



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

Modelo de evaluación integrada del stock norte-centro de la anchoveta peruana *Engraulis ringens* Jenyns

Integrated assessment model for the north-central stock of Peruvian anchoveta *Engraulis ringens* Jenyns

RICARDO OLIVEROS-RAMOS¹, RENATO GUEVARA-CARRASCO¹,
JOHN SIMMONDS², JORGE CSIRKE³, FRANCOIS GERLOTTO⁴,
CECILIA PEÑA¹, JORGE TAM¹.

Resumen

OLIVEROS-RAMOS R, GUEVARA-CARRASCO R, SIMMONDS J, CSIRKE J, GERLOTTO F, PEÑA C, TAM J. 2010. Modelo de evaluación integrada del stock norte-centro de la anchoveta peruana *Engraulis ringens* Jenyns. *Bol Inst Mar Perú* 25(1-2):49-55.- Se presenta un nuevo modelo integrado de evaluación para el stock norte-centro de la anchoveta peruana que permite reconstruir y hacer un seguimiento de la estructura de longitudes del stock desde un modelo basado en edades. El modelo fue calibrado usando estimados acústicos de biomasa y estructuras de tallas provenientes de cruceros científicos y de desembarques de la pesquería. Para la calibración se utilizó un algoritmo evolutivo con diferentes funciones de aptitud para cada variable calibrada (biomasa y capturas). Se presentan los estimados mensuales de biomasa total, biomasa desovante, reclutamiento y mortalidad por pesca obtenidos por el modelo de evaluación integrada para el periodo 1964-2008. Se encontraron tres periodos cualitativamente distintos en la dinámica de anchoveta, entre 1961-1971, 1971-1991 y 1991 al presente, que se distinguen tanto por las biomasa medias anuales como por los niveles de reclutamiento observado.

PALABRAS CLAVE: modelo de evaluación integrada, anchoveta peruana, evaluación de stocks, algoritmos evolutivos.

Abstract

OLIVEROS-RAMOS R, GUEVARA-CARRASCO R, SIMMONDS J, CSIRKE J, GERLOTTO F, PEÑA C, TAM J. 2010. Integrated assessment model for the north-central stock of Peruvian anchoveta *Engraulis ringens* Jenyns. *Bol Inst Mar Perú* 25(1-2):49-55.- A new integrated assessment model for the northern-central stock of Peruvian anchovy is presented, which allows the reconstruction and follow-up of the length structure of the stock using an underlying age structured model. The model was calibrated using acoustic estimates of biomass and length structure from scientific surveys and from the fishery landings. An evolutionary algorithm with different fitness functions for each variable was used for the calibration (biomass and yield). Monthly estimates of total biomass, spawning stock biomass and recruitment given by the model for 1964-2008 are presented. Three different periods in anchovy dynamics were recognized, between 1961-1971, 1971-1991 and 1991 to the present, with distinguishable mean annual biomasses and recruitment values.

KEYWORDS: integrated assessment model, Peruvian anchovy, stock assessment, evolutionary algorithms.

Introducción

La anchoveta peruana (*Engraulis ringens*) es explotada por una flota de alrededor de 1200 embarcaciones cerqueras (ARANDA 2009, FRÉON et al. 2008), por lo que es especialmente importante contribuir a la mejora del manejo de este recurso y a la definición de políticas que garanticen su sostenibilidad, evitando el colapso de la pesquería más importante del Perú. En este

sentido, es necesario poder contar con los mejores métodos y procedimientos que permitan evaluar los niveles de abundancia del stock y hacer proyecciones más confiables y útiles para el manejo de la pesquería. La evaluación de la población de anchoveta en el Perú es efectuada por el Instituto del Mar del Perú (IMARPE), con la finalidad de identificar los cambios

1 Instituto del Mar del Perú (IMARPE), Esq. Gral. Valle y Gamarra s/n, Chucuito, Callao, Perú.

2 Fisheries Research Services Marine Lab. PO BOX 101. Victoria Rd. Aberdeen, Ireland.

3 FAO. Dirección de Ordenación de la Pesca y la Acuicultura. Via delle Terme di Caracalla – 00153 Roma, Italia.

4 Institut de Recherche pour le Développement, Centre de Recherche Halieutique Méditerranéenne et Tropicale, Avenue Jean Monnet, BP 171, 34203 Sète Cedex, France.

de abundancia y distribución del recurso y su interacción con la flota pesquera. Los resultados de estas evaluaciones sirven de fundamento para el manejo pesquero y se basan principalmente en métodos de evaluación directos e indirectos. La metodología directa para la evaluación de la anchoveta empleada en el IMARPE es el método hidroacústico, desarrollado en las estaciones de verano e invierno, el cual permite una medición absoluta de la abundancia de peces. La evaluación indirecta de los stocks de recursos pesqueros se sustenta en el uso de modelos matemáticos y estadísticos para la estimación de la abundancia, biomasa parental y reclutamiento. Estos modelos son calibrados principalmente a partir de información pesquera (MAUNDER y PUNT 2004), siendo las ventajas del uso de estos datos su amplia cobertura temporal - espacial y los bajos costos (DÍAZ 2005). La incorporación y manejo de diferentes modelos matemáticos para describir y pronosticar las respuestas de las poblaciones sometidas a explotación tiene hoy en día gran importancia, a medida que se cuenta con técnicas más precisas y rápidas, convirtiéndose en una de las herramientas más útiles en cuanto al manejo y evaluación (HILBORN y WALTERS 1992).

En el Perú, la evaluación indirecta de la pesquería de anchoveta se inició a partir de 1965 mediante modelos de producción, referentes a la estimación del estado de la pesquería, el nivel de rendimiento máximo sostenible (MSY) y algunos efectos de las medidas de regulación (SCHAEFER 1967), manteniendo hasta el momento el uso de los modelos de SCHAEFER (1954), y de Fox (1970) para la pesquería de anchoveta de la Región norte - centro usando capturas anuales y el esfuerzo en viajes con pesca. A partir de la década de los setenta, en respuesta a las debilidades de los métodos de evaluación basados en la CPUE como índice de abundancia, se comenzó a utilizar modelos estructurados como el análisis de población virtual (APV), utilizando evaluaciones acústicas e información de captura y esfuerzo pesquero para la sintonización del análisis (IMARPE 1971). En general, la información recolectada por el IMARPE está estructurada por longitud, requiriendo la aplicación de claves talla-edad en el caso de que se utilicen modelos basados en edades, como el Análisis de Población Virtual.

El objetivo de este trabajo es aplicar un nuevo modelo poblacional para el stock norte-centro de la anchoveta peruana, el cual aplica una clave talla-edad dinámica determinada por la estructura poblacional simulada de la población, lo que permite ajustar directamente la información obtenida por longitudes. La calibración del modelo se realiza con un método heurístico de optimización (el algoritmo evolutivo

PBIL) que permite seleccionar de manera automática los pesos para cada una de las variables utilizadas en la calibración en función al ajuste total, permitiendo integrar diferentes fuentes de información de manera objetiva. En esta primera versión del modelo se integra la información disponible tanto de la pesca como de los cruceros de evaluación científica. Así mismo, el paso de tiempo del modelo es mensual, lo que permite aprovechar mejor la resolución temporal de la información recolectada por el IMARPE, que suele ser agregada en base anual para en la mayoría de los otros modelos basados en edades.

Material y métodos

DATOS

Se utilizaron datos de capturas por tallas (clases de 0,5 cm, entre los 3 - 20 cm) del stock norte-centro de la anchoveta peruana (*Engraulis ringens*) entre enero de 1961 y diciembre de 2008. Se utilizó también la información procedente de los cruceros de evaluación acústica, correspondiente a la biomasa total de los stocks norte-centro, y la estructura de tallas de la población (GUTIÉRREZ 2000). Se utilizaron los parámetros de la relación longitud-peso (a y b) obtenidos de información de la pesquería para cada mes del periodo estudiado (C. PEÑA com. per.). Se asumió un rango de variación para la mortalidad natural de entre 0,6-1,0 (R. GUEVARA-CARRASCO com. per), de 0,6-0,8 para k y 20-22 para L_{∞} del modelo de von Bertalanffy.

MODELO

La dinámica del stock de anchoveta peruana fue modelada considerando como variables de estado al número de individuos $N_{y,a}$ y la longitud media $L_{y,a}$ de las diferentes cohortes, en donde y identifica a cada cohorte del stock y a es su edad. Considerando que la anchoveta tiene una longevidad de 2 a 3 años como máximo, en el modelo se asumió una edad máxima de 24 meses y dos reclutamientos al año, por lo que en cada instante la población se modela a partir de cuatro cohortes. Cada cohorte $N_{y,a}$ está caracterizada por el número de reclutas $R_0 = N_{y,0}$, la longitud media de la cohorte al reclutamiento $L_{y,0}$ y la dispersión de tallas dentro de la cohorte σ_y . Los procesos considerados en el modelo fueron el reclutamiento, crecimiento en longitud, mortalidad natural y mortalidad por pesca (como captura en número). Se consideran tres sub-modelos para: i) la dinámica de la cohorte, ii) el crecimiento en talla de la cohorte, iii) la captura para cada cohorte.

Dinámica de la cohorte.- Para modelar el número de individuos de cada cohorte $N_{y,a}$ se utilizó un modelo de extinción exponencial con capturas discretas al final del periodo:

$$N_{y,a+1}(t+1) = N_{y,a}(t) e^{-M} - Y_{y,a}(t) \quad (1)$$

para $a=0, \dots, t_{\infty}$. La mortalidad natural M (mes^{-1}) se considera como tasa infinitesimal, constante para todas las cohortes y durante todo el periodo estudiado.

Crecimiento de la cohorte.- La evolución de la longitud media de cada cohorte, $L_{y,a}$, se describió con un modelo de crecimiento discreto tipo von Bertalanffy:

$$\begin{aligned} L_{y,a+1}(t+1) &= L_{y,a}(t) + (L_{\infty} - L_{y,a}(t))(1 - e^{-k}) \\ &= L_{\infty} - (L_{\infty} - L_{y,a}(t)) e^{-k}, \end{aligned} \quad (2)$$

en donde L_{∞} es la longitud media máxima (asintótica) de una cohorte y k es la tasa a la cual la longitud asintótica es obtenida. La longitud media de la cohorte al reclutamiento $L_{y,0}$ es variable y se estima para cada cohorte. Se asume que las tallas de los individuos de la cohorte se distribuyen normalmente con media $L_{y,a}$ y varianza σ_y^2 (SCHNUTE y FOURNIER 1980). Así, $N_{y,a,x}$ el número de individuos de longitud $x \pm 0,25$ cm puede estimarse mediante la ecuación 3.

$$N_{y,a,x}(t) = N_{y,a}(t) \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sigma_y} e^{-\frac{(x-L_{y,a}(t))^2}{2\sigma_y^2}} \quad (3)$$

Adicionalmente, N_x el número total de individuos de longitud $\pm 0,25$ cm del stock, puede ser calculado considerando el aporte de individuos de dicha longitud de todas las cohortes, como se expresa en la ecuación 4.

$$\begin{aligned} N_x(t) &= \sum_y N_{y,a,x}(t) \\ &= \sum_y N_{y,a}(t) \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sigma_y} e^{-\frac{(x-L_{y,a}(t))^2}{2\sigma_y^2}} \end{aligned} \quad (4)$$

Captura.- La captura en número para cada cohorte fue modelada considerando la distribución de tallas dentro de cada cohorte. Así, la captura dentro de la cohorte para cada longitud se asumió proporcional al aporte relativo de esa cohorte al total de individuos de esa longitud en el stock.

$$Y_{y,a}(t) = \sum_x Y_x(t) \frac{N_{y,a,x}(t)}{N_x}, \quad (5)$$

en donde $Y_x(t)$ es la captura en número observada para los individuos de longitud $x \pm 0,25$ cm. Esto es equivalente a transformar los datos de la pesca a edad utilizando una clave talla-edad generada a partir de la estructura simulada de la población, introduciendo la captura por edad en la ecuación (1).

ESTIMACIÓN DE BIOMASAS

La biomasa por tallas de la población puede ser estimada por $B_x = w(x)N_x$ en donde $w(x)$ es el peso promedio de los individuos de longitud x , el cual fue calculado a partir de la relación longitud-peso obtenida de la pesquería. Considerando las anteriores ecuaciones, la biomasa total B es:

$$\begin{aligned} B(t) &= \sum_x B_x(t) \\ &= \sum_x \sum_y w(x)N_{y,a}(t) \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sigma_y} e^{-\frac{(x-L_{y,a}(t))^2}{2\sigma_y^2}} \end{aligned} \quad (6)$$

De manera similar, la biomasa del stock desovante SSB puede estimarse considerando los individuos por encima de la talla de madurez L_M :

$$SSB(t) = \sum_{x \geq L_M} \sum_y w(x)N_{y,a}(t) \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sigma_y} e^{-\frac{(x-L_{y,a}(t))^2}{2\sigma_y^2}} \quad (7)$$

Las estimaciones de biomasa proporcionadas por el modelo son útiles para validar las salidas usando los datos proporcionados por los cruceros científicos.

La definición de las variables, parámetros y constantes utilizadas en el modelo se muestra en la Tabla 1.

CALIBRACIÓN

Los parámetros a estimar fueron la abundancia inicial R_0 , longitud media L_0 y dispersión σ de cada uno de los 98 reclutamientos semestrales y de las cuatro cohortes iniciales. Se estimó además la mortalidad natural y los parámetros de crecimiento de von Bertalanffy dentro de los rangos mencionados, resultando en un total de 309 parámetros. Se estimaron dos funciones de error para las biomasa y las capturas, calculando (i) los errores entre las biomasa observadas durante los cruceros de evaluación acústica y las biomasa mensuales calculadas por el modelo y (ii) los errores entre las capturas mensuales y las capturas estimadas por el modelo. El problema de optimización no-lineal multiobjetivo asociado a minimizar ambas funciones de error simultáneamente fue solucionado utilizando el algoritmo evolutivo PBIL (Population Based Incremental Learning) con una versión modificada

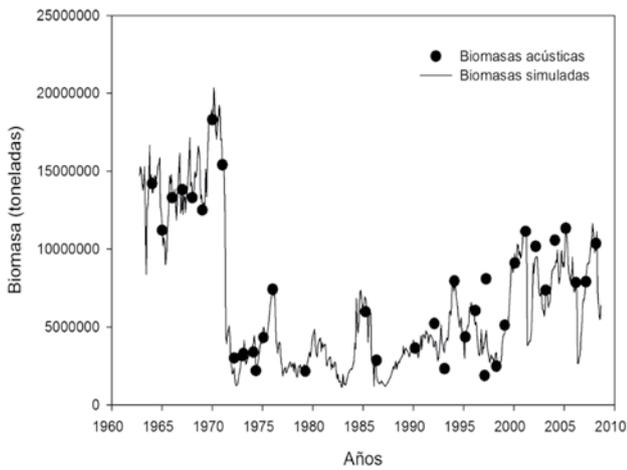


Figura 1.- Comparación entre las biomases mensuales simuladas (línea) y las estimaciones acústicas de biomasa (círculos sólidos) entre 1962-2008.



Figura 2.- Biomasa total (línea sólida) y biomasa desovante promedio anual (línea cortada), calculadas para el año biológico (Oct-Set) entre 1962-2008.

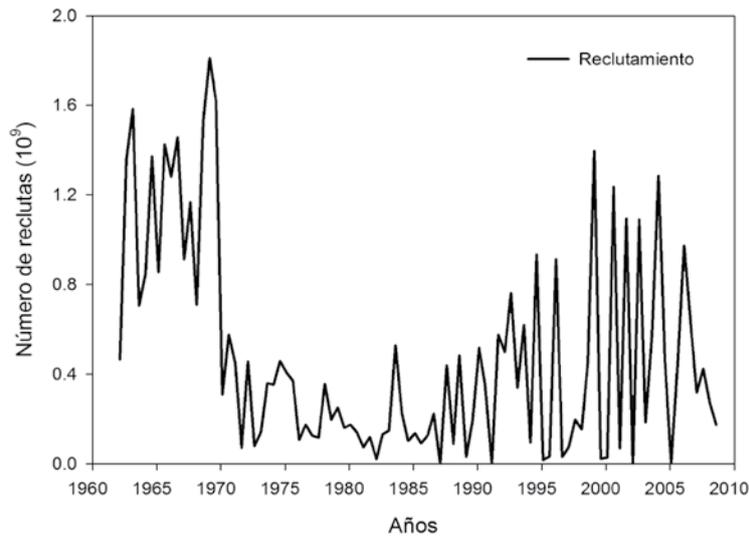


Figura 3.- Abundancia de los reclutas entre 1962 y 2008. Se muestran el número de individuos de cada reclutamiento, dos veces por año, en febrero y agosto.

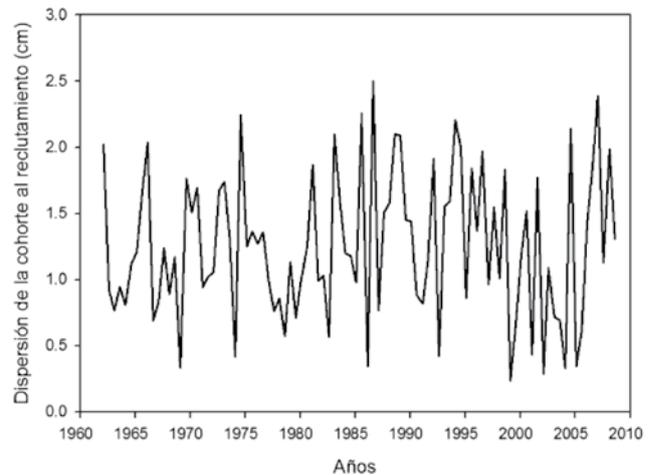
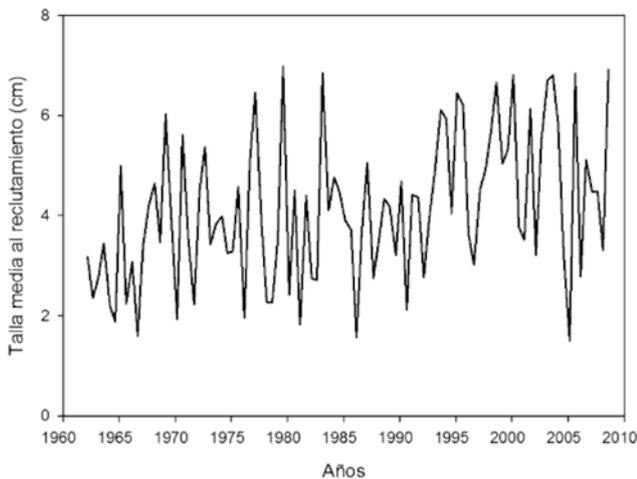


Figura 4.- Longitud y dispersión de las cohortes al reclutamiento entre 1962 y 2008. Se muestra la longitud media de la cohorte (izquierda) y la dispersión de la cohorte (derecha) al reclutamiento. Se asume que los reclutamientos ocurren dos veces al año, en febrero y agosto.

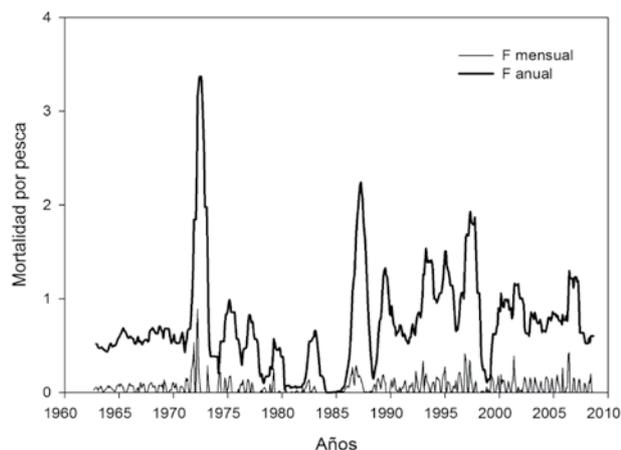


Figura 5.- Mortalidades por pesca (F) mensuales (línea delgada) y anuales (línea gruesa) entre 1962 y 2008. Las mortalidades anuales se calcularon cada mes sumando las últimas 12 mortalidades mensuales.

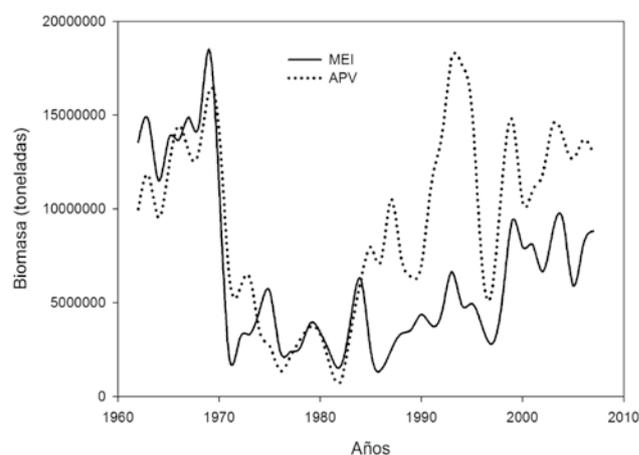


Figura 6.- Biomasa media del stock norte-centro estimada por el modelo de evaluación integrada (línea sólida) y por un análisis de población virtual (línea punteada).

del operador genético del individuo óptimo (DUBOZ, 2010) para considerar la diferencia de escala entre los distintos parámetros (e.g. abundancia y longitud).

El modelo de dinámica poblacional y el algoritmo de calibración fueron implementados en el lenguaje R (R Development Core Team 2010).

Resultados y discusión

Las biomásas simuladas con el Modelo de Evaluación Integrada (MEI) mostraron un buen ajuste con las observaciones de biomásas acústicas (Fig. 1), con un coeficiente de determinación superior a 0,8.

Las biomásas medias anuales estimadas en toneladas, fluctuaron entre 1,4 millones (años 1986-1987) y 18,5 millones (años 1969-1970). La biomasa media promedio durante el periodo estudiado fue de 6,6 millones, con una desviación estándar de 4,3 millones, lo que evidencia la gran variabilidad de la biomasa de anchoveta (Fig. 2). Durante el periodo previo al colapso de la pesquería de 1971, la biomasa media promedio fue de 13,5 millones. Este promedio disminuyó hasta 3,2 millones de toneladas durante el periodo de 1972-1991, subiendo luego a 6,6 millones en adelante. Esto nos permite identificar tres periodos cualitativamente distintos para la anchoveta, mostrando también que el stock norte-centro se ha recuperado después del colapso de la pesquería de 1971, pero sin alcanzar los niveles históricos anteriores.

El reclutamiento simulado dos veces al año fue en promedio de $4,75 \times 10^{11}$ individuos, con una desviación estándar de $4,78 \times 10^{11}$ lo que evidencia también la gran

variabilidad del reclutamiento (Fig. 3). La longitud media de ingreso de cada nueva cohorte a los tres meses fue de 4,54 cm, con una dispersión promedio de 1,24 cm (Fig. 4). En la abundancia en los reclutamientos se observan como en las biomásas, tres periodos: alto, bajo y medio. En las longitudes al reclutamiento y la dispersión de cada cohorte no se observaron diferencias en los periodos anteriormente mencionados.

Se calcularon mortalidades por pesca mensuales (Fig. 5), tomando la razón entre la captura y la biomasa mensual simulada (PAULY Y PALOMARES 1989). La mortalidad por pesca anual acumulada fue estimada en cada mes sumando las mortalidades de los últimos doce meses. El máximo valor se observó en 1972, con un $F=3,37$, observándose también un pico importante en 1987 ($F=2,24$). Tomando como referencia el año biológico, las mortalidades por pesca anuales tuvieron una mediana de $F=0,63$, y el 90% de los valores se encontraron en el rango de 0,06-1,63.

Las comparaciones con un Análisis de Población Virtual (APV) independiente (GUEVARA-CARRASCO com. pers.), muestran de manera general concordancia en las tendencias con los resultados del modelo (Fig. 6), aunque se observan discrepancias importantes entre 1985-1995, sobre todo en la magnitud de las biomásas estimadas. Esto puede deberse a que este modelo considera tanto la información de las estimaciones acústicas como de la pesquería de manera conjunta, y no asume que la información de la pesquería es exacta, como es asumido en el APV para la matriz de capturas. Por otro lado, tanto los parámetros de la ecuación de von Bertalanffy (k y L_{∞}) y la mortalidad natural (M) fueron calibrados por el modelo, y asumidos constantes durante todo el periodo estudiado. Esta última

Tabla 1.- Variables, parámetros y constantes utilizadas en el modelo de la dinámica poblacional de la anchoveta peruana.

Símbolo	Definición	Valor	Unidades
R	Número de reclutas, $N_{y,0}$		peces
$N_{y,a}$	Número de individuos de la cohorte y y edad a		peces
$N_{y,a,x}$	Número de individuos de la cohorte y con edad a y longitud $x \pm 0,25$ cm		peces
N_x	Número de individuos del stock con longitud $x \pm 0,25$		peces
$L_{y,0}$	Longitud media de la cohorte y al reclutamiento		cm
$L_{y,a}$	Longitud media de la cohorte y y edad a		cm
L_M	Longitud a la madurez de la anchoveta peruana	12,0 (Pauly et al. 1987)	cm
L_∞	Longitud máxima de un adulto de anchoveta	20,6 (Pauly et al. 1987)	cm
k	Tasa de crecimiento individual de la anchoveta	1,26 (Pauly et al. 1987)	año ⁻¹
σ_y^2	Varianza de las tallas de los individuos de la cohorte y		peces ²
$w(x)$	Peso promedio de los individuos con longitud $x \pm 0,25$ cm		g peces ⁻¹
Y	Captura en número total		tons
$Y_{y,a}$	Captura en número de individuos de la cohorte y y edad a		peces
M	Tasa instantánea de mortalidad natural	0,6-1,0 (IMARPE 2000)	año ⁻¹
B_x	Biomasa de los individuos con longitud $x \pm 0,25$ cm		tons
B	Biomasa total del stock		tons
SSB	Biomasa del stock desovante		tons
γ_x	Abundancia relativa de la clase B_x		tons tons ⁻¹

asunción (la estabilidad de los parámetros) debe ser revisada en futuras actualizaciones del modelo, tanto para incorporar variabilidad estacional como interdecadal (regímenes de productividad).

A pesar de ser un modelo basado en edades, la forma en que se parametriza el reclutamiento (considerando abundancia, longitud y dispersión) permite que se puede calibrar directamente el modelo con información basada en longitudes, a diferencia de otros métodos basados en edad que requieren de la transformación previa de los datos vía una clave talla-edad. Así mismo, el paso mensual del modelo permite aprovechar mejor la información recopilada por el IMARPE, en oposición a la agregación de los datos sobre una base anual en modelos como el APV. En este sentido, este modelo se presenta como una buena alternativa para la predicción a corto plazo de la estructura poblacional de la anchoveta peruana.

Conclusiones

- El modelo permite reproducir la estructura mensual de la población de anchoveta peruana, utilizando para su calibración información de la pesquería y de los cruceros científicos.
- Se distinguen tres periodos cualitativamente distintos en la dinámica de anchoveta, entre 1961-1971, 1971-1991 y 1991 al presente. Esto se aprecia tanto en las biomásas medias anuales como en los niveles de abundancia del reclutamiento simulado.

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

- ARANDA M. 2009. Developments on fisheries management in Peru: The new individual vessel quota system for the anchoveta fishery. *Fisheries Research* 96 (2009) 308–312.
- DÍAZ E. 2005. Eficiencia de la flota de cerco en función a la distribución espacial de la anchoveta peruana (*Engraulis ringens*) entre 1998 y el 2001. Tesis para optar el Título de Biólogo. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. 71 pp.
- DUBOZ R, VERSMISSE D, TRAVERS M, RAMAT E, SHIN Y. 2010. Application of an evolutionary algorithm to the inverse parameter estimation of an individual based model. *Ecol. Model.*, doi:10.1016/j.ecolmodel.2009.11.023.
- FOX W. 1970. An exponential surplus-yield model for optimizing exploited fish population. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 1: 80 – 88.
- FREÓN P, BOUCHON M, MULLON C, GARCIA C, ÑIQUE M. 2008. Interdecadal variability of anchoveta abundance and overcapacity of the fishery in Peru. *Progress in Oceanography*, 79(2-4): 401-412.
- GUTIÉRREZ M. 2000. Estimados de biomasa hidroacústica de los cuatro principales recursos pelágicos en el mar peruano durante 1983 -2000. *Bol. Inst. Mar Perú.* 19(1-2): 136-156.
- HILBORN R, WALTERS C, 1992. *Quantitative Fisheries Stocks Assessment. Choice, Dynamics and Uncertainty.* Chapman & Hall. USA, 570 pp.
- MAUNDER M, PUNT A. 2004. Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. *Fisheries Research* 70: 141–159.
- PAULY D, PALOMARES ML. 1989. New estimates of monthly biomass, recruitment and related statistics of anchoveta (*Engraulis ringens*) off Peru (4-14°S), p.189-206. En: Pauly D, Muck P, Mendo J y Tsukayama I. (eds.) *The Peruvian upwelling ecosystem: dynamics and interactions.* ICLARM Conference Proceedings 18, 428 pp.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. 2010. *R: A language and environment for statistical computing.* R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>
- SCHNUTE J, FOURNIER D. 1980. A new approach to Length-Frequency Analysis: Growth Structure. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37: 1337-1351.
- SCHAEFER M. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries. *Bull. Inter- Am. Trop. Tuna Comm.* 1(2): 27- 56.
- SCHAEFER M. 1967. Dinámica de la pesquería de la anchoveta *Engraulis ringens* en el Perú. *Bol. Inst. Mar Perú* 1(5): 192-303.