



# BOLETÍN

## INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

ISSN 0458-7766

Volumen 25, Números 1 y 2



### V PANEL INTERNACIONAL DE EXPERTOS EN EVALUACIÓN DE LA ANCHOVETA PERUANA

*Engraulis ringens*

Hacia un enfoque ecosistémico  
en la pesquería de la  
anchoveta peruana

Callao, 10 - 14 de agosto 2009

Enero - Diciembre 2010

Callao, Perú

# Evaluación del stock norte – centro de la anchoveta peruana (*Engraulis ringens* Jenyns) por un modelo estadístico estructurado por edades

## Assessment of the north – center stock of Peruvian anchoveta (*Engraulis ringens* Jenyns) using an age structured model

ERICH DÍAZ<sup>1</sup>, CHRISTIAN GARCÍA<sup>1</sup>, DANTE ESPINOZA<sup>1</sup>,  
RENATO GUEVARA-CARRASCO<sup>2</sup>, JORGE CSIRKE<sup>3</sup>,  
MIGUEL ÑIQUEÑ<sup>1</sup>, NATHALY VARGAS<sup>4</sup>, JUAN ARGÜELLES<sup>4</sup>

### Resumen

DÍAZ E, GARCÍA C, ESPINOZA D, GUEVARA-CARRASCO R, CSIRKE J, ÑIQUEÑ M, VARGAS N, ARGÜELLES J. 2010.- *Evaluación del stock norte – centro de la anchoveta peruana (Engraulis ringens Jenyns) por un modelo estadístico estructurado por edades. Bol Inst Mar Perú. 25(1-2):57-61.*- Se empleó un modelo poblacional estructurado por edades para estimar la abundancia, biomasa, biomasa desovante y el reclutamiento medio del stock norte – centro de la anchoveta peruana entre los años biológicos (octubre a setiembre) 1962-63 y 2007-08. El modelo, basado en un enfoque hacia adelante, fue optimizado minimizando las diferencias de los estimados del modelo y observaciones independientes de biomasa, desembarque y estructuras por edades de los desembarques. Los resultados muestran que han existido tres regímenes de productividad de dicho stock: el primero, entre 1962-63 y 1970-71, con la abundancia, biomasa, biomasa desovante y reclutamiento medio más altos; el segundo, entre 1971-72 y 1990-91 con los niveles poblacionales más bajos; y el tercero, entre 1991-92 y 2007-08, con niveles intermedios. Parece claro que luego del colapso de las décadas de 1970 y 1980 el stock se ha recuperado de manera significativa aunque sin alcanzar los niveles de la década de 1960. Desde el año 2001-02 la biomasa desovante se ha mantenido por encima de cinco millones de toneladas, y la mortalidad por pesca ha mostrado una tendencia decreciente. Se demostró que el presente modelo estuvo en capacidad de captar la dinámica poblacional del stock norte – centro de la anchoveta validando su utilidad en las evaluaciones y monitoreo de la población de anchoveta.

PALABRAS CLAVE: anchoveta, modelo estructurado por edades, abundancia, biomasa, biomasa desovante, reclutamiento, mortalidad por pesca.

### Abstract

DÍAZ E, GARCÍA C, ESPINOZA D, GUEVARA-CARRASCO R, CSIRKE J, ÑIQUEÑ M, VARGAS N, ARGÜELLES J. 2010.- *Assessment of the north – center stock of Peruvian anchoveta (Engraulis ringens Jenyns) using an age - structured model. Bol Inst Mar Perú. 25(1-2):57-61.*- An age – structured model was carried out to estimate the mean abundance, biomass, spawning biomass and recruitment of the north – center stock of Peruvian anchoveta from 1962-63 to 2007-08, based on biological years (October to September). The model used a forward approach, and was optimized by minimizing the departures of modeled estimations from independent observations of biomass, landing and age structures of landings. Results showed the existence of three productivity regimes: the first from 1962-63 to 1970-71 with the highest mean abundance, biomass, spawning biomass and recruitment; the second, from 1971-72 to 1990-91, with the lowest population levels; and the third, from 1991-92 to 2007-08 with medium population levels. It seems clear that after the 1970 and 1980 collapse, the stock has recovered significantly but not to the 1960s levels. Since 2001-02 the spawning biomass has been maintained above five millions tones whilst fishing mortality shows a decreasing trend. It is shown that the model was able to capture the population dynamics of the north – center stock of the Peruvian anchoveta, proving its usefulness for the monitoring and assessments of the anchoveta population.

KEYWORDS: anchoveta, age – structured model, abundance, biomass, spawning biomass, recruitment, fishing mortality.

1 Dirección de Investigaciones en Recursos Pelágicos Neríticos y Oceánicos. IMARPE

2 Dirección Científica. IMARPE

3 Departamento de Pesca y Acuicultura. FAO

4 Dirección de Investigaciones en Recursos Demersales, Bentónicos y Litorales. IMARPE

## Introducción

La anchoveta es el recurso que sustenta la pesquería mono-específica más grande del mundo (FAO, 2008). En el Perú la pesca es una de las actividades económicas más importantes y la pesquería de anchoveta sustenta más del 90% del PBI pesquero. Se ha estimado que esta actividad proporciona trabajo directo e indirecto a aproximadamente el 2% de la población económicamente activa del país (INEI 2009).

Las primeras evaluaciones de anchoveta tuvieron lugar a mediados de la década de 1960, unos años después del inicio de su explotación (CLARK 1976) y se basaron en métodos indirectos como los modelos de producción excedente y los análisis de población virtual (IMARPE 1974). Durante la década de 1980, se introdujo la acústica como herramienta para la evaluación directa del stock de anchoveta y debido a su capacidad de estimar medidas absolutas de abundancia (FRÉON y MISUND 1999) este método cobró relevancia en relación a los métodos tradicionales.

En la actualidad sin embargo, el desarrollo de poderosas técnicas analíticas permite la reconstrucción, por métodos indirectos mejorados, de la dinámica de un stock y proporciona no sólo estimados de abundancia absoluta sino también de tasas de mortalidad instantánea. Las mejoras en los métodos indirectos de evaluación han ido desde la introducción del concepto de separabilidad (mortalidad por pesca representada como el producto de una mortalidad específica por edad y otra por año), el uso de procesos estadísticos de minimización de errores para estimar parámetros, hasta la calibración de los resultados con información independiente sobre esfuerzo, CPUE o abundancia (MEGREY 1989).

En el presente trabajo se evalúa el stock norte – centro de la anchoveta mediante un modelo estadístico estructurado por edades que incorpora el principio de separabilidad e información independiente de la pesquería en el proceso de estimación de parámetros.

## Material y métodos

Se estimó la abundancia, biomasa, biomasa desovante y reclutamientos medios, así como la mortalidad por pesca del stock norte – centro de anchoveta (desde el extremo norte hasta 16°S) por año biológico entre el año 1962-1963 y el 2007-2008. Como inicio del año biológico se asumió el 1° de octubre de cada año y como término el 30 de setiembre del año siguiente.

## MODELO

El modelo siguió el enfoque desarrollado por DERISO et al. (1985) el cual estima la abundancia por edades a partir de una población del primer año y reclutamientos (edad 0) desde el segundo año hasta el último sugeridos (enfoque hacia adelante). La abundancia de la edad  $a$  (0 a 3) durante el año  $y$  fue estimada como:

$$N_{a+1,y+1} = N_{a,y} e^{-(M+F_{a,y})} \dots (Ec.1)$$

Donde:  $N_{a+1,y+1}$  es la abundancia de la edad  $a+1$  en el año  $y+1$ ,

$N_{a,y}$  es la abundancia del año anterior,  $M$  es la mortalidad natural que fue asumida constante para todas las edades y todos los años ( $M=0.8$ ) y

$F_{a,y}$  es la tasa instantánea de mortalidad por pesca.

De acuerdo al principio de separabilidad, la  $F_{a,y}$  fue estimada como el producto de una selectividad específica a la edad ( $S_a$ ) y una  $F$  específica para el año ( $F_y$ ):

$$F_{a,y} = S_a * F_y \dots (Ec.2)$$

El patrón de selectividad específica a la edad ( $S_a$ ) fue estimado mediante una ecuación logística que usó como parámetros la edad  $a$  a la que el 50% ( $a_{50}$ ) y 95% ( $a_{95}$ ) de la población es respectivamente vulnerable a la pesca:

$$S_a = \frac{1}{1 + \ell^{-\ln(19) \frac{a-a_{50}}{a_{95}-a_{50}}}} \dots (Ec.3)$$

Este  $S_a$  se asumió constante para toda la serie de tiempo y los valores de  $a_{50}$  y  $a_{95}$  fueron parámetros a estimar.

La abundancia media de la edad  $a$  en el año  $y$  fue estimada como:

$$\bar{N}_{a,y} = \frac{N_{a,y} * (1 - e^{-Z_{a,y}})}{Z_{a,y}} \dots (Ec.4)$$

Donde:

$Z_{a,y}$  es la tasa instantánea de mortalidad total y se estima como la sumatoria de la  $F_{a,y}$  y la  $M$ .

La abundancia media anual fue estimada como la sumatoria de las abundancias por edades. La biomasa media anual fue estimada como la sumatoria de los

productos de las  $\bar{N}_{a,y}$  por el correspondiente vector de pesos medios a la edad:

$$\bar{B}_y = \sum_{a=0}^3 (\bar{N}_{a,y} * \bar{W}_{a,y}) \dots (Ec.5)$$

Donde un vector de pesos medios a la edad  $\bar{W}_{a,y}$  fue estimado por año.

La biomasa desovante media fue estimada mediante el uso de una ojiva de madurez  $MS_a$ , con valores de madurez sexual 0, 1, 1 y 1 para las edades 0, 1, 2 y 3 respectivamente. La  $MS_a$  se asumió constante durante toda la serie de tiempo:

$$\bar{B}D_y = \sum_{a=0}^3 (\bar{N}_{a,y} * \bar{W}_{a,y} * MS_a) \dots (Ec.6)$$

Se asumió que el reclutamiento por año estuvo representado por la abundancia media de la edad 0:

$$\bar{R}_y = \bar{N}_{0,y} \dots (Ec.7)$$

La captura de la edad  $a$  al año  $y$  fue estimada como:

$$C_{a,y} = \frac{F_{a,y}}{Z_{a,y}} * N_{a,y} * (1 - e^{-Z_{a,y}}) \dots (Ec.8)$$

Los desembarques anuales fueron estimados como la sumatoria de los productos de las  $C_{a,y}$  por el correspondiente vector de  $\bar{W}_{a,y}$ :

$$D_y = \sum_{a=0}^3 (C_{a,y} * W_{a,y}) \dots (Ec.9)$$

### OPTIMIZACIÓN

El modelo fue optimizado al maximizar las verosimilitudes entre la biomasa media ( $\bar{B}_y$ ) y la biomasa estimada por el método acústico, entre los reclutamientos

medios ( $\bar{R}_y$ ) y un reclutamiento constante ( $R_0$ ) estimado como el promedio de los reclutamientos de toda la serie de tiempo y entre los desembarques predichos ( $D_y$ ) y los desembarques observados. Se asumió que las diferencias entre las estimaciones y las observaciones (errores) tuvieron distribución log-normal, por lo tanto la función de verosimilitud por variable fue estimada como:

$$LnL(\gamma / \theta) = \frac{1}{2cv^2} * \sum (Ln\gamma_y - Ln\hat{\gamma}_y)^2 \dots (Ec.10)$$

donde  $\gamma_y$  es la variable observada y  $\hat{\gamma}_y$  es la variable predicha por el modelo y  $cv$  es el coeficiente de variación o peso de cada variable dentro del proceso de optimización.

La función objetivo (a maximizar) estuvo conformada por la sumatoria de las verosimilitudes de todas las variables. Durante el proceso se asignó valores de  $cv$  de 0,05 a la biomasa, 0,5 al reclutamiento y 0,05 al desembarque.

Los parámetros estimados como resultado de la optimización fueron los reclutamientos desde el segundo al último año, las tasas instantáneas de mortalidad por pesca desde el primero al último año, la abundancia por edades del primer año y los parámetros de la ojiva de selectividad ( $a_{50}$  y  $a_{95}$ ).

### Resultados

Las  $\bar{B}_y$  y los  $D_y$  estimados de los modelos se ajustaron bastante bien a las observaciones de biomasa acústica y desembarques (Figs. 1a y 1b).

Las  $\bar{B}_y$  estimadas fluctuaron entre 17 millones (años 1969-1970) y 2,1 millones de toneladas (años 1986-1987), con un promedio de 7,9 millones y una desviación estándar de  $\pm 4$  millones. Entre 1962-1963 y 1970-

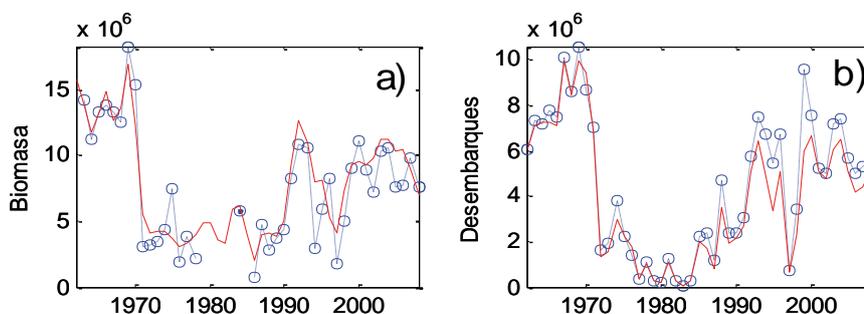


Figura 1.- Ajuste de las estimaciones del modelo a los datos observados: a) biomasa media modelada (línea continua) y biomasa acústica (círculos), b) desembarque modelado (línea continua) y desembarques observados (círculos).

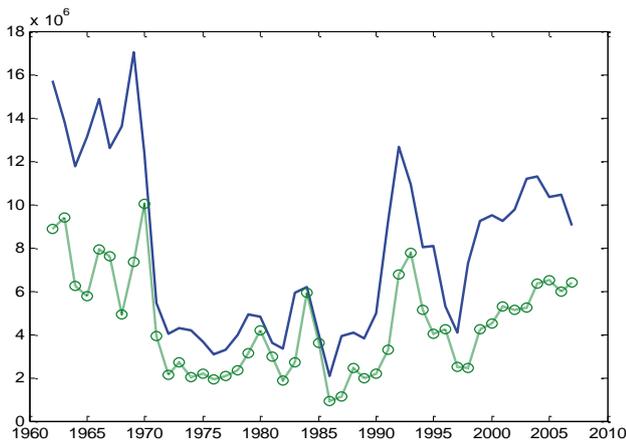


Figura 2.- Biomasa media (línea continua) y biomasa desovante media (círculos) anual (millones t) desde el año biológico 1962-1963 hasta el 2007/2008.

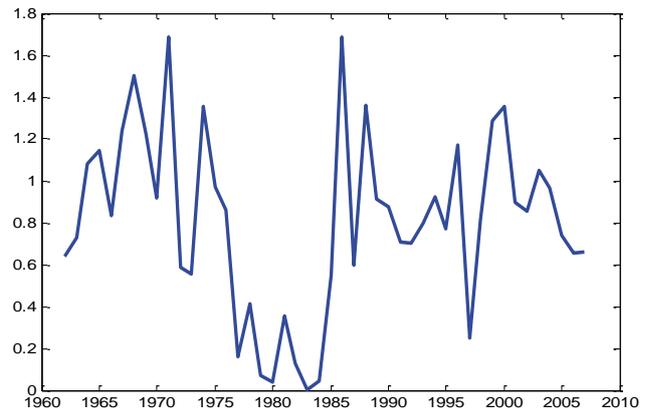


Figura 4.- Mortalidad por pesca anual desde el año biológico 1962-1963 hasta el 2007-2008.

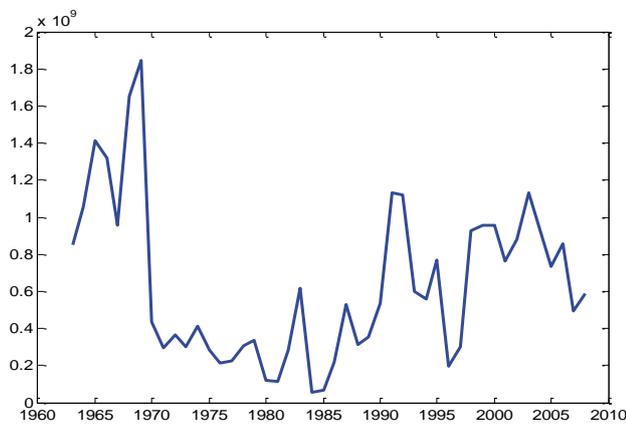


Figura 3.- Reclutamiento medio anual ( $\times 10^9$  individuos) desde el año biológico 1962-1963 hasta el 2007-2008.

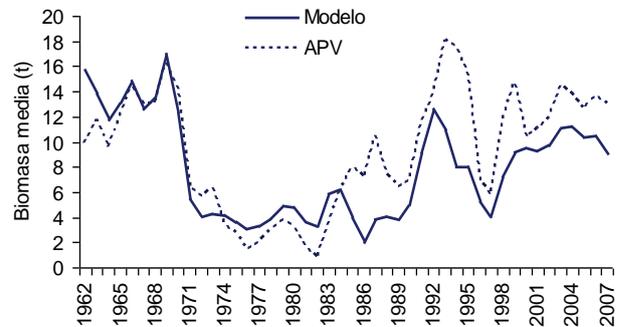


Figura 5.- Biomasa media del stock norte – centro estimada por un modelo estadístico estructurado por edades (línea continua) y un análisis de población virtual convencional (línea punteada) (R. GUEVARA-CARRASCO, comunicación personal).

1971 el promedio de  $\bar{B}_y$  fue de 13,9 millones; entre 1971-1972 y 1990-1991 el promedio cayó a 4,2 millones t; pero entre 1991-1992 y 2007-2008 el promedio se recuperó hasta los 9 millones. La  $\overline{BD}_y$  siguió la misma tendencia que la  $\bar{B}_y$ . Esta fluctuó entre 10 millones (1970-1971) y 1 millón (1986-1987), con un promedio de 4,5 millones y una desviación estándar de  $\pm 2,3$  millones t (Fig. 2).

Los  $\bar{R}_y$  fueron estimados entre  $1,8 \times 10^9$  (1969-1970) y  $0,05 \times 10^9$  de individuos (1984-1985) con un promedio de  $0,6 \times 10^9$  individuos y una desviación estándar de  $\pm 0,4 \times 10^9$  individuos (Fig. 3).

Durante toda la serie de tiempo, las  $\bar{F}_y$  presentaron un importante nivel de fluctuación (desviación estándar  $\pm 0,4$ ). Durante los últimos años (2001-2002 al 2007-2008) la  $\bar{F}_y$  se ha mantenido alrededor de 0,8 ( $\pm 0,15$ ) (Fig. 4).

## Discusión

### MODELO

La biomasa estimada por el método acústico y el desembarque fueron la fuente de información más confiable con las que se contó, por lo tanto, a ambas se le asignó un mayor nivel de influencia en el proceso de estimación de parámetros. No es de extrañar entonces que las estimaciones de la dinámica del stock hayan tenido concordancia con estas fuentes de información independientes. Sin embargo no sucedió lo mismo con el reclutamiento. Se usó un valor constante de reclutamiento (estimado como el promedio del reclutamiento de todos los años) como variable observada con el propósito de que los valores de reclutamiento estimados por el modelo no difieran mucho de esta media. En términos generales el modelo fue aceptable, ya que fue capaz de captar el alto nivel de variabilidad que presentó la biomasa observada,

incluyendo los eventos El Niño, así como la alta intensidad de pesca.

### ESTIMACIÓN POBLACIONAL

Al analizar la  $\bar{B}_y$  durante toda la serie de estudio se pudo identificar tres regímenes de productividad. El primero, con los valores más altos, entre 1962-1963 y 1970-1971, el segundo con los valores más bajos, entre 1971-1972 y 1990-1991, y el tercero con valores promedio entre 1991-1992 y 2007-2008. Resulta bastante claro que luego del colapso de las décadas de 1970 y 1980 el stock norte – centro de anchoveta se recuperó de manera significativa aunque sin alcanzar los niveles de la década de 1960.

Los regímenes de productividad alto y medio estuvieron caracterizados por niveles de reclutamiento alto y medio respectivamente. A pesar de que durante el régimen de baja productividad casi toda la biomasa correspondió al stock parental, los niveles de reclutamiento fueron bajos. Un escenario ambiental desfavorable a la anchoveta (CHAVEZ et al. 2003; ALHEIT y ÑIQUEEN 2004) y un sector pesquero ávido por recuperarse económicamente ( $F_y$  altos durante la primera mitad de la década de 1970 y segunda mitad de la década de 1980) parecen haber contribuido a esta baja productividad. Desde el 2001-2002 las  $F_y$  han mostrado una tendencia decreciente, periodo coincidente con el de una importante estabilidad en la  $\bar{B}_y$ .

De acuerdo a los resultados aquí mostrados, consideramos que el presente modelo se constituye como una interesante alternativa para la evaluación del stock norte – centro de anchoveta. Los resultados del modelo son comparables a estimaciones independientes (Fig. 5). Sin embargo, desde el punto de vista metodológico, quedan muchas cosas por mejorar, como por ejemplo, la incorporación de una mayor cantidad de variables sintonizadoras confiables como la CPUE, esfuerzo estandarizado, algún indicador independiente de reclutamiento; además de una metodología más confiable para la descomposición de las capturas por grupos de edad.

### Conclusiones

1. Se han identificado tres regímenes de productividad del stock norte – centro de anchoveta. El primero, con las  $\bar{B}_y$  más altas (13,9 millones t), entre 1962-1963 y 1970-1971; el segundo con las más bajas (4,2 millones t), entre 1971-1972 y 1990-1991, y el tercero con valores medios (9 millones t), entre 1991-1992 y 2007-2008.

2. Los regímenes de productividad estuvieron directamente relacionados a los niveles de reclutamiento.
3. Luego del colapso el stock norte – centro de anchoveta se ha recuperado de manera significativa pero sin alcanzar los niveles de la década de 1960.
4. Desde el año 2001-2002, la  $\bar{BD}_y$  se ha mantenido por encima de los 5 millones t.
5. Desde el año 2001-2002 las  $F_y$  han mostrado una tendencia decreciente, fluctuando alrededor del 0,8.
6. Los resultados del modelo son comparables a estimaciones independientes.
7. En términos generales el modelo estuvo en capacidad de captar la dinámica del stock de anchoveta.

**Agradecimientos.-** Los integrantes de este subgrupo quieren expresar su agradecimiento a los biólogos MARILÚ BOUCHON y ANDRÉS CHIPOLLINI por facilitar información sobre la biología y pesquería de anchoveta y a los ingenieros SALVADOR PERALTILLA y RAMIRO CASTILLO por la información acústica.

### Referencias

- ALHEIT J, ÑIQUEEN M. 2004. Regime shifts in the Humboldt Current Ecosystem. *Progress in Oceanography*, 60: 201-222.
- CLARK W. 1976. The lessons of the Peruvian anchoveta fishery. *California cooperative oceanic fisheries investigations*, 19: 57-63.
- CHAVEZ F, RYAN J, LUCH-COTA S, ÑIQUEEN M. 2003. From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science*: 299: 217-221.
- DERISO R, QUINN T, NEAL P. 1985. Catch-age analysis with auxiliary information. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 42: 815-824.
- FAO 2008. The state of world fisheries and aquaculture. FAO Fisheries and Aquaculture Department, Rome, 196 pp.
- FRÉON P, MISUND O. 1999. Dynamics of pelagic fish distribution and behavior: effects on fisheries and stock assessment. *Fishing News Books, Blackwell, London*, 348 pp.
- IMARPE. 1974. Panel de Expertos. Informe sobre los efectos económicos de diferentes medidas regulatorias en la pesquería de la anchoveta peruana. *Inf. Inst. Mar Perú* 34: 81 pp.
- INEI (2009). [www.inei.gob.pe](http://www.inei.gob.pe)
- MEGREY B. 1989. Review and comparison of age-structured stock assessment models from theoretical and applied points of view. *American Fisheries Society Symposium*, 6:8-48.