.

Igualmente se calculó la relación stock-reclutamiento para R_{111} usando los valores de la Tabla 3:

- a) $R_{111} = 3,988.3 \text{ S} \cdot e^{-0.0058} \quad (\text{no significativo})$
 $r^2 = 0.364 \quad (9 \text{ valores})$
- b) $R_{111} = 9,828 \text{ S} \cdot e^{-0.0078} \quad (7 \text{ valores})$
 $r^2 = 0.805$
- c) $R_{111} = 6,369.9 \text{ S} \cdot e^{-0.0068} \quad (6 \text{ valores})$
 $r^2 = 0.898$

Para una situación normal valdrían los valores calculados sin tomar en cuenta 1974 (influencia de El Niño) y los dos últimos años debido a que son subestimaciones del proceso de análisis de cohortes. Sin embargo, para $t_e = 3$ se calculó rendimiento sostenible incluyendo 1974 para obtener el máximo a que podría llegar este valor en condiciones muy favorables para el reclutamiento, hallándose 9,828 reclutas por unidad de biomasa desovante. Las Tablas 4, 5 y 6 describen los resultados en base a los valores de la Tabla 2 (caso c) y Tabla 3 (caso b y c).

Los rendimientos sostenibles varían para $t_e = 2$ entre 50 a 105.6 mil toneladas para los diferentes F_1 (Figura 2). El máximo rendimiento sostenible se encuentra con $F = 0.5$.

Para $t_e = 3$, que es más real, los rendimientos sostenibles varían entre 44 a 144 mil toneladas para un reclutamiento normal y entre 44 a 182 mil toneladas para un reclutamiento más alto debido a "El Niño" (Figura 2). El máximo rendimiento sostenible se encuentra con $F = 0.8$ y $F = 1.1$ respectivamente.

La Figura 3 muestra la relación entre el rendimiento total y la biomasa desovante del stock de merluza. Para los tres casos descritos anteriormente la biomasa desovante, en la que se podría esperar el mayor rendimiento, fluctúa entre 165 a 215 mil toneladas. Las tres curvas no muestran picos pronunciados, sino más bien tienen una suave tendencia.

Discusión y conclusión

En la relación stock-reclutamiento influye mucho la pendiente en el origen de la curva (α) y este factor es determinante para la obtención de datos del rendimiento sostenible.

Para la merluza peruana se supone (Espino y Wosnitza-Mendo, 1984b; Wosnitza-Mendo and Espino, 1986 y Espino *et al.*, 1985) que el reclutamiento se ve positivamente influenciado por "El Niño". Basándose en esta suposición se toma en cuenta diferentes valores de α que fluctúan entre

6,195 (para $t_e = 2$, situación normal), 6,364 (para $t_e = 3$, situación normal) y 9,828 (para $t_e = 3$, influencia "El Niño") reclutas por unidad de biomasa.

En realidad la merluza es capturada a partir de los 3 años de edad. En este trabajo se plantea de que el resultado obtenido con $t_e = 3$, bajo condiciones normales sería el más recomendable para la definición del rendimiento sostenible resultando 144 mil toneladas métricas. En un trabajo anterior (Wosnitza-Mendo *et al.*, 1985) se determinó el máximo rendimiento por recluta (para $t_e = 3$) que multiplicado por el número promedio de reclutas a la edad 3, da un rendimiento máximo de 117 mil toneladas. La diferencia con el presente trabajo es de 18.8%. Esto se debe a que en el anterior caso se ha usado un reclutamiento promedio. También en este método combinado el resultado está influenciado mayormente por el valor seleccionado como típico para el reclutamiento. Por eso, normalmente la magnitud del rendimiento total sólo será determinado sabiendo de que el reclutamiento en la merluza peruana varía en el orden de 6. Sin embargo, los resultados podrían ser valiosos indicando la diferencia de los rendimientos actuales con el rendimiento sostenible a largo plazo. En caso de una clase anual grande el rendimiento total aumentaría.

Mientras no haya un valor muy exacto para el MSY (máximo rendimiento sostenible) por las razones descritas anteriormente, es más confiable el valor de la tasa de mortalidad por pesca, al cual el MSY sería alcanzado (F_{MSY}), porque F_{MSY} depende en parte del comportamiento de la curva de rendimiento por recluta y por otra del comportamiento de la relación stock-reclutamiento. Shepherd (1982) menciona de que según la experiencia F_{MSY} no es muy sensible a los parámetros seleccionados para la relación stock-reclutamiento. La construcción de curvas de rendimiento como en la Figura 2 entonces puede ser de gran ayuda para seleccionar un valor de mortalidad por pesca apropiado para el manejo de la pesquería. No sería de gran utilidad para la determinación directa de cuotas porque pondría demasiada confiabilidad en los detalles de la relación stock-reclutamiento e ignoraría información disponible sobre la magnitud de recientes clases anuales.

La Figura 3 puede estimar valores de biomasa desovante por debajo de los cuales no sería recomendable mantener el stock. Para la merluza este valor sería alrededor de 200 mil toneladas métricas.

Bibliografía

- BEVERTON, R.J.H., and HOLT, S.J. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. Fishery Invest., Lond., Ser. 2, 19:533 p.
- CSIRKE, J. and J.F. CADDY. 1983. Production modeling using mortality estimates. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 40:43-51.
- ESPINO, M., C. WOSNITZA-MENDO y U. DAMM. 1984a. Análisis de la pesquería de la merluza peruana (Merluccius gayi peruanus). Bol. Inst. Mar Perú-Callao, Vol.8(2):17-68.
- , y C. WOSNITZA-MENDO. 1984b. La relación entre stock y reclutamiento de la merluza peruana (Merluccius gayi peruanus). Bol. Inst. Mar Perú-Callao, Vol.8(5):181-189.
- , C. BENITES, M. MALDONADO. 1985. Situación de la población de merluza (Merluccius gayi peruanus) durante "El Niño". Bol. Inst. Mar Perú-Callao, Boletín Extraordinario (El Niño) : 159-162.
- GULLAND, J.A. 1979. Dynamics of populations and fishery management. Investigación Pesq., 43: 223-239.
- RICKER, W.E. 1954. Stock and recruitment. J. Fish. Res. Bd Can., 11(5):559-623.
- SCHAEFER, M.B. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of commercial marine fishes. Bull. Inter-Am. Trop. Tuna Commn., 1:25-56.
- SHEPHERD, J.G. 1982. A versatile new stock-recruitment relationship for fisheries, and the construction of

sustainable yield curves. J. Cons. int. Explor. Mer, 40(1):67-75.

WOSNITZA-MENDO, C., M. ESPINO, T. DIOSES, E. SANCHEZ y A. PEREDA. 1985. Rendimiento de equilibrio de la merluza peruana (*Merluccius gayi peruanus*) y propuestas para su manejo. Bol. Inst. Mar Perú-Callao, Vol.9(2):67-92.

WOSNITZA-MENDO, C. and M. ESPINO. 1986. The impact of "El Niño" on recruitment in the Peruvian hake (*Merluccius gayi peruanus*). Meeresforsch. 31:47-51.

Tabla 1. Rendimiento por recluta (Y/R_e) y biomasa de desovantes por recluta (S/R) de la merluza peruana para $t_e = 2$ y $t_e = 3$ (sexos combinados) [g]

F_1	$Y_{1,2}$ Y/R_e (II)	S/R (II)	$Y_{1,3}$ Y/R_e (III)	S/R (III)
0.1	167	1670	226	2260
0.2	224	1120	322	1610
0.3	239	797	362	1207
0.4	238	595	376	940
0.5	232	464	379	758
0.6	224	373	378	630
0.7	216	309	374	534
0.8	208	260	370	462
0.9	201	223	365	406
1.0	195	195	360	360
1.1			356	324
1.2			352	293
1.4			345	246
1.6			339	212
1.8			334	186
2.0	160	80	330	165

W_m = 5,700 gr
 K = 0.139
 M = 0.3
 t_{max} = 12
 t_0 = -0.278
 t_e = 2, 3
 t_r = 1

Tabla 2

Año	S ($\times 10^3$ TM)	R ₁₁ ($\times 10^5$ N)
71	142.5	379,300
72	239.0	368,700
73	302.5	412,800
74	259.0	1'076,700
75	238.8	521,400
76	250.9	483,300
77	452.6	327,800
78	471.6	209,700
79	263.2	170,400*
80	239.5	198,000*

* preliminar

a) 10 valores	b) sin 79 y 80 (8 valores)	c) sin 74, 79 y 80 (7 valores)
$r^2 = 0.676$	$r^2 = 0.747$	$r^2 = 0.9325$
$\alpha = 6218.8$	$\alpha = 7760.6$	$\alpha = 6195.1$
$\beta = 0.005$	$\beta = 0.005$	$\beta = 0.005$
$S_m = 194.9$	$S_m = 182.1$	$S_m = 195.3$
$R_m = 445,855.3$	$R_m = 519,972.0$	$R_m = 445,200.3$

Tabla 3

Año	S ($\times 10^3$ TM)	R _{III} ($\times 10^3$ N)
71	142.5	280,400
72	239.0	272,300
73	302.5	304,600
74	259.0	796,700
75	238.8	377,200
76	250.9	353,300
77	452.6	235,900
78	471.6	153,000*
79	263.2	56,300*

* preliminar

a) 9 valores	b) sin 78 y 79 (7 valores)	c) sin 74, 78 y 79 (6 valores)
$r^2 = 0.364$	$r^2 = 0.805$	$r^2 = 0.898$
$\alpha = 3988.3$	$\alpha = 9828.0$	$\alpha = 6363.9$
$\beta = 0.005$	$\beta = 0.007$	$\beta = 0.006$
$S_m = 201.0$	$S_m = 135.6$	$S_m = 166.9$
$R_m = 294,974.5$	$R_m = 490,137.4$	$R_m = 390,701.7$

no hay correlación

Tabla 4

Rendimiento sostenible de la merluza peruana para $t_c = 2$ ($F_1 = 0.1$ a 1.0) usando los parámetros de la Tabla 2 (caso c).

F_1	S_{12} (Beverton y Holt)	S_{12} TM($\times 10^3$) (ec. 2)	R_{12} N($\times 10^3$) (ec. 3)	Y_1 Y/ R_{12} (g) (Beverton y Holt)	$R_{12} \times Y_1$ (TM)
0.1	1670	467.3	279,800	167	49,700
0.2	1120	387.4	345,900	224	77,500
0.3	797	319.4	400,700	239	95,800
0.4	595	260.9	438,500	238	104,400
0.5	464	211.2	455,100	232	105,600
0.6	373	167.5	449,100	224	100,600
0.7	309	129.9	420,300	216	90,800
0.8	260	95.3	366,600	208	76,300
0.9	223	64.6	289,700	201	58,200
1.0	195	37.8	193,800	195	37,800

Tabla 5

Rendimiento sostenible de la merluza peruana para $t_e = 3$ ($F_1 = 0.1$ a 2.0) usando los parámetros de la Tabla 3 (caso b).

F_1	S_{13} (Beverton y Holt)	S_{13} (TM x 10^3) (ec. 2)	R_{13} (N x 10^3) (ec. 3)	Y_1 Y/ R_{13} (g) (Beverton y Holt)	$R_{13} \times Y_1$ (TM)
0.1	2260	442.9	196,000	226	44,300
0.2	1610	394.5	245,000	322	78,900
0.3	1207	353.3	292,800	362	106,000
0.4	940	317.6	337,900	376	127,100
0.5	758	286.9	378,400	379	143,400
0.6	630	260.5	413,400	378	156,300
0.7	534	236.8	443,600	374	165,900
0.8	462	216.1	467,900	370	173,100
0.9	406	197.7	486,900	365	177,700
1.0	360	180.5	501,400	360	180,500
1.1	324	165.5	510,700	356	181,800
1.2	293	151.1	515,700	352	181,500
1.4	246	126.1	512,700	345	176,900
1.6	212	104.9	494,700	339	167,700
1.8	186	86.2	463,400	334	154,800
2.0	165	69.1	418,700	330	138,200

Tabla 6

Rendimiento sostenible de la merluza peruana para $t_0 = 3$ ($F_2 = 0.1$ a 2.0) usando los parámetros de la Tabla 3 (caso c).

F_2	S_{13} (Beverton y Holt)	S_{13} (TM $\times 10^3$) (ec. 2)	R_{13} (N $\times 10^3$) (ec. 3)	Y_1 Y/ R_{1111} (g) (Beverton y Holt)	$R_{13} \times Y_1$ (TM)
0.1	2260	444.3	196,600	226	44,400
0.2	1610	387.8	240,900	322	77,600
0.3	1207	339.8	281,500	362	101,900
0.4	940	298.1	317,200	376	119,300
0.5	758	262.3	346,000	379	131,100
0.6	630	231.4	367,400	378	138,900
0.7	534	203.9	381,800	374	142,800
0.8	462	179.7	389,100	370	144,000
0.9	406	158.2	389,700	365	142,200
1.0	360	138.2	383,800	360	138,200
1.1	324	120.6	372,200	356	132,500
1.2	293	103.8	354,400	352	124,700
1.4	246	74.7	303,700	345	104,800
1.6	212	49.9	235,400	339	79,800
1.8	186	28.1	151,100	334	50,500
2.0	165	8.1	49,100	330	16,200

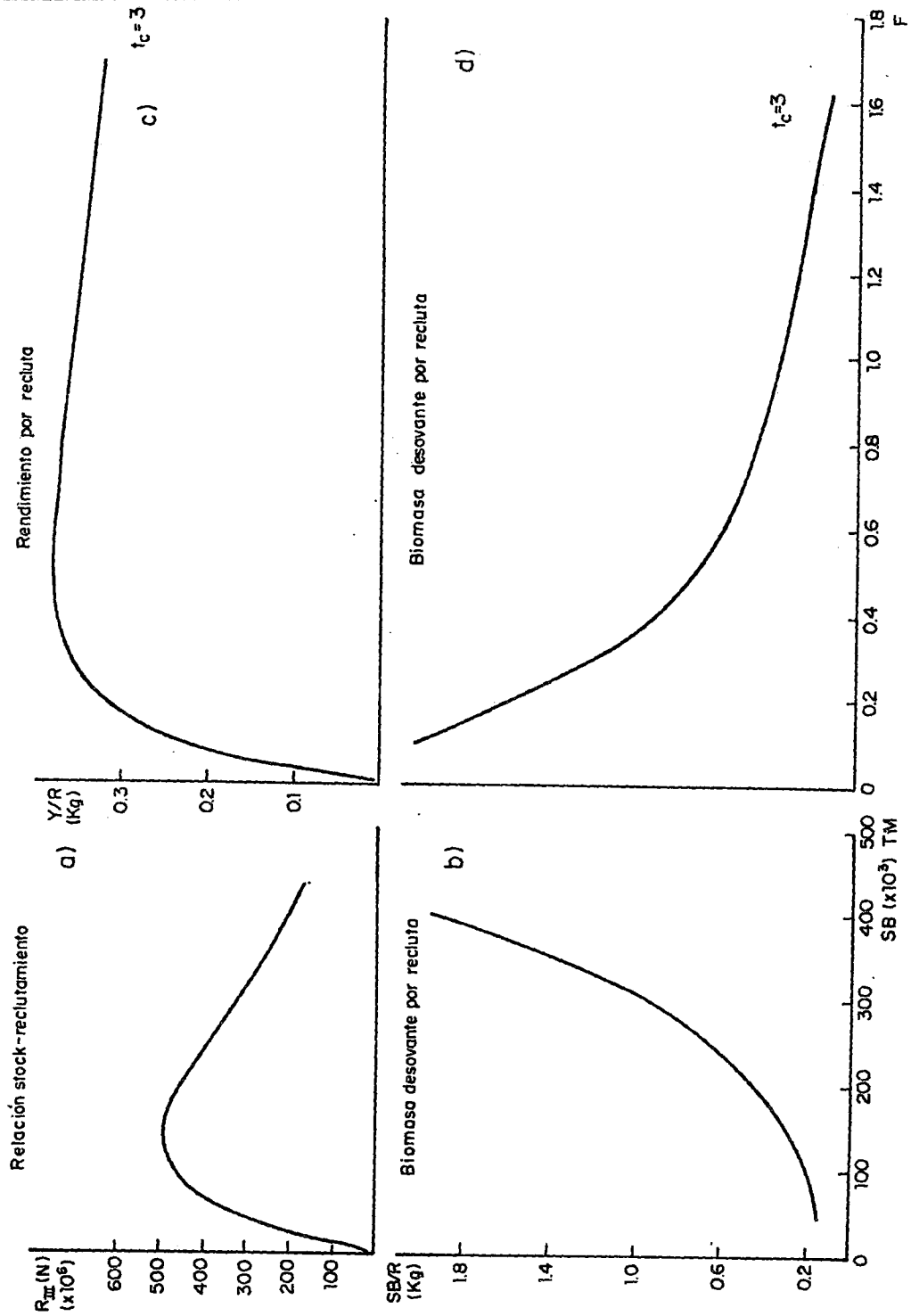


Figura 1

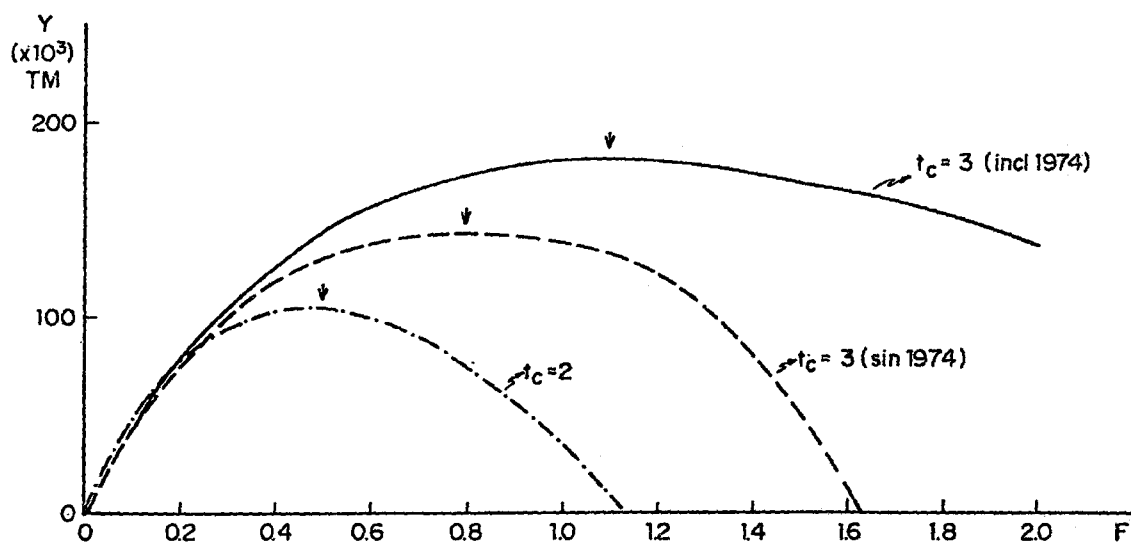


Figura 2 . Rendimiento sostenible de la merluza peruana (mayor explicación ver texto)

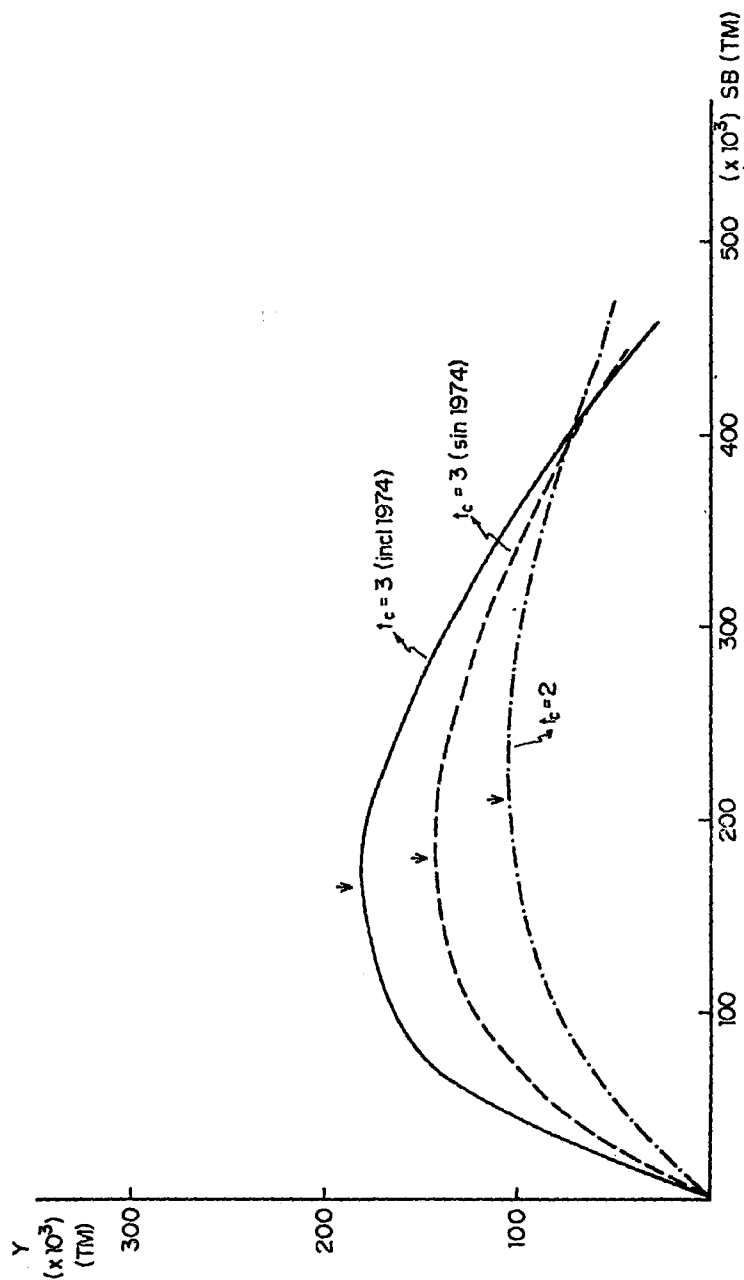


Figura 3 . Rendimiento por biomasa desovante de la merluza peruana