



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

CONSEJO DIRECTIVO IMARPE 2010

Presidente

Contralmirante (r) HÉCTOR SOLDI SOLDI (Hasta 30 enero 2010)
Contralmirante (r) JORGE BROUSSET BARRIOS (Desde 1 febrero 2010)

Vicepresidente

Contralmirante JAVIER GAVIOLA TEJADA

Directores

Ingeniero JORGE VÉRTIZ CALDERÓN
Ingeniero JOSÉ SARMIENTO MADUEÑO
Doctor LUIS ICOCHEA SALAS (Hasta 16 de setiembre 2010)
Ingeniero FRANCISCO PUENTE VILLACHICH (Desde 17 setiembre 2010)
Ingeniero CÉSAR VARGAS FAUCHEUX (Desde 9 noviembre 2010)

Director Ejecutivo

Economista GODOFREDO CAÑOTE SANTAMARINA

CARGOS DIRECTIVOS EN LA DIRECCIÓN CIENTÍFICA IMARPE 2010

Director Científico

Biólogo RENATO GUEVARA-CARRASCO

Directores de Investigación

Recursos Pelágicos Nerfíticos y Oceánicos

Biólogo MIGUEL ÑIQUEN CARRANZA

Acuicultura, Gestión Costera y Aguas Continentales

Biólogo M. Sc. VÍCTOR YÉPEZ PINILLOS

Recursos Demersales y Litorales

Biólogo CARLOS BENITES RODRÍGUEZ

Pesca y Desarrollo Tecnológico

Ingeniero Pesquero CARLOS M. SALAZAR CÉSPEDES

Oceanografía

Bióloga CARMEN SOLEDAD GUZMÁN CÁRDENAS

Jefe de la Unidad de Investigación y Desarrollo

Bióloga EMIRA ANTONIETTI VILLALOBOS

Jefes de las Sedes Descentralizadas del IMARPE

Tumbes	Biólogo ISAÍAS GONZÁLEZ CHÁVEZ
Paíta, Piura	Ing. Pesq. LUIS BELTRÁN BALAREZO
Santa Rosa, Lambayeque	Biólogo Dr. JORGE LLANOS URBINA
Huanchaco, La Libertad	Biólogo Dr. ÁLVARO TRESIERRA AGUILAR
Chimbote, Áncash	Biólogo JUAN RUBIO RODRÍGUEZ
Huacho, Lima	Biólogo WALTER ELLIOTT RODRÍGUEZ
Pisco, Ica	Biólogo JORGE ZEBALLOS FLOR
Matarani, Arequipa	Ing. Pesq. MARCO QUIROZ RUIZ®
Ilo, Moquegua	Biólogo CARLOS RAÚL CASTILLO ROJAS
Puno	Ing. Pesq. MARCELIANO SEGURA ZAMUDIO



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

BOLETIN INSTITUTO DEL MAR DEL PERU
ISSN 0458-7766
Bol Inst Mar Perú Vol XXV(1-2), 2010

PORTADA: Afiche utilizado durante la realización, en la Sede IMARPE, del V Panel Internacional de Expertos en Evaluación de la Anchoqueta Peruana, en el Callao, del 10 al 14 de agosto 2009, referido a HACIA UN ENFOQUE ECOSISTÉMICO EN LA PESQUERÍA DE LA ANCHOVETA PERUANA, *Engraulis ringens* Jenyns.

© 2010 Instituto del Mar del Perú (IMARPE)
Esquina Gamarra y General Valle s/n
Casilla postal 22. Callao, Perú
Teléfono 625-0800
Fax: 429-9811
C. electrónico: imarpe@imarpe.pe

Jefa de la Unidad Investigación y Desarrollo
EMIRA ANTONIETTI VILLALOBOS
Editores
PEDRO G. AGUILAR FERNÁNDEZ
VIOLETA VALDIVIESO MILLA
LEONARDO ROMERO CHUMPITAZ

Registro de Depósito Legal: 2011-08399
Reservados todos los derechos de reproducción total o parcial, la fotomecánica y los de traducción.
Tiraje: 500 ejemplares
Terminado de imprimir: julio 2011

Distribución: canje, suscripción o compra

PUNTO & GRAFÍA S.A.C.
Av. Del Río 113, Pueblo Libre, Lima, Perú
Telef. Central (511) 332-2328
Correo electrónico: preprensa@puntoygrafia.com.pe

La información estadística, los mapas, figuras, términos y designaciones empleados en esta publicación científica son referenciales, no tienen valor oficial, y son de completa responsabilidad de los autores.

BOLETÍN
Instituto del Mar del Perú
ISSN 0458-7766
Volumen 25, Nos. 1 y 2
Enero – Diciembre 2010

CONTENIDO

QUINTO PANEL INTERNACIONAL DE EXPERTOS EN EVALUACIÓN DE LA ANCHOVETA PERUANA. CALLAO, 10 – 14 AGOSTO 2009

1. V Panel Internacional de Expertos en Evaluación de la Anchoveta Peruana (*Engraulis ringens* Jenyns)
(Hacia un enfoque ecosistémico en la pesquería de la anchoveta)
RENATO GUEVARA-CARRASCO, CLAUDIA WOSNITZA-MENDO, MIGUEL ÑIQUEN..... 7
2. Relación entre anchoveta y ambiente a diferentes escalas temporales
Relationships between anchovy and environment at different temporal scales
SARA PURCA, MICHELLE GRACO, DIMITRI GUTIÉRREZ, BORIS DEWITTE, JORGE TAM,
ARNAUD BERTRAND, FRANCISCO CHAVEZ, ROBERTO FLORES, JESÚS LEDESMA,
LUIS VÁSQUEZ, MONIQUE MESSIÉ, KATHERINE GOUBANOVA, OCTAVIO MORÓN,
CARMELA NAKAZAKI, SALVADOR PERALTILLA, SONIA SÁNCHEZ 13
3. Biología de la anchoveta peruana, *Engraulis ringens* Jenyns
Biology of Peruvian anchovy, *Engraulis ringens* Jenyns
MARILÚ BOUCHON, PATRICIA AYÓN, JULIO MORI, CECILIA PEÑA,
PEPE ESPINOZA, LARRY HUTCHINGS, BETSY BUITRON, ÁNGEL PEREA,
CARLOS GOICOCHEA, MONIQUE MESSIÉ 23
4. Relación entre anchoveta y otros componentes del ecosistema
Relationship between anchovy and other components of the ecosystem
JORGE TAM, VERÓNICA BLASKOVIC', ELISA GOYA, MARILÚ BOUCHON, MARC TAYLOR,
RICARDO OLIVEROS-RAMOS, RENATO GUEVARA-CARRASCO, SARA PURCA..... 31
5. Pescadores y aves marinas compitiendo por el mismo recurso: estrategias de forrajeo,
interacciones y consecuencias.
Fishers and seabirds competing for the same fish: Foraging strategies,
interactions and consequences
SOPHIE BERTRAND, ELISA GOYA, JAIME SILVA 39
6. Tradeoff analysis for anchoveta management in Peru
CHRISTOPHER COSTELLO, ANDREW RASSWEILER, STEVEN GAINES..... 45
7. 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 anchovy
Engraulis ringens Jenyns
RICARDO OLIVEROS-RAMOS, RENATO GUEVARA-CARRASCO, JOHN SIMMONDS,
JORGE CSIRKE, FRANCOIS GERLOTTO, RAMIRO CASTILLO, JORGE TAM 49

8.	Evaluación del stock norte – centro de la anchoveta peruana (<i>Engraulis ringens</i> Jenyns) por un modelo estadístico estructurado por edades Assessment of the north – center stock of Peruvian anchoveta (<i>Engraulis ringens</i> Jenyns) using an age - structured model ÉRICH DÍAZ, CHRISTIAN GARCÍA, DANTE ESPINOZA, RENATO GUEVARA-CARRASCO, JORGE CSIRKE, MIGUEL ÑIQUEÑ, NATHALY VARGAS, JUAN ARGÜELLES	57
9.	Comparación de los impactos ambientales y aspectos socio-económicos de las cadenas de producción de anchoveta Comparison of environmental impacts and socio-economical aspects of the Peruvian anchovy supply chains PIERRE FRÉON, MARILÚ BOUCHON, CARLOTA ESTRELLA Con participación de: MARÍA BERNUY, YURI LANDA, M. SYLVESTRE VOISIN	63
10.	Evaluación de riesgo ecológico Ecological risk assessment CLAUDIA WOSNITZA-MENDO, ASTRID JARRE, MIGUEL ÑIQUEÑ, RENATO GUEVARA-CARRASCO	73
11.	Estandarización de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de la flota industrial de cerco del stock norte-centro de la anchoveta peruana (<i>Engraulis ringens</i> Jenyns) Standardization of the catch per unit effort (CPUE) of the industrial purse seine fleet extracting the north-center stock of the Peruvian anchovy (<i>Engraulis ringens</i> Jenyns) DANTE ESPINOZA-MORRIBERÓN, RICARDO OLIVEROS-RAMOS, ÉRICH DÍAZ	81
	Instrucciones a los autores	85

V Panel Internacional de Expertos en Evaluación de la Anchoveta Peruana (*Engraulis ringens* Jenyns)

(Hacia un enfoque ecosistémico en la pesquería de la anchoveta)

RENATO GUEVARA-CARRASCO¹ CLAUDIA WOSNITZA-MENDO¹ MIGUEL ÑIQUEN¹

Introducción

Antecedentes

Las ideas primarias relacionadas al enfoque ecosistémico se pueden remontar a instrumentos y acuerdos internacionales que datan desde la década de los años 70 (v.g. la Declaración de Estocolmo en la Conferencia sobre el Medio Humano en 1972); sin embargo, fue la Declaración de Reykjavik sobre la Pesca Responsable en el Ecosistema Marino, en 2001, la que explícitamente reconoció la necesidad de adoptar un enfoque más integral en la ordenación de las pesquerías, que tenga en consideración no sólo a las especies objetivo, sino también a las otras especies del ecosistema impactadas directa e indirectamente. Esta reunión puso sobre la agenda internacional la necesidad de desarrollar los aspectos técnicos para aplicar el enfoque ecosistémico a la ordenación de la pesca, y recibió el respaldo político en la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible de Johannesburgo, en 2002. Desde entonces, la comunidad internacional viene desarrollando grandes esfuerzos para estandarizar conceptos y métodos, en una frenética carrera que permita su rápida implementación, debido al estado actual de muchas pesquerías a nivel mundial.

Sobre el enfoque ecosistémico en la pesca, la FAO (2003) planteó la siguiente definición: “Mediante el enfoque de ecosistemas en la pesca se procura equilibrar diversos objetivos sociales, teniendo en cuenta los conocimientos y las incertidumbres sobre los componentes bióticos, abióticos y humanos de los ecosistemas y sus interacciones, y aplicar a la pesca un enfoque integrado dentro de límites ecológicos fidedignos”. De este concepto se desprendía la necesidad que las administraciones abordaran un conjunto de temas complejos contenidos en la definición, para poder implementar este enfoque a las pesquerías. Pero al mismo tiempo, en la perspectiva nacional e institucional, esto no solo confirmaba el rol

del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) como la institución responsable de establecer las bases científicas para la ordenación, sino también le planteaba el reto de abordar una temática de investigación de mayor complejidad.

Con estas consideraciones, el IMARPE comenzó hace casi una década a reestructurar su programa de investigaciones con el fin de: a) obtener la mejor información básica sobre el funcionamiento y dinámica del ecosistema del mar peruano, manteniendo la continuidad del registro histórico de las principales variables biológicas y ambientales; b) reforzar los estudios sobre interacciones entre especies e incertidumbre ambiental, para poder desarrollar modelos ecológicos, y eventualmente incluir en ellos las dimensiones social y económica de la pesca; y c) organizar grupos de trabajo multidisciplinarios para poder abordar la complejidad de las investigaciones ecosistémicas.

Un primer paso importante en esta nueva tarea fue la organización de la Conferencia Internacional “THE HUMBOLDT CURRENT SYSTEM: CLIMATE, OCEAN DYNAMICS, ECOSYSTEM PROCESSES AND FISHERIES” efectuada en Lima, Perú, entre noviembre y diciembre del 2006, con la participación de 300 investigadores, provenientes de 27 países, quienes proporcionaron una síntesis del conocimiento sobre la biología y hábitat de la anchoveta y otros recursos del ecosistema. Los resultados de esta conferencia se publicaron en un número especial de la revista *Progress in Oceanography* (2008). Otro paso concreto fue el desarrollo del III Panel de expertos en evaluación de la merluza peruana (*Merluccius gayi peruanus*) en el 2008, con la participación de 26 expertos nacionales y extranjeros, en el cual se hizo una revisión del estado de ese recurso demersal y la variación de su entorno, y a diferencia de los dos paneles anteriores, tuvo una fuerte connotación

¹ Instituto del Mar del Perú

de enfoque ecosistémico (IMARPE 2009). Los logros significativos de estas acciones constituyeron un incentivo en el nuevo rumbo que tomaban los trabajos de investigación del IMARPE. Como consecuencia de ello, desde el 2009 se planificó el organizar un panel de expertos con un enfoque ecosistémico, para la pesquería más importante del Perú: la de anchoveta (*Engraulis ringens*).

En los últimos años, el país había dado pasos efectivos para mejorar la ordenación pesquera de la anchoveta, como son: a) el establecimiento de un sistema de vigilancia satelital de las embarcaciones pesqueras, que ha permitido la aplicación de vedas espaciales para la protección de juveniles, b) el establecimiento de un sistema de registro y control de los desembarques (financiado por las propias empresas) que ha contribuido a disminuir la pesca ilegal y no registrada; y c) más recientemente la aplicación de un sistema de cuotas individuales de captura, llamadas "Límites máximos de captura por embarcación", que permitió alargar la temporada de pesca, evitando la llamada "carrera olímpica" (en la que cada embarcación trataba de pescar la mayor cantidad en el menor tiempo posible), reducir el número de embarcaciones activas, y algunos otros avances de naturaleza socio-económica; pero asimismo, ha planteado la necesidad de reforzar sustantivamente el sistema de vigilancia y control de cada embarcación activa, para evitar las debilidades de este sistema de ordenación.

Por otro lado en la última década, la investigación de la variabilidad del clima, asociada a la dinámica de la anchoveta, produjo el surgimiento de nuevos paradigmas que permitían aparentemente explicar el porqué de la alternancia entre las especies del sistema pelágico del mar peruano. Al respecto, CHAVEZ et al. (2003) en base a la comparación de las tendencias en una serie de variables ambientales (atmosféricas, oceanográficas y biológicas), propuso la existencia de ciclos multidecadales de 25 a 30 años de duración con fases frías ("La Vieja") y cálidas ("El Viejo"), muy correlacionados con la mayor/menor presencia de anchoveta y sardina (*Sardinops sagax*) respectivamente. De ese estudio se desprendía que la fase predominante en los últimos años correspondía a la fase fría o "La Vieja", y por tanto más favorable a la anchoveta.

La idea de la existencia de periodos climáticos que se alternan, favoreciendo a unos recursos y afectando a otros, ha marcado en gran medida la toma de decisiones en materia de ordenación pesquera en el Perú desde los años 90, particularmente en la pesquería pelágica de anchoveta y sardina. Así por ejemplo, la evaluación realizada por CSIRKE et al. (1996) de los stocks de anchoveta y sardina, reforzó las evidencias

científicas de la existencia de condiciones ambientales que favorecían más a la anchoveta y desfavorecían a la sardina, y una interpretación de estos resultados, realizada por la administración, se utilizó para la decisión de pescar el último reclutamiento importante observado de sardina en 1998, en el entendido que el recurso iba a seguir declinando por causas naturales, con o sin pesca. En los últimos años, esta idea también ha traído como consecuencia, la preocupación natural de hasta cuándo podría durar este periodo ambiental favorable para la anchoveta, y en la perspectiva de adoptar un enfoque ecosistémico, ha planteado el problema de cómo determinar la línea base para fijar los puntos de referencia para la ordenación.

El Instituto del Mar del Perú (IMARPE) convocó y organizó el V Panel Internacional de Expertos en evaluación de la anchoveta peruana (*Engraulis ringens* Jenyns), que se realizó entre el 10 y 14 de agosto de 2009 con el apoyo de la FAO, IRD, MBARI, y la Universidad de California, Santa Bárbara y la participación de científicos de Francia, Sudáfrica, Estados Unidos y Perú (Figura 1). Posteriormente, en marzo del 2010, se desarrolló una nueva reunión de seguimiento, con dos fines: 1) preparar los resultados del Panel para Publicación, y 2) llevar a cabo una Evaluación de Riesgo Ecológico para el stock norte-centro de la anchoveta peruana.

Anteriormente, entre 1970 y 1973 el IMARPE, con el apoyo de la FAO, había organizado los primeros Cuatro Paneles Internacionales de Expertos en un escenario dominado primero por la preocupación debida al incremento en los niveles de pesca y luego por el abrupto colapso de la pesquería. En esta oportunidad, la convocatoria del V Panel respondió a un escenario completamente diferente, con un recurso cuya pesquería está considerada como bien administrada, con un manejo adaptativo que ha podido enfrentar eventos catastróficos como El Niño 1982-83 y 1997-98, con una explotación sostenible de más de 30 años consecutivos y que muchos expertos mundiales consideran como un ejemplo de manejo pesquero sostenible.

La anchoveta es una especie de pequeño tamaño, pelágica y costera, que sustenta la pesquería mono-específica más grande del mundo, en términos de volumen, generando ingresos de divisas del orden de 1500 millones de dólares y sobre la cual se han desarrollado numerosas investigaciones de toda índole. En particular, las investigaciones biológicas han permitido elucidar y describir los aspectos más importantes de su dinámica poblacional y su gran dependencia de la variabilidad de las condiciones climáticas. Las investigaciones sobre la anchoveta peruana se iniciaron a fines de los años 1950, pero cobraron mayor importan-

cia en los años 1960 con el apoyo de una misión de la FAO (VALDIVIA 2010) que fundó el IMARPE y estableció los programas básicos de estudios sobre su biología, oceanografía, depredadores superiores y aspectos económicos de la pesquería. Durante la etapa de crecimiento empezaron los estudios biológicos y dinámica poblacional, desarrollados, por JORDÁN (1963), SAETERSDAL y VALDIVIA (1964), SAETERSDAL et al. (1965), SCHAEFER (1967) y GULLAND (1968) en cooperación con el Departamento de Evaluación de Stocks de la FAO. A mediados de los años 1950, se inició un incremento progresivo en el esfuerzo pesquero, llegando a 1523 embarcaciones bolicheras en 1963 (LORA 1965) y 1744 en 1964 (CSIRKE y GUMY 1996) traduciéndose en capturas anuales del orden de 10 millones de toneladas (CSIRKE et al. 1996, ÑIQUEN et al., 2000). En el año 1972, a la intensa explotación del recurso se sumaron los efectos de un evento cálido de intensidad fuerte, El Niño 1972-73, los que conjuntamente con una administración pesquera poco rigurosa determinaron el colapso del stock y de la actividad pesquera, iniciándose un periodo de baja abundancia. Posteriormente se conoció que ello coincidió con el inicio de un régimen decadal cálido con condiciones menos favorables para este recurso (CSIRKE et al. 1996).

En los años siguientes, ante la disminución de la población de anchoveta, se adoptaron drásticas medidas de manejo para la recuperación del recurso, incluyendo un cambio de especie objetivo de la flota cerquera aprovechando el notable aumento de otras especies hasta esos momentos habían sido poco abundantes, como sardina, jurel, caballa y samasa, que se veían favorecidas por el nuevo régimen ambiental. Este panorama motivó una serie de artículos basados en estudios oceanográficos, biológicos y pesqueros sobre la anchoveta y el ecosistema, compilados en dos libros (PAULY y TSUKAYAMA 1987; PAULY et al. 1989), publicados por el IMARPE en cooperación con Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) de Alemania y el International Center of Living Aquatic Resources Management (ICLARM).

La progresiva recuperación de la población de anchoveta se registró después del evento El Niño 1982-83, pero particularmente desde inicios de los años 1990 (CSIRKE et al. 1996). Durante este periodo de estabilización y mantenimiento se produjo El Niño 1997-98 que encontró una población de anchoveta en mejor condición, lo cual asociado a una cuota de pesca prudente entre fines de 1997 e inicios de 1998 para mantener una biomasa desovante mínima, permitió su rápida recuperación. La última revisión de la situación de la anchoveta y su pesquería luego de El Niño 1997-98 se realizó en el año 2000, con la participación de todas las áreas involucradas en su estu-

dio, con trabajos que fueron expuestos y discutidos con expertos internacionales del IRD (Pierre Fréon y François Gerlotto) y del MBARI (Francisco Chávez), en el "Taller Internacional sobre la Anchoveta Peruana (TIAP)" (IMARPE 2000).

Cabe destacar que las nuevas investigaciones que ha emprendido el IMARPE en los últimos años, cuentan con el soporte técnico de la cooperación internacional entre las que destaca el Convenio de Cooperación Científica, Técnica y de Formación entre el Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD) de Francia y el IMARPE, el cual tiene como objetivo realizar estudios integrados y multidisciplinarios del sistema pelágico en el ecosistema de afloramiento frente al Perú. Si bien esta cooperación se inició formalmente a partir del 2005, con duración hasta el 2009 (y proyección hasta el 2014), los primeros contactos para su materialización se remontan al año 2001.

Objetivo general del panel

Actualizar información sobre los procesos biológicos de la anchoveta y su dinámica poblacional frente a la variabilidad ambiental, en el marco de un enfoque ecosistémico, que permita caracterizar el rol actual de la anchoveta en el Ecosistema de Afloramiento frente al Perú, proporcionando mayores elementos para el desarrollo sustentable de su pesquería.

Objetivos específicos

- Actualizar el diagnóstico sobre el estado del stock norte-centro de anchoveta.
- Mejorar el conocimiento de la biología básica de la anchoveta y la interacción con sus principales depredadores.
- Caracterizar la actual función y estimar los requerimientos de la anchoveta en el Ecosistema de Afloramiento peruano bajo distintos escenarios, para lograr una pesquería sostenible.
- Realizar una sinopsis general del funcionamiento del ecosistema pelágico y su variabilidad, y una prognosis del estado más probable en los próximos 5 a 10 años.
- Proponer un esquema para la implementación del enfoque ecosistémico en la administración de la pesquería de anchoveta.

El primer día del panel consistió en una serie de presentaciones que comprendieron una introducción general al ecosistema peruano (M. ÑIQUEN, IMARPE), el enfoque ecosistémico al manejo pesquero (J. CSIRKE, FAO), variabilidad climática y pronóstico ecológico (F. CHAVEZ, MBARI), los determinantes espaciales y temporales del

hábitat productivo de la anchoveta (A. BERTRAND, IRD), sardina y anchoveta en el ecosistema de Benguela (L. HUTCHINGS, MCM), el uso de modelos ecosistémicos e indicadores en el proceso de toma de decisiones (A. JARRE, UCT), opciones bioeconómicas para pesquerías sostenibles (C. COSTELLO, UCSB) y la huella ecológica, económica y social de los diferentes componentes de la pesquería de anchoveta (P. FRÉON, IRD).

Los siguientes tres días se trabajó en seis grupos diferentes revisando y actualizando las series de tiempo que IMARPE colectó en los últimos 45 años, incluyendo datos de testigos de sedimentos de los últimos 500 años (GUTIÉRREZ et al. 2009) y se combinó éstos con series de tiempo globales. En el quinto y último día se presentaron los resultados y recomendaciones de cada grupo de trabajo al sector pesquero, participantes de universidades y ONG.

Conclusiones del panel

- 1) La población actual de anchoveta se encuentra en buenas condiciones, asociada a que el actual manejo, basado en las recomendaciones de IMARPE, ha mantenido en los últimos años tasas de mortalidad por pesca entre 0,6 y 0,8 (Tasa de Explotación <0,4; Mortalidad por pesca < 1,0).
- 2) La aplicación del modelo ECOPATH con ECOSIM, sugiere que aún sin pesca, las aves marinas requerirán más de 10 años para recuperar un nivel (aceptable) de 6 millones de aves. Se debe explorar cambios en el hábitat terrestre (áreas de anidación y de reposo) como una posible explicación complementaria para los bajos niveles de las aves.
- 3) Existen fuertes relaciones entre la variabilidad ambiental y cambios en la abundancia de la anchoveta.
- 4) Estas relaciones parecen estar ligadas a cambios en la abundancia del alimento de la anchoveta (plancton), o sea son de tipo 'bottom-up'.
- 5) La dieta de la anchoveta no ha cambiado del periodo de 1953 hasta el presente; la mayoría de su energía calórica la toma del macrozooplancton y en especial de los eufáusidos. Las dietas de la anchoveta y sardina son similares, aunque la sardina tiene preferencia por los copépodos.
- 6) Los parámetros que demuestran los cambios en el ambiente incluyen:
 - a) la profundidad de la termoclina (ej. 15 °C);
 - b) la concentración y la posición de la zona mínima de oxígeno;
 - c) la extensión de la zona productiva delimitada por el afloramiento de nutrientes y de las aguas costeras frías; y
 - d) la distribución y abundancia del macrozooplancton y principalmente de los eufáusidos.
- 7) Parte de la variabilidad ambiental corresponde a los eventos El Niño, los cuales tienen un mayor impacto durante los periodos decadales desfavorables para la anchoveta. Inversamente, cuando estos eventos se desarrollan en un periodo decadal favorable se observa una rápida recuperación de la anchoveta, en particular si está asociada a la aplicación de un manejo efectivo.
- 8) Grandes cambios en las poblaciones de anchoveta ocurren a una escala decadal. En los últimos 40 años se observan dos cambios de régimen o decadales, uno a condición cálida entre 1972 y 1976 y el otro a condición fría justo antes o después de El Niño 1997-98. Antes de 1972 había abundante anchoveta y después de 1976 incrementó la sardina y disminuyó fuertemente la anchoveta. Una leve recuperación de anchoveta se registró a comienzos de 1990 y regresó con fuerza después de El Niño 1997-98. La sardina ha desaparecido completamente de las capturas en los últimos años.
- 9) Durante el reciente periodo frío se ha prolongado el desove de la anchoveta, y el centro de la población se ha desplazado ligeramente al norte. La tasa de crecimiento de la anchoveta disminuye durante periodos cálidos.
- 10) Los testigos colectados de los sedimentos marinos permiten reconstruir una serie de tiempo de abundancia de anchoveta de al menos 200 años en el pasado. La serie demuestra que el periodo de abundancia de anchoveta que terminó en 1972, tuvo una duración de 100 años. Durante estos 100 años la abundancia de la anchoveta fluctuó con el ambiente a escalas decadales del orden de 20 a 30 años pero sin la aparición de sardina.
- 11) El patrón de variabilidad de la anchoveta en los primeros sesenta años del siglo veinte, es diferente a lo que se observó en California y Japón, donde hubo un incremento en la abundancia de la sardina entre 1920 y 1950. Estas diferencias sugieren que el ambiente frente al Perú tiende a ser más favorable a la anchoveta (versus la sardina) que las áreas en el hemisferio norte.
- 12) Hay indicios de un incremento de los vientos favorables al afloramiento, y de una ampliación de la zona de oxígeno mínimo frente al Perú, durante los últimos años. Estas tendencias pueden estar reforzadas por el cambio global.
- 13) El cambio global puede influenciar el ecosistema de la anchoveta en el Perú por:
 - a) un incremento de los vientos favorables al afloramiento;
 - b) un declive en los vientos alisios;
 - c) un incremento en la estratificación;
 - d) una expansión de la zona de oxígeno mínimo; y
 - e) la acidificación superficial.

- 14) Modelos bioeconómicos se pueden usar para estudiar las consecuencias de diferentes estrategias, y lograr el equilibrio deseado por el enfoque ecosistémico del manejo pesquero. Las presentes actividades del IMARPE están dirigidas a mejorar el enfoque ecosistémico del manejo pesquero.
- 15) En la reunión de seguimiento en marzo del 2010 se desarrolló una Evaluación de Riesgo Ecológico (ERE), con representantes de todos los usuarios de la pesquería de anchoveta (stock norte-centro), en sus tres dimensiones: "bienestar ecológico", "bienestar humano" y "capacidad de logro". Se dio prioridad a los temas conflictivos de la pesquería cuyo riesgo se clasificó tomando en cuenta el nivel de impacto que tendría al ocurrir y la probabilidad de que ocurra. Se identificaron 99 problemas de riesgo, de los cuales más de dos tercios fueron clasificados por consenso como alto o extremo. Casi la mitad de los riesgos altos y extremos estuvieron en la dimensión "capacidad de logro".

Escenarios ambientales más probables en el mediano plazo

Estas conclusiones nos permiten definir los siguientes escenarios en cuanto a la futura abundancia de la anchoveta:

- 1) Se proyecta que la influencia del cambio global no sea dominante sobre las variaciones decadales en los siguientes 10 años, pero debe, o puede, tomar más importancia después.
- 2) Dado un cambio de régimen en 1999, la presente condición fría y favorable para la anchoveta podría durar unos 10 años más, hasta aproximadamente el 2020.
- 3) Optimizando el actual manejo adaptativo existen buenas probabilidades que la anchoveta continúe como la principal especie frente al Perú, aunque a menores niveles de abundancia, consecuentes con el cambio de régimen.
- 4) Si no se toman las medidas adecuadas en el manejo y/o el cambio de régimen sea fuerte, existen altas probabilidades que otras especies reemplacen a la anchoveta como la especie dominante.
- 5) Considerando los efectos más probables del cambio climático global en la zona del Perú, es de esperar que las condiciones favorables para la anchoveta se mantengan o se incrementen.
- 6) Este posible incremento no sería ilimitado y no se debería descartar el desarrollo de condiciones muy pobres para el ecosistema en general; sin embargo, con el actual estado del conocimiento, este cambio es imposible de predecir.

Recomendaciones

- 1) Mantener el buen programa de monitoreo que existe en el IMARPE.
- 2) Desarrollar un índice del ambiente que sea función de los parámetros sensibles al cambio ambiental. Este índice será útil para pronosticar el futuro y para uso en modelos de predicción.
- 3) Revisar el programa de monitoreo para asegurar que este índice pueda calcularse con alta seguridad, como en particular con respecto al zooplancton.
- 4) Fortalecer la habilidad de predicción ambiental a escalas de meses, décadas y mayor de 20 años.
- 5) Integrar estos modelos de predicción ambiental con modelos de niveles tróficos mayores y con modelos económicos.
- 6) Fomentar la implementación del enfoque ecosistémico al manejo de las pesquerías.
- 7) A la luz de los resultados del grupo "pescadores y aves" y en base a los principios de (1) enfoque ecosistémico al manejo de las pesquerías y (2) enfoque precautorio, se recomienda:
 - Estimar, con la ayuda de modelos ecotróficos, la cantidad de anchoveta que sería conveniente 'reservar' para la alimentación de las aves.
 - Establecer zonas temporalmente cerradas a la pesca, alrededor de las principales colonias en los meses de reproducción de las aves. Los rangos máximos de forrajeo observados en guanayes y piqueros sugieren que un radio de 50 a 100 km alrededor de las colonias de nidificación permitiría proteger el forrajeo de estas especies en periodo de reproducción y así favorecer la sostenibilidad de sus poblaciones.
- 8) Convocar un nuevo panel de anchoveta en 5 años para determinar la cercanía a un cambio de régimen y la influencia del cambio global.

Referencias

- CHAVEZ FP, RYAN JP, LLUCH-COTA S, ÑIQUEN M. 2003. From anchovies to sardines and back. Multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science* 299: 217-221.
- CSIRKE J, GUEVARA-CARRASCO R, CÁRDENAS G, ÑIQUEN M, CHIPOLLINI A. 1996. Situación de los recursos anchoveta (*Engraulis ringens*) y sardina (*Sardinops sagax sagax*) a principios de 1994 y perspectivas para la pesca en el Perú, con particular referencia a las regiones norte y centro de la costa peruana. *Bol. Inst. Mar Perú* 15 (1): 1-23.
- CSIRKE J, GUMY AA. 1996. Análisis bioeconómico de la pesquería pelágica peruana dedicada a la producción de harina y aceite de pescado. *Bol Inst. Mar Perú, Callao*. 15(2): 68 pp.

- FAO. 2003. Fisheries Management. 2. The ecosystem approach to fisheries. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries, N°4 Suppl. 2. Rome, FAO. 112 pp.
- GULLAND JA. 1968. Informe sobre la dinámica de la población de anchoveta peruana. Bol. Inst. Mar Perú. 1(6):306-346. (Reprinted as: Report on the population dynamics of the Peruvian anchoveta, FAO Fish. Tech. Pap. 72. 29 pp.).
- GUTIÉRREZ D, SIFEDDINE A, FIELD DB, ORTLIEB L, VARGAS G, CHÁVEZ F, VELAZCO FP, FERREIRA V, TAPIA P, SALVATTECI R, BOUCHER H, MORALES MC, VALDÉS, J, REYSS L, CAMPUSANO A, BOUSSAFIR M, MANDENG-YOGO M, GARCÍA M, BAUMGARTNER T. 2009. Rapid reorganization in ocean biogeochemistry off Peru towards the end of the Little Ice Age. Biogeosciences, 6: 835-848.
- IMARPE. 2000. Trabajos expuestos en el Taller Internacional sobre la Anchoveta Peruana (TIAP). 9-12 mayo 2000. Bol. Inst. Mar Perú 19(1-2): 204 pp.
- IMARPE. 2009. II Panel de Expertos de evaluación de la merluza peruana (*Merluccius gayi peruanus*). Manejo Precautorio de la merluza peruana. Callao, 24-28 de marzo 2008. Bol. Inst. Mar Perú 24(1-2): 60 pp.
- JORDÁN R. 1963. Un análisis del número de vértebras de la anchoveta peruana (*Engraulis ringens* J.). Public. IREMAR Vol. 1(2): 25-43
- LORA J. 1965. Crecimiento de la flota pesquera industrial al 31 de diciembre de 1963. Inf. Inst. Mar Perú. Callao. 40 pp.
- ÑIQUEM M, ESPINO M, BOUCHON M. 2000. Análisis de la población de anchoveta peruana durante el periodo 1961-1999. Bol. Inst. Mar Perú 19(1-2): 103-107.
- PAULY D, TSUKAYAMA I. 1987. The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of change. ICLARM Studies and Reviews 15: 351 pp.
- PAULY D, MUCK P, MENDO J, TSUKAYAMA I. 1989. The Peruvian upwelling ecosystem: dynamics and interactions. ICLARM Proceedings 18: 438 pp.
- SCHAEFER M. 1967. Dinámica de la pesquería de anchoveta (*Engraulis ringens*) en el Perú. Bol. Inst. Mar Perú. 1(5): 191-303.
- SAETTERS DAL G, TSUKAYAMA I, ALEGRE B. 1965. Fluctuaciones en la abundancia aparente del stock de anchoveta en 1959-1962. Bol. Inst. Mar Perú. 1 (2): 33-104.
- SAETTERS DAL G, VALDIVIA J. 1964. Un estudio del crecimiento, tamaño y reclutamiento de anchoveta (*Engraulis ringens*) basado en datos de frecuencia de longitud. Bol. Inst. Inv. Rec. Marinos (IREMAR), Vol. 1 (4): 85-136.
- VALDIVIA J. 2010. Situación de la pesca en el Perú y la contribución de la FAO. En: La FAO en el Perú 1960 - 2010. 50 años de cooperación y asistencia técnica. FAO Perú, octubre 2010. pp. 97-105.



Figura 1.- Participantes del V Panel Internacional de Expertos en evaluación de la anchoveta peruana (*Engraulis ringens* Jenyns). IMARPE, 10 - 14 de agosto de 2009. Callao, Perú

Relación entre anchoveta y ambiente a diferentes escalas temporales

Relationships between anchovy and environment at different temporal scales

SARA PURCA^{1*}, MICHELLE GRACO¹, DIMITRI GUTIÉRREZ¹, BORIS DEWITTE^{1,4},
JORGE TAM¹, ARNAUD BERTRAND^{1,3}, FRANCISCO CHAVEZ², ROBERTO FLORES¹,
JESÚS LEDESMA¹, LUIS VÁSQUEZ¹, MONIQUE MESSIÉ², KATHERINE GOUBANOVA^{1,4},
OCTAVIO MORÓN¹, CARMELA NAKAZAKI¹,
SALVADOR PERALTILLA¹, SONIA SÁNCHEZ¹

Resumen

PURCA S, GRACO M, GUTIÉRREZ D, DEWITTE B, TAM J, BERTRAND A, CHAVEZ F, FLORES R, LEDESMA J, VÁSQUEZ L, MESSIÉ M, GOUBANOVA K, MORÓN O, NAKAZAKI C, PERALTILLA S, SÁNCHEZ S. 2010. *Relación entre anchoveta y ambiente a diferentes escalas temporales*. *Bol Inst Mar Perú* 25(1-2):13-21.- Se estudió la relación del ambiente y la anchoveta peruana (*Engraulis ringens*) en el Ecosistema de Afloramiento Peruano (EAP). Se hipotetiza que en la zona de afloramiento comprendida entre 5°S - 13°S se presenta una relación negativa entre la temperatura, concentración de oxígeno y desembarques de anchoveta en escalas de tiempo decadales. En series de tiempo mensuales observadas entre 1950 – 2008, se analizó la temperatura superficial, subsuperficial, oxígeno, clorofila-a y desembarques de anchoveta y sardina, aplicando métodos estadísticos y espectrales para obtener modos temporales decadales y caracterizar la modulación a baja frecuencia de sus ciclos estacionales. También se usaron datos de reanálisis para caracterizar los cambios estacionales a partir de los forzamientos (remoto y local) ambientales del EAP. Se encontró una fuerte asociación a escala decadal entre las series ambientales costeras y los desembarques de anchoveta y se sugiere que la covariabilidad ambiental en escalas temporales interanuales, intraestacionales, decadales, seculares frente al EAP se incrementará durante la próxima década.

PALABRAS CLAVE: variabilidad decadal, anchoveta, sardina, Ecosistema de Afloramiento Peruano.

Abstract

PURCA S, GRACO M, GUTIÉRREZ D, DEWITTE B, TAM J, BERTRAND A, CHAVEZ F, FLORES R, LEDESMA J, VÁSQUEZ L, MESSIÉ M, GOUBANOVA K, MORÓN O, NAKAZAKI C, PERALTILLA S, SÁNCHEZ S. 2010. *Relationships between anchovy and environment at different temporal scales*. *Bol Inst Mar Peru* 25(1-2):13-21.- The relationship between the environment and the Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) was studied in the Peruvian Upwelling Ecosystem (PUE). It is hypothesized that in the upwelling zone between 5°S and 13°S there is a negative relationship between temperature, oxygen concentration and landings of anchoveta at decadal timescales. In monthly time series observed between 1950 – 2008, the sea surface temperature, subsurface temperature, oxygen, chlorophyll-a, anchoveta and sardine landings were analyzed applying statistical and spectral methods to obtain decadal temporal modes and characterize the low frequency modulation of their seasonal cycles. In addition, reanalysis data were used to characterize the seasonal changes from the environmental forcing (remote and local) of PUE. Strong associations at decadal scales between coastal environmental and anchoveta landings time series were found, and it is suggested that environmental covariability at seasonal, intraseasonal, interannual, decadal and secular time scales in PUE will increase during the next decade.

KEYWORDS : decadal variability, anchoveta, sardine, Peruvian upwelling ecosystem.

1 Instituto del Mar del Perú, Esquina Gamarra y Gral. Valle s/n, Apartado 22, Callao, Perú.

2 Monterey Bay Aquarium Research Institute, 7700 Sandholdt Rd. Moss Landing, CA95039 USA.

3 Institut de Recherche pour le Développement (IRD), CRH, Avenue Jean Monnet, BP 171, 34203 Sète Cedex, France.

4 LEGOS-IRD/CNES 14, Av. Edouard Belin 31400 Toulouse, France.

* Coordinación: spurca@imarpe.pe, Esquina Gamarra y Gral. Valle s/n, Chucuito-Callao, Perú.

Introducción

La anchoveta en el Perú sustenta la mayor pesquería mono-específica del mundo, y ha sido recientemente catalogada como una de las pesquerías mejor manejadas (ALDER y PAULY 2008). Los desembarques de la anchoveta muestran una alta variabilidad en diferentes escalas temporales las cuales estarían asociadas con el afloramiento costero (BRINK et al. 1983, HUYER et al. 1991, STRUB et al. 1998) y el ciclo El Niño Oscilación Sur (ENOS) (CHAVEZ et al. 2008). Si bien los avances científicos han sido significativos en el estudio de la anchoveta, principalmente en aspectos ecológicos y de manejo a partir de un enfoque ecosistémico, es necesario profundizar más algunos aspectos, en relación a la variabilidad climática sobre este recurso y su interacción con el ambiente en el EAP.

En este contexto, el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) organizó el V Panel Internacional de Expertos en Evaluación de la Anchoveta Peruana entre el 10-14 de Agosto de 2009, con científicos de Francia, Sudáfrica, Estados Unidos y Perú. El propósito de este panel fue actualizar información sobre los procesos biológicos de la anchoveta, su estado poblacional, conocer mejor sus capacidades adaptativas, así como la situación de su entorno biótico y abiótico frente a la variabilidad ambiental, en el marco de un enfoque ecosistémico. A partir de los resultados obtenidos se espera caracterizar el rol actual de la anchoveta en el EAP, proporcionando mayores elementos para el desarrollo sostenible de su pesquería.

El objetivo de este grupo fue caracterizar el ambiente donde habita la anchoveta peruana. Se utilizaron diferentes aproximaciones temporales (estacional, interanual, decadal) para cumplir con este objetivo.

Los estudios realizados sobre las variaciones de la población de anchoveta indican importantes fluctuaciones a diferentes escalas de tiempo. A escalas seculares, estudios paleoceanográficos recientes para el Sistema de la Corriente de Humboldt (SCH) muestran una dramática declinación de pequeños pelágicos, tales como la anchoveta, asociada a importantes cambios ambientales, como disminución de la productividad primaria y reducción de la zona mínima de oxígeno, lo cual ocurrió durante 400 años hasta el final de la Pequeña Edad de Hielo (PEH) cerca de 1820. A partir de esta época se produjo un cambio, y se establecieron condiciones similares a las actuales en el SCH, con una importante abundancia de pequeños pelágicos, una alta producción primaria, y una intensa zona de mínima de oxígeno (GUTIÉRREZ et al. 2008, SIFEDDINE et al. 2008, VALDÉS et al. 2008).

En los últimos 50 años, los estudios indican importantes fluctuaciones en la población de anchoveta asociadas a cambios de gran escala en la temperatura del océano y en la posición de la termoclina, existiendo regímenes fríos y calientes, similares a los cambios observados interanualmente durante El Niño - La Niña en el ciclo El Niño Oscilación Sur (ENOS) (CHAVEZ et al. 2003, AN 2009).

En efecto, ENOS frente a la costa peruana aparece como un factor clave que conduce a cambios interanuales significativos en el EAP, impactando y conectando otras escalas de variabilidad de alta y baja frecuencia (CHAVEZ et al. 2008). Por ejemplo, una fuerte disminución en los desembarques de anchoveta se observó durante El Niño 1982-83 cuando las anomalías de temperatura superficial del mar (TSM) se incrementaron (BARBER y CHAVEZ 1983) y después en 1997. Adicionalmente, un nuevo tipo de El Niño se presentó durante esta última década, donde las anomalías positivas de TSM se confinaron al área del Pacífico Central Tropical [5N-5S, 150-90W] (KUG et al. 2009). Además del impacto ambiental, es importante considerar igualmente que parte de la variabilidad de la anchoveta se asocia al efecto de la sobrepesca, siendo la declinación de este recurso antes de los años 1990, fuente de importantes debates en la comunidad científica.

Las condiciones climáticas del EAP resultan de la interacción del sistema atmosférico de la cuenca del Pacífico Sur con el océano, combinado con el efecto local de la diferencia termal causada por la interacción tierra/mar en la costa (BRINK et al. 1983, STRUB et al. 1998). El afloramiento costero se extiende frente a toda la costa de Perú (5 - 18°S) con un impacto de aproximadamente 100 km costa-océano, generando condiciones frías (~16 °C) y una termoclina somera (20 - 50 m) mantenida por una capa de EKMAN somera (HALPERN 2002). Una alta productividad caracteriza la zona, con altas concentraciones de clorofila-a principalmente cerca a la costa, y con una mayor extensión entre los 11 - 15°S como respuesta a la intensificación del afloramiento (Fig. 1). Por su parte, si bien el sistema se caracteriza por la presencia de una intensa Zona de Mínima de Oxígeno (ZMO) subsuperficial (50 - 500 m) que impacta sobre la plataforma continental, existen períodos de oxigenación asociados a la ocurrencia de eventos El Niño, pero también a la propagación de ondas Kelvin hacia la costa (GUTIÉRREZ et al. 2008).

El EAP mantiene la pesquería más importante del mundo, lo cual no se explicaría sólo por sus niveles de productividad primaria, que da lugar a lo que se conoce como "la paradoja de la anchoveta peruana", donde valores de un alto índice de afloramiento ~1,2 m³*s⁻¹*m⁻¹ y mezcla producida por el viento de ~250

$m^3 \cdot s \cdot m^{-3}$ podrían explicar condiciones ambientales óptimas (CURY et al. 1998, TAYLOR y WOLFF 2007). Muchas hipótesis se han presentado para explicarla; entre ellas actualmente se considera probable la asociada con la alta variabilidad del sistema, lo cual tendría un rol dominante en el funcionamiento y estructura de este ecosistema y el impacto de las condiciones deficientes en oxígeno, afectando la distribución de los organismos y con ella la interacción predador - presa (CHAVEZ et al. 2008). En este contexto, el análisis de la variabilidad de series de tiempo de temperatura, oxígeno y clorofila-a de las últimas décadas, junto con la información paleo-ambiental y biológica de los últimos 500 años podría contribuir a explicar “la paradoja de la anchoveta” en Perú.

Datos

Se utilizó la información de desembarques mensuales de anchoveta y sardina desde 1950 hasta 2008, colectados por la Unidad de Investigación de Recursos Pelágicos del IMARPE (ÑIQUEN y FRÉON 2006) (Fig. 2a, b). Asimismo, promedios mensuales de temperatura superficial del mar (TSM) reconstruida extendida (ERSST) (Fig. 2c), para el mismo período. Además, se trabajó con los promedios mensuales de temperatura superficial del mar de la base de datos HadISST1 de 1 grado por un 1 grado de resolución sobre el área: 5°S-13°S, 160°W-70°W (NCDC v3. 2009). La TSM frente a la costa de Perú fue representada por el Índice de Oscilación Peruano (IOP) (PURCA 2005) que representa en forma adecuada la variación costera de la TSM entre los 5°S y 17°S. Para representar la dinámica de la termoclina se utilizó la profundidad de la isoterma de 15 °C estimada a partir de la información de los cruceros del IMARPE (FLORES et al. 2009) (Fig. 2d). Se analizaron series de tiempo entre los años 1960 y 2008 de oxígeno y clorofila-a, obtenidos por la Unidad de Investigación en Oceanografía Química (UIOQ) de IMARPE, que se complementaron con información de la base de datos mundial WOA2005. La información de oxígeno corresponde a un área de 5°S a 13°S, a 350 km desde la línea de costa y a un integrado hasta 60 m de profundidad en la columna de agua (Fig. 2e). La información sobre clorofila-a se obtuvo a partir de una elipse a 12°S, dentro de los 100 km de la costa para el área de [11,30°-12,30°S, 77-77,30°W] (Fig. 2f).

Para graficar las tasas de deposición de escamas de peces (suavizadas) desde 1850 frente a la costa de Perú y norte de Chile, se utilizó la información de GUTIÉRREZ et al. (2009).

Con el objetivo de caracterizar los cambios del ambiente/forzamiento e interpretar los datos observados, se utilizaron dos productos derivados respectivamen-

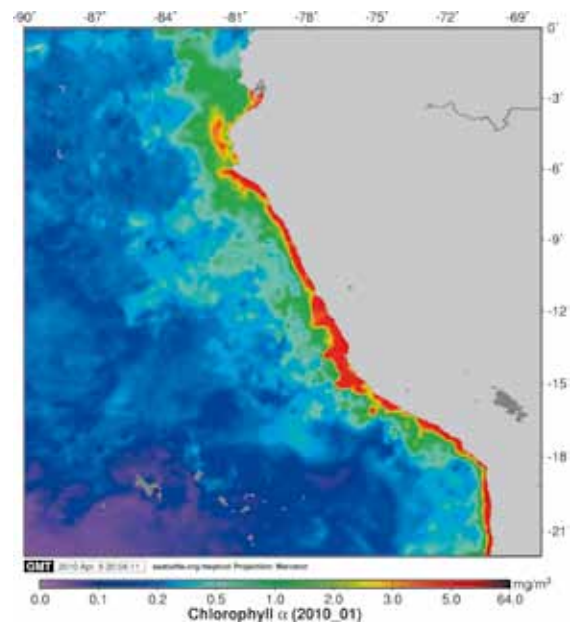


Figura 1.- Promedio de clorofila-α satelital (SEAWIFS) frente a la costa peruana. Enero 2010

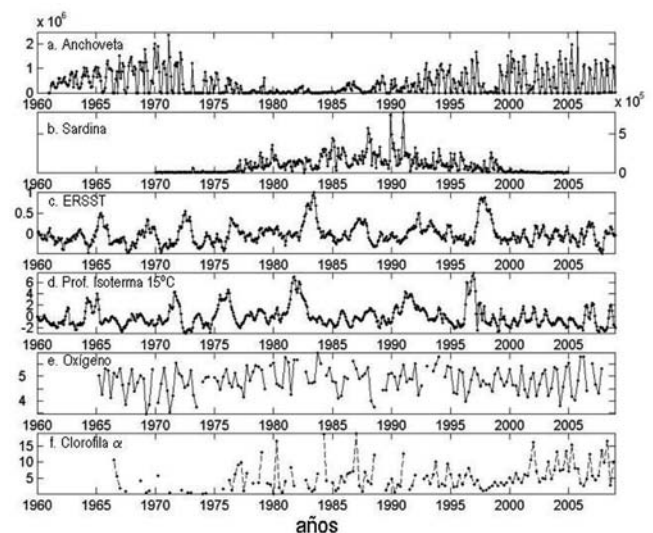


Figura 2.- a) Series de tiempo mensuales de anchoveta en millones de toneladas. b) Desembarques mensuales de sardina en 10^5 toneladas. c) Series de tiempo mensual de la primera componente principal de TSM reconstruida extendida (ERSST). d) Series de tiempo mensual de la primera componente principal de la profundidad de la isoterma de 15 °C en anomalías estandarizadas. e) Serie de tiempo estacional de concentración de oxígeno (mL/L) de los primeros 60 m. f) Series de tiempo trimestrales de concentración de clorofila-a (mg/m^3) de la estación fija Callao (12°S) desde enero-febrero-marzo 1966 hasta octubre-noviembre-diciembre 2008.

te del reanálisis atmosférico NCEP/CNAR (KALNAY et al. 1996) y oceánico SODA (CARTON y GIESE 2008). La información de los vientos superficiales sobre el período 1958 - 2008 se obtuvo por el método estadístico de reducción de escala “downscaling” (GOUBANOVA et al. 2010) y la amplitud de la onda de Kelvin ecuatorial a partir de los dos primeros modos baroclínicos (DEWITTE et al. 2008) para el período 1958-2008.

Métodos

Se presentan las series de tiempo frente a las latitudes de 5°S, 7°S, 9°S, 12°S y 13°S de profundidad de la isoterma de 15 °C, y el análisis de la primera componente principal (PC1). La PC1 de la profundidad de la isoterma de 15 °C representa el 75% del total de la variabilidad, mientras que el IOP representa el 83% del total de la variabilidad de la series de tiempo de TSM. Las series de tiempo de desembarques de anchoveta, sardina, así como las series de oxígeno y clorofila-a fueron estandarizadas y estudiadas a partir de sus anomalías (Fig. 2). Se aplicó un filtro de paso bajo de una banda temporal de 3-6 años para extraer la señal decadal de las series de tiempo biológicas y físicas; métodos espectrales (Fourier) sustentaron la extracción de la señal interanual ENSO (2 – 7 años⁻¹) para el valor del espectro de potencia. El coeficiente de correlación lineal de Pearson se usó para comparar las series ambientales de tiempo filtradas y los desembarques de anchoveta y sardina.

Resultados y discusión

VARIABILIDAD MULTIDECADAL E INTERACCIONES RECURSO-AMBIENTE (1850 – 2008)

En la Fig. 3 se presentan las series de tiempo filtradas y estandarizadas en anomalías de desembarques de anchoveta, desde 1960 hasta la actualidad, y de sardina desde 1970, junto con la variabilidad de parámetros ambientales.

Los registros de anchoveta y sardina muestran dos períodos de orden decadal, marcados por la alternancia en la dominancia de estas especies, que coincide con lo que muestran otras grandes pesquerías del océano Pacífico (CHAVEZ et al. 2003). Para la anchoveta se presenta un período cálido entre 1960 y 1975, seguido por condiciones frías hasta finales de 1992 que coincide con una época de desarrollo de la pesquería industrial, para nuevamente entrar en un período cálido que se extiende hasta la actualidad (Fig. 3). El desfase entre el paso de período frío a cálido de la anchoveta (1972-73) con respecto a la sardina (1975-76) se explica, en el caso de la anchoveta por la sobrepesca y el efecto EN 1972-73 (PAULY et al. 1987), mientras que para la sardina el salto mundial de temperaturas y presiones superficiales del mar registrado durante 1975-1976 determinarían este cambio (CHAVEZ et al. 2008). Estas tendencias observadas son consistentes con reconstrucciones de la población de aves guaneras, basadas en censos de estas aves o en la producción de guano (JAHNCKE et al. 2004).

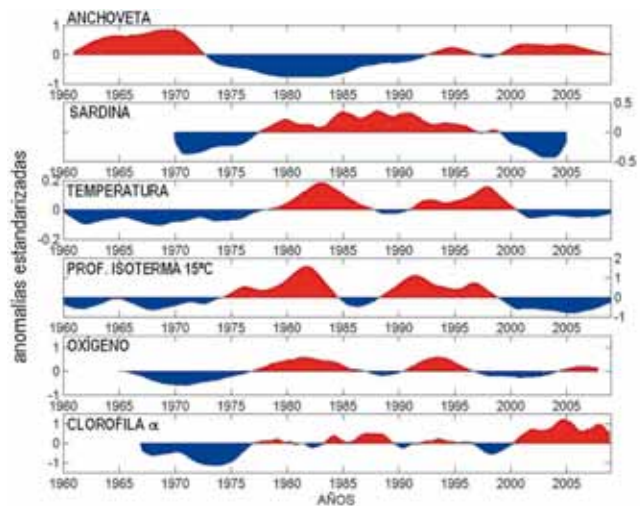


Figura 3.- Filtro decadal de las anomalías de series de tiempo de desembarques de peces (anchoveta y sardina) comparado con anomalías de variables ambientales (PC1 de la TSM en el EAP, profundidad de la isoterma de 15 °C cerca de la costa de Perú, concentración de oxígeno superficial y clorofila-a frente a Perú).

En las variables ambientales también se observan cambios de régimen. En el caso de la temperatura superficial del mar y la profundidad de la isoterma de 15 °C, se presentan períodos fríos entre 1960 a 1972-76 y a partir del año 1999 y, un solo período cálido entre 1973-77 hasta 1999 que a su vez se relaciona al cambio de régimen mundial que se observó a partir de 1976-78, que formó parte de las señales del calentamiento global y se extendió cerca de 20 años hasta 1997-1998 (CHAVEZ et al. 2008). La alta correlación entre las series de temperatura y profundidad de la termoclina se explica por el forzamiento remoto ecuatorial ENSO que afecta ambas series.

Con respecto a la serie de oxígeno y clorofila-a, igualmente se presentan fluctuaciones a diferentes escalas temporales. Ambas series presentan un cambio de régimen que coincide con el de la TSM, hacia el año 1976 y nuevamente hacia fines de la década de los 1990. La serie de oxígeno, a partir del año 1997, presenta un período de anomalías positivas y negativas lo cual pone en evidencia, en el caso de variables biogeoquímicas, la complejidad de la interacción de procesos locales físicos y biológicos de diferentes escalas de tiempo (estacional o intraestacional), que modifican las señales de mayor escala. Por su parte el análisis de la serie estacional de clorofila-a indica una tendencia ascendente en toda la serie +1mg/m³/década (Fig. 4), indicando un incremento en la productividad del sistema en los últimos 40 años, y con una intensificación en esta tendencia a partir del año 2000 (+3 mg/m³/década) (Fig. 4). Este patrón coincide con lo propuesto a partir de estudios paleoceanográficos, en el área que indican que esta variabilidad decadal estaría inmersa

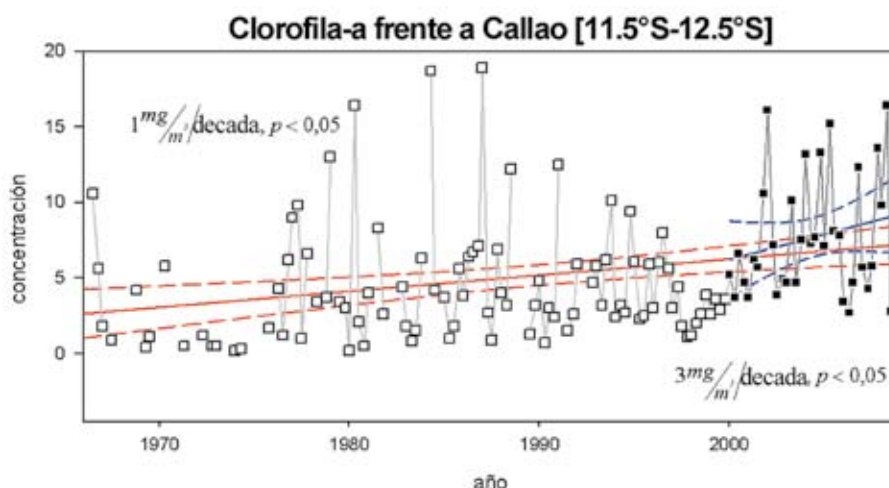


Figura 4.- Tendencia de los promedios estacionales de concentración de clorofila de Callao, de 1960 a 2009 (rojo) y de 2000 a 2008 (azul). Cruceros oceanográficos de IMARPE.

Tabla 1.- Valores de correlación lineal de las series de tiempo filtradas y de desembarques de anchoveta y sardina (** = $p < 0,05$).

Desembarques (período de tiempo)	ERSST	IOP	Prof. isoterma de 15 °C	Oxígeno
Anchoveta (1961-2008)	-0,30 **	-0,46**	-0,64**	-0,56**
Sardina (1970-2004)	0,20**	0,31**	0,54**	0,61**

en cambios a escala centenal, ya que un incremento en la productividad primaria y de peces se habría mantenido durante el siglo XX (GUTIÉRREZ et al. 2009) y estudios recientes a partir de datos satelitales también indicarían una tendencia positiva en la productividad primaria (DEMARQ 2009).

El análisis estadístico de las series de tiempo, desde los años 1960 hasta la actualidad, muestra una correlación lineal negativa significativa entre las variables ambientales y los desembarques de anchoveta, y positivas con la sardina a escala decadal. Una mayor correlación se obtuvo a partir del índice de TSM costero IOP, profundidad de la termoclina y la concentración de oxígeno (Tabla 1).

Las series presentadas sugieren la existencia de patrones de variabilidad decadal o multidecadal coincidentes, tanto para la anchoveta como para la sardina, y las variables ambientales analizadas que podrían explicarse en el contexto de la variabilidad climática global y de la oscilación climática interdecadal en el océano Pacífico (MANTUA et al. 1997). Cambios decadales en la salinidad, nutrientes, intensidad del afloramiento y clorofila-a superficial han sido observados en el Pacífico norte asociados a fluctuaciones en el pa-

trón climático y que reflejan cambios en la intensidad de la circulación del Pacífico norte (DILorenzo et al. 2008). A partir de 1999, las series ambientales sugieren un nuevo cambio de régimen que igualmente se ha observado en la sardina y que podría asociarse, en parte, con la intensificación del centro de alta presión del Pacífico norte (BOND et al. 2003).

Las escalas, decadal o multidecadal, estarían asociadas a escalas de tipo secular. Investigaciones basadas en registros sedimentarios de restos óseos, indican que la dominancia de la anchoveta ha prevalecido en el EAP desde fines del siglo XIX hasta la década de los 1970 (GUTIÉRREZ et al. 2009). Hacia el año 1820, el EAP experimentó una rápida expansión de nutrientes y aguas pobres en oxígeno, probablemente asociada a un cambio hacia el norte de la ITCZ, y estos cambios persisten hasta la actualidad. El impacto de estos cambios en el ecosistema fue un incremento en la productividad primaria, que en la actualidad se manifiesta en la tendencia positiva de la serie de clorofila-a presentada en este trabajo (Fig. 5), y un incremento en la productividad de peces, tal como lo indican los flujos de restos de peces al sedimento, la cual continuó en el siglo XX.

MODULACIÓN A BAJA FRECUENCIA DEL CICLO ESTACIONAL DEL AMBIENTE EN EL EAP: ¿UN FACTOR CLAVE?

Desde el punto de vista físico, la variabilidad ambiental en el EAP está explicada por el ENOS. Así, los valores del espectro de frecuencia entre 2 y 7 años⁻¹ explican más del 50% del total de la variabilidad de la temperatura a lo largo de la costa de Perú (IOP) (PURCA 2005). Adicionalmente, el efecto de las ondas Kelvin ecuatoriales en la profundidad de la isoterma

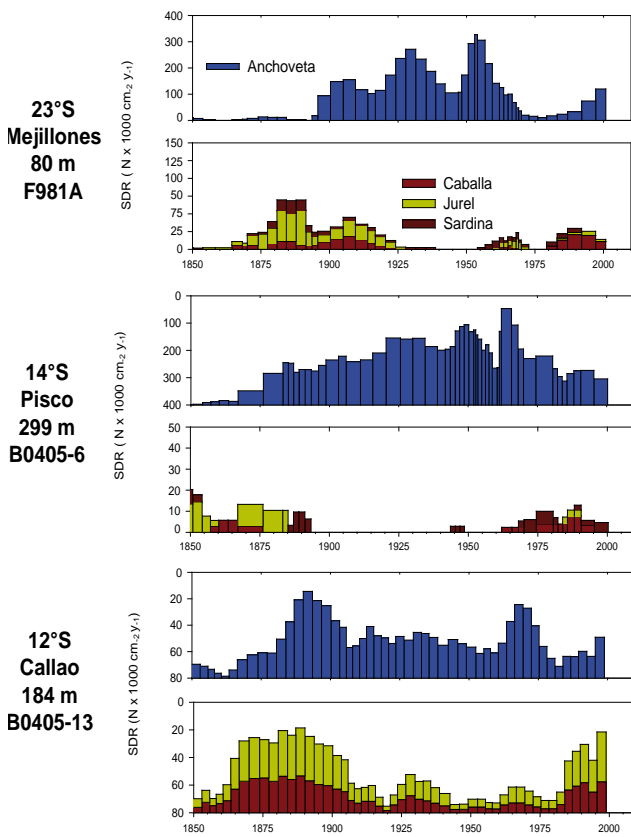


Figura 5.- Tasas de deposición de escamas (SDR) inferidas a partir de testigos de sedimento frente a Callao y Pisco, Perú y Mejillones, Chile entre 1850-2000. La SDR relativa de anchoveta, sardina, jurel y caballa indica la distribución espacial de estos recursos. La SDR de anchoveta domina el período 1890 - 1975 en Pisco, (basado en Gutiérrez et al. 2009).

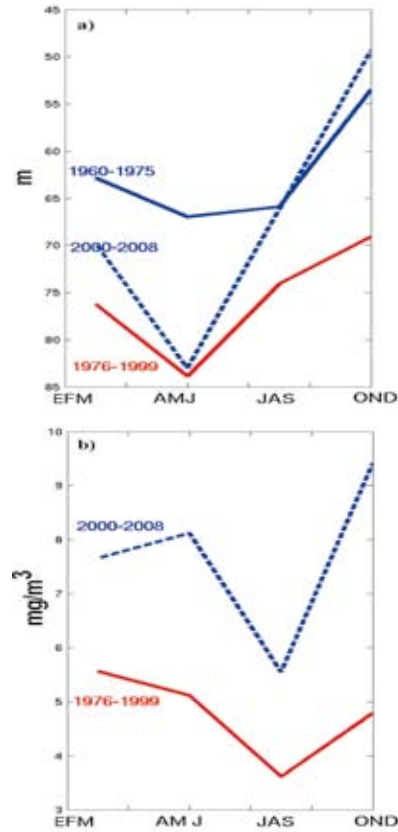


Figura 6.- a) Ciclo estacional por décadas para los promedios trimestrales de la profundidad (m) de la isoterma de 15 °C entre los 6°S-14°S de los cruceros comprendidos dentro de los 100 km frente a la costa. b) Promedios trimestrales de la concentración de clorofila-a (mg/m³) frente al Callao por décadas.

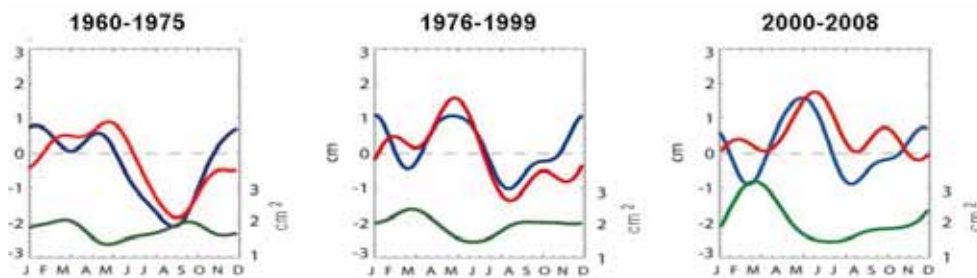


Figura 7.- Promedio del ciclo anual de la onda Kelvin Ecuatorial a 95°W para el primer (azul) y segundo (rojo) modo baroclínico, periodos 1960-1975, 1976-1999 y 2000-2008. Promedio del ciclo anual intraestacional ([30-90] días⁻¹ banda de frecuencia) del segundo modo baroclínico de la actividad de la onda Kelvin Ecuatorial (cf. DEWITTE et al. (2008) en línea verde (escala de la derecha, unidades 0,1 cm²). Los datos provienen de las bases de re-análisis SODA período 1958-2008 (versión 2.1.6 (B. GIESE, comunicación personal)).

de 15 °C y en la concentración de clorofila indican un ciclo anual “cálido” entre 1976-1999 y “frío” 2000-2008. Destaca un alto grado de asimetría en la TSM y la profundidad de la isoterma de 15 °C (coeficiente de asimetrías entre periodos 2000-2008/1976-1999 = 1,19/0,60 y 0,77/0,002, respectivamente) y del ciclo estacional (i.e. diferencia de amplitud entre el verano y el invierno) (Fig. 6).

A escala estacional, para los diferentes periodos analizados, se presentan los valores promedio de profundidad de la isoterma de 15 °C y clorofila-a superficial (0-10 m), determinados a partir de los regímenes de la TSM. El ciclo anual del período cálido 1976-1999 se caracterizó por una profundización de la isoterma de 15 °C y la disminución de clorofila-a. Durante los periodos fríos 1960-1975 y 2000-2008

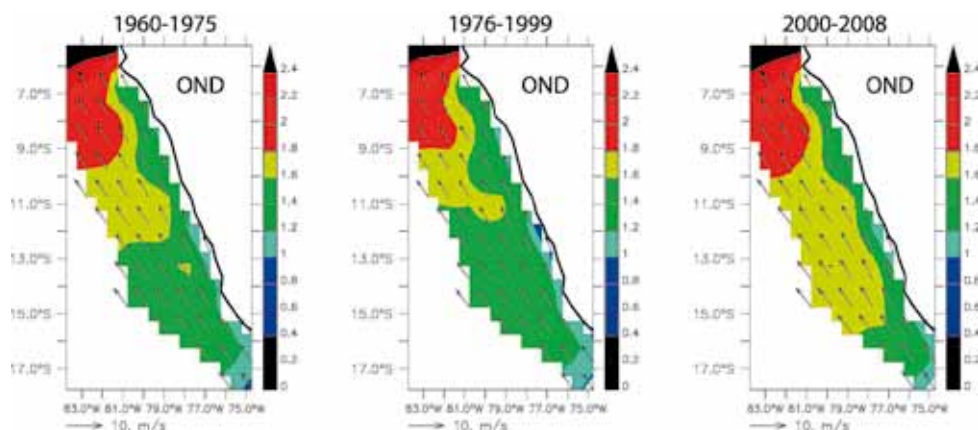


Figura 8.- Promedio climatológico octubre-noviembre-diciembre (OND) del Transporte EKMANN (TE) para los períodos 1960-1975, 1976-1999 y 2000-2008. TE fue obtenido de los datos de viento superficial de reanálisis NCEP/CNAR con una reducción estadística de la escala de $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ (GOUBANOVA et al. 2010). Las flechas indican el promedio del período 1958-2008, unidades m^2s^{-1} para la escala de colores.

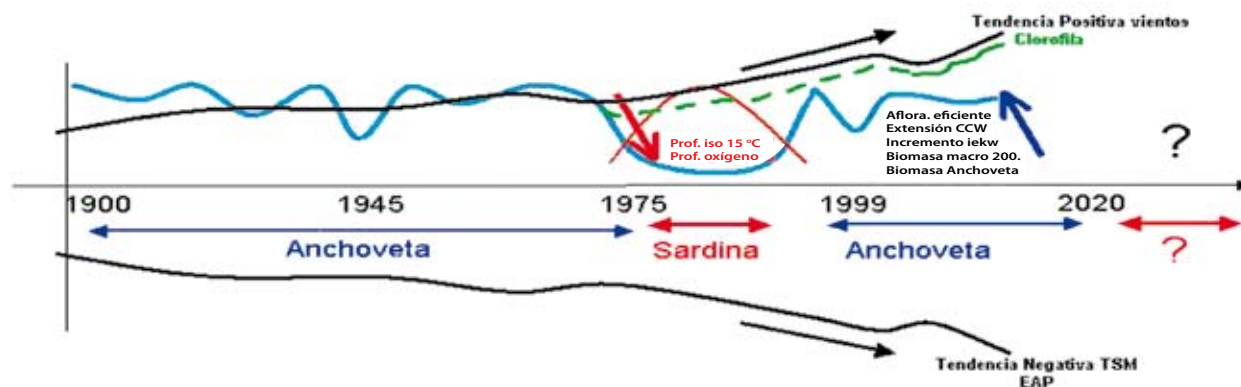


Figura 9.- Esquema hipotético acerca de las relaciones temporales entre los desembarques de anchoveta y la variabilidad decadal ambiental en el EAP.

sucedió lo contrario. La diferencia entre los períodos fríos se puede interpretar mejor al observar los resultados de la disminución de la actividad de las Ondas Kelvin Ecuatoriales Intraestacionales (OKEI). Durante los tres periodos considerados, los períodos fríos (1960-1975 y 2000-2008) son caracterizados por un desfase entre modo 1 y 2 (en líneas rojas y azules en la figura 7) de la OKEI, mientras que durante el período frío 2000-2008 ambos modos baroclínicos muestran valores positivos y desfasados, confirmando un efecto residual mayor durante el período frío 2000-2008 en relación al período cálido 1975-1999 (Fig. 7). Nótese que la amplitud de la onda Kelvin estacional del modo 2 (la más energética en el Pacífico ecuatorial oriental) produce más afloramiento que hundimiento durante el 2000-2008, esta característica combinada con el incremento de la actividad de la onda Kelvin ecuatorial intraestacional, puede producir un afloramiento costero promedio por efecto residual, consistente con el incremento de productividad.

Estudios en el Pacífico ecuatorial han mostrado como, en una variedad de escalas de tiempo, la variabilidad

es dominada por ondas oceánicas Kelvin. La dinámica de las OKEI permite comprender los mecanismos asociados con el evento ENOS. A su vez la variabilidad intraestacional también aparece modulada en el Pacífico a partir de las OKEI (DEWITTE et al. 2008). A partir del año 2000 se observa un incremento en la actividad de las OKEI intraestacionales (DEWITTE et al. 2008). Estos cambios relacionados con la variabilidad en el Pacífico ecuatorial tienen el potencial de retrasar la recuperación del EAP después del período cálido 1976-1999 a escala estacional.

Adicionalmente, en el área de afloramiento del EAP, el Transporte de EKMANN (TE) disminuyó durante el período de anomalías negativas de los desembarques de anchoveta 1976-1999 (Fig. 8), pero se expandió durante el período 2000-2008, sobre todo durante el período de mayor concentración de la clorofila-a (OND). La disminución fue crítica con la climatología del TE para el período 1976-1999 (Fig. 8), mientras que para el período estacional OND donde se presenta la mayor concentración de clorofila-a, el TE se incrementó, en especial durante el período 2000-2008 en comparación al período 1960-1975 (Fig. 8).

UN ESQUEMA CONCEPTUAL DE LAS INTERACCIONES AMBIENTE - RECURSO DESDE EL SIGLO XX

En base de los resultados, se propone un esquema hipotético acerca de las relaciones temporales entre las variables ambientales y los desembarques. Este esquema se puede sintetizar de la siguiente manera (Fig. 9):

1. La tendencia mundial de temperatura superficial del mar (TSM) es positiva, excepto en los grandes ecosistemas marinos (GEM) de California y Humboldt, ya que ambos presentan tendencias negativas después de 1982 (SHERMAN et al. 2008), como lo indica la línea negra en la parte inferior de la figura 9. Por otro lado, la tendencia de la clorofila-a frente a Callao es positiva sobre todo a partir del año 2000 (línea verde), confirmando la respuesta inversa del EAP en comparación a los otros GEM (Fig. 9).

2. Durante 1975 a 1990 la isoterma de 15 °C y la isoxígena de 0,5 mL/L se profundizaron (línea azul) y los desembarques de sardina se incrementaron (línea roja, Fig. 9).

3. Después de 1990 se observa el aumento de la eficiencia del afloramiento, la expansión de las aguas costeras frías (ACF), expansión del área de la zona mínima de oxígeno (ZMO), incremento de la actividad de la OKEI, así como incremento de la biomasa del zooplancton y de la anchoveta.

4. En el contexto del cambio climático, los modelos de simulación muestran una gran incertidumbre de sus proyecciones climáticas, en particular en la zona de afloramiento peruano (WANG et al. 2009). La influencia no necesariamente será negativa para todas las especies, pues un escenario de afloramiento más intenso podría favorecer a la anchoveta, pero no permanentemente. Otros escenarios son posibles, pero aún inciertos en el estado actual del conocimiento (Fig. 9).

Conclusiones

- 1) Las relaciones entre las poblaciones de anchoveta y el ambiente son más notables a escalas decadales; en particular se observa una modulación a baja frecuencia (escala de tiempo decadal) del ciclo estacional del ambiente, que tiene el potencial de impactar los recursos.
- 2) Estas relaciones, acopladas con la respuesta biológica de la anchoveta, sugieren un control desde la base de la trama trófica.

- 3) Los cambios decadales en el EAP relacionados con los cambios de la variabilidad en el Pacífico ecuatorial, tienen el potencial de retraer la recuperación del EAP en relación al período cálido 1976-1999 a escala estacional.

Recomendaciones

- 1) Desarrollar un índice climático, que pueda ser usado para estimar el estado del ecosistema y predicción por modelos;
- 2) Fortalecer el programa de monitoreo del IMARPE y asegurar una estimación robusta de las comunidades y poblaciones del macrozooplancton, especialmente eufáusidos, los cuales son especies clave;
- 3) Continuar el desarrollo de modelos de predicción ambiental y ecosistémico estacional, decadal y secular (ej. > 20 años);
- 4) Organizar el VI Panel Internacional de Expertos en Evaluación de la Anchoveta Peruana (*Engraulis ringens* Jenyns) dentro de 5 años (Año 2015) para determinar el estado del régimen y revisar las mejoras del estado del arte sobre el cambio climático global.

Agradecimientos. - Los autores están muy agradecidos con CLAUDIA WOSNITZA-MENDO, RICARDO OLIVEROS, CARLOS QUISPE y RENATO GUEVARA-CARRASCO por sus valiosos comentarios y sugerencias.

Referencias

- ALDER J, PAULY D. 2008. Aggregate performance of countries in managing their EEZs. Fisheries Centre Research Reports 16 (7): 3-12.
- AN S.-I. 2009. A review of interdecadal changes in the non-linearity of the El Niño-Southern Oscillation. Theor. Appl. Climatol. 97: 29-40.
- BARBER R, CHAVEZ F. 1983. Biological consequences of El Niño. Science (222): 1203-1210.
- BRINK KH, HALPERN D, HUYER A, SMITH RL. 1983. The Physical environment of the Peruvian Upwelling System. Progress in Oceanography. 12:285-305.
- BOND NA, OVERLAND JE, SPILLANE M, STABBENO P. 2003. Recent shifts in the state of the North Pacific. Geophysical Research Letters, 30 (23) 2183. doi: 10.1029/2003GL018597.
- CARTON JA, GIESE BS. 2008. A Reanalysis of Ocean Climate Using Simple Ocean Data Assimilation (SODA). Monthly Weather Review. Vol.136 (8):2999-3017.
- CHAVEZ F, RYAN J, LLUCH-COTA SE, ÑIQUEÑ M. 2003. From Anchovies to Sardines and Back: Multidecadal Change in the Pacific Ocean. Science (299): 217-221.

- CHAVEZ F, BERTRAND A, GUEVARA-CARRASCO R, SOLER P, CSIRKE J. 2008. The northern Humboldt Current System: Brief history, present status and a view towards the future. *Progress in Oceanography*, 79: 95-105
- CURY P, ROY C, FAURE V. 1998. Environmental constraints and pelagic fisheries in upwelling areas: the Peruvian puzzle. *South African Journal of Marine Science*, 19(1): 159-167
- DEMARCO, H. 2009. Trends in primary production, sea surface temperature and wind in upwelling systems (1998-2007). *Progress in Oceanography*, 83: 1-4, December 376-385
- DEWITTE B, PURCA S, ILLIG S, RENAULT L, GIESE B. 2008. Low frequency modulation of the intraseasonal equatorial Kelvin wave activity in the Pacific ocean from SODA: 1958-2001. *J. Climate*, 21: 6060-6069.
- DI LORENZO E, SCHNEIDER N, COBB KM, FRANKS PJS, CHAK K, MILLER AJ, McWILLIAMS JC, BOGRAD SJ, ARANGO H, CURCHITSER E, POWELL TM, RIVIERE P. 2008. North Pacific Gyre Oscillation links ocean climate and ecosystem change. *Geophysical Research Letters*, Vol. 35, L08607, doi:10.1029/2007GL032838
- FLORES R., TENORIO J, DOMÍNGUEZ N. 2009. Variaciones de la Extensión Sur de la Corriente Cromwell frente al Perú entre los 3 y 14°S. *Bol Inst Mar Perú XXIV* (1-2): 39-52.
- GOUBANOVA K, ECHEVIN V, DEWITTE B, CODRON F, TAKAHASHI K, TERRAY P, VRAC M. 2010. Statistical downscaling of sea-surface wind over the Peru-Chile upwelling region: diagnosing the impact of climate change from the IPSL-CM4 model. *Clim Dyn.*, DOI 10.1007/s00382-010-0824-0
- GUTIÉRREZ D, ENRÍQUEZ E, PURCA S, QUIPÚZCOA L, MARQUINA R, FLORES G, GRACO M. 2008. Oxygenation episodes on the continental shelf of central Peru: Remote forcing and benthic ecosystem response. *Progress in Oceanography*, 79: 95-105
- GUTIÉRREZ D, SIFEDDINE A, FIELD D, ORTLIEB L, VARGAS G, CHÁVEZ F, VELAZCO F, FERREIRA V, TAPIA P, SALVATTECI R, BOUCHER H, MORALES M, VALDÉS J, REYSS J-L, CAMPUSANO A., BOUSSAFIR M, MANDENG-YOGO M, GARCÍA M, BAUMGARTNER T. 2009. Rapid reorganization in ocean biogeochemistry off Peru towards the end of the Little Ice Age. *Biogeosciences* 6: 835 - 848.
- HALPERN D. 2002. Offshore Ekman transport and Ekman pumping off Peru during the 1997-1998 El Niño. *Geophysical Research Letters*, 29, 5. doi: 10.1029/2001GL014097.
- HUYER A, KNOLL M, PAUSZKIEWICZ T, SMITH RL. 1991. The Peru Undercurrent: a study in variability. *Deep Sea Research* 38. S247-S271.
- JAHNCKE J, CHECKLEY DM JR, HUNT GL JR. 2004. Trends in carbon flux to seabirds in the Peruvian Upwelling system: effects of wind and fisheries on population regulation. *Fisheries Oceanography* 13: 2008-223
- KALNAY E, KANAMITSU M, KISTLER R et al. (1996) The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull Amer Meteor Soc* 77: 437-471
- KUG JS, FEI-FEI J, SOON-IL S. 2009. Two types of El Niño events: Cold Tongue El Niño and Warm Pool El Niño. *Journal of Climate* 22(6): 1499-1515
- MANTUA NJ, HARE SR, ZHANG Y, WALLACE HM, FRANCIS RC. 1997. A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon production. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 6 (78): 1069-1079
- NCDCv3.2009. <http://climexp.knmi.nl/select.cgi?someone@somewhere+ersstv3b>
- ÑIQUEM M, FRÉON P. 2006. A new record set by the Peruvian fishery: 2.5 million tons of anchovy landed in November 2005. *Globec International Newsletter*. October 2006, 12: 56-57.
- PAULY D. 1987. Managing the Peruvian upwelling ecosystem: a synthesis. pp. 325-342. In: Pauly, D., Tsukayama, I. (Eds). *The Peruvian Anchoveta and its Upwelling Ecosystem: Three Decades of Change*. ICLARM Studies and Reviews, vol. 15.
- PURCA S. 2005. Variabilidad temporal de baja frecuencia en el Ecosistema de la Corriente Humboldt frente a Perú. Tesis de Doctorado. Universidad de Concepción, Chile.
- SHERMAN K, BELKIN I, FRIEDLAND KD, REILLY JO, HYDE K. 2008. Accelerated warming and emergent trends in fisheries biomass yields of the world's large marine ecosystems. K. Sherman and G. Hempel (eds.). *UNEP Regional Seas Report and Studies*. 182: 41-79.
- SIFEDDINE A, GUTIERREZ D, ORTLIEB L, BOUCHER H, VELAZCO F, FIELD D, VARGAS G, BOUSSAFIR M, SALVATTECI R, FERREIRA V, GARCÍA M, VALDES J, CAQUINEAU S, MANDENG YOGO M, CETIN F, SOLIS J, SOLER P, BAUMGARTNER T. 2008. Laminated sediments from the central Peruvian continental slope: A 500 year record of upwelling system productivity, terrestrial runoff and redox conditions. *Progress in Oceanography*, 79: 190-197.
- STRUB P, TED J, MESÍAS M, MONTECINO V, RUTLLANT J, SALINAS S. 1998. Coastal Ocean Circulation off western South America coastal segment (6,E). *The Sea*. 11. Allan R. Robinson and Kenneth H. Brink (eds.): 273-313
- TAYLOR MH, WOLFF M. 2007. Trophic modeling of Eastern Boundary Current systems: a review and prospectus for solving the "Peruvian Puzzle". *Revista Peruana de Biología*, 14: 87-100.
- VALDÉS J, ORTLIEB L, GUTIÉRREZ D, MARINOVIC L, VARGAS G, SIFEDDINE A. 2008. A 250 years – sedimentary record of Sardine and Anchovy scale deposition in Mejillones Bay, 23°S, Northern Chile. *Progress in Oceanography*, 79: 198–207.
- WANG M, OVERLAND J, BOND NA. 2009. Climate projections for selected large marine ecosystems. *Journal of Marine Systems*. doi: 10.1016/j.jmarsys.2008.11.028

Biología de la anchoveta peruana, *Engraulis ringens* Jenyns

Biology of Peruvian anchovy, *Engraulis ringens* Jenyns

MARILÚ BOUCHON^{1*}, PATRICIA AYÓN¹, JULIO MORI¹, CECILIA PEÑA¹,
PEPE ESPINOZA¹, LARRY HUTCHINGS², BETSY BUITRÓN¹, ÁNGEL PEREA¹,
CARLOS GOICOCHEA¹, MONIQUE MESSIE³

Resumen

BOUCHON M, AYÓN P, MORI J, PEÑA C, ESPINOZA P, HUTCHINGS L, BUITRÓN B, PEREA A, GOICOCHEA C, MESSIE M. 2010. *Biología de la anchoveta peruana* (*Engraulis ringens* Jenyns). *Bol Inst Mar Perú* 25(1-2): 23-30.- La anchoveta es la especie clave de la cadena alimentaria del sistema de afloramiento del mar peruano, que se caracteriza por sus altos niveles de productividad no superados por ningún otro ecosistema marino. Se analizaron los principales aspectos biológicos de la anchoveta en periodos de abundancia del recurso, y cuando disminuyeron los niveles poblacionales de esta especie. La recuperación de la población de la anchoveta es rápida después de los eventos cálidos debido a que la población responde a la normalización de las condiciones ambientales, disminuyendo también su mortalidad.

PALABRAS CLAVE: anchoveta, Ecosistema de la Corriente de Humboldt, eventos El Niño.

Abstract

BOUCHON M, AYÓN P, MORI J, PEÑA C, ESPINOZA P, HUTCHINGS L, BUITRÓN B, PEREA A, GOICOCHEA, MESSIE M. 2010. *Peruvian anchovy* (*Engraulis ringens* Jenyns) *Biology*. *Bol Inst Mar Perú* 25(1-2): 23-30.- The Peruvian anchovy (anchoveta) is the key species of the trophic chain of the Peruvian upwelling system characterized by levels of productivity higher than any other marine ecosystem. The main biological aspects of anchoveta were analyzed during periods of high resource abundance and of declining population levels. The anchovy has a fast recovery after warm events because the population responds to the normalization of environmental conditions, also reducing its mortality.

KEYWORDS: Peruvian anchovy, Humboldt Current Ecosystem, El Niño events.

Introducción

El mar peruano se encuentra ubicado en el área de afloramiento más importante del mundo, tiene niveles de productividad no superados por ningún otro ecosistema marino, y que son la base de una inmensa cadena trófica lo que favorece el desarrollo de grandes volúmenes de recursos pesqueros (AGÜERO y CLAVERI 2007, NIXON y THOMAS 2001, BAKUN y WEEKS 2008). Entre estos recursos, la anchoveta tiene particular relevancia para la economía del Perú, por sustentar la industria pesquera más importante para el país y una de las principales del mundo. Debido a su magnitud, variabilidad e importancia económica para el país, la anchoveta requiere de estudios permanentes en diferentes aspectos de su biología, como: alimentación, crecimiento, reproducción, distribución, etc.

Se han comparado los principales aspectos biológicos de la anchoveta en tres periodos de tiempo: dos, entre los años 1960 - 1968 y 1986 - 2008, que se caracterizaron por el crecimiento de la pesquería y la abundancia de la anchoveta; y el tercero es el periodo entre 1976 - 1991, con bajos niveles de anchoveta y mayor abundancia de sardina (Fig. 1).

Se trató de abordar preguntas como: 1) ¿Fueron diferentes las características biológicas de la población de anchoveta respecto a su alimentación, reproducción y crecimiento, en los tres periodos?; y 2) ¿Cómo la anchoveta responderá en el futuro, inclusive ante un posible resurgimiento de la población de sardina?.

1 Instituto del Mar del Perú, Esq. Gamarra y Valle s/n, Apartado 22, Callao, Perú.

2 Marine Coastal Management - Department of Environment Affairs, Sudafrica.

3 Monterey Bay Aquarium Research Institute (MBARI), Estados Unidos.

* Correo-e: mbouchon@imarpe.gob.pe, Esquina Gamarra y Gral. Valle s/n, Lima, Perú.

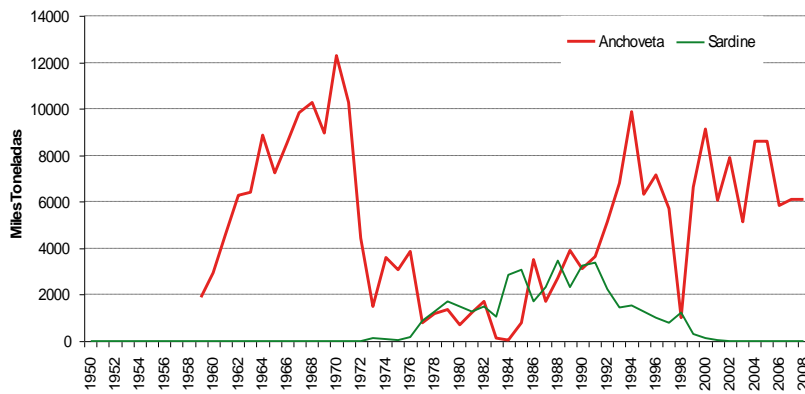


Figura 1.- Cambios en los desembarques de anchoveta y sardina desde 1960 a 2008.

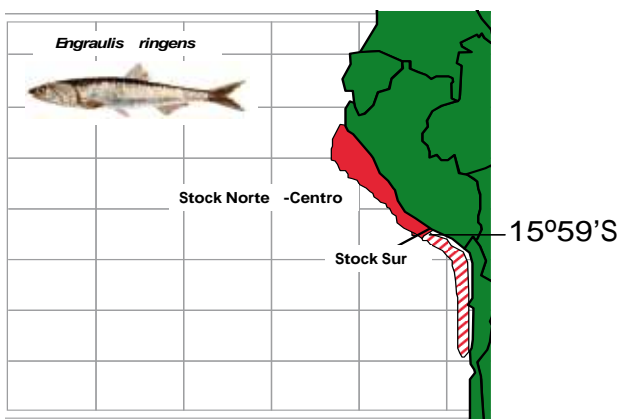


Figura 2.- Stocks de anchoveta en el Perú

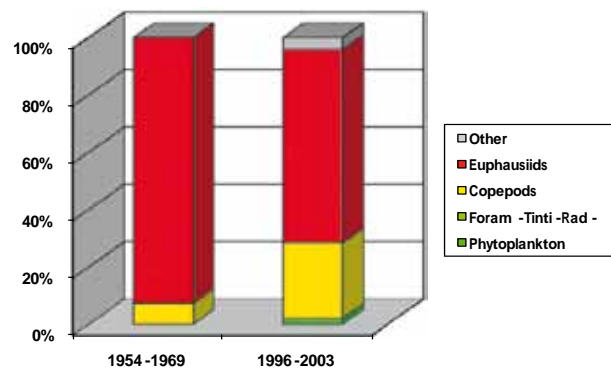


Figura 3.- Comparación de la dieta de anchoveta en términos de contenido de carbono en dos periodos 1954 -1969 (Rojas de Mendiola 1971) y 1996-2003 (Espinoza y Bertrand 2008).

Resultados

UNIDADES POBLACIONALES

En el litoral peruano se diferencian dos stocks o unidades poblacionales de anchoveta (*Engraulis ringens*): 1) norte-centro desde Zorritos (04°30'S) hasta los 16°00'S en el Perú; y 2) la que se comparte con el norte Chile (16°01' – 24°00'S) (CHIRICHIGNO y VÉLEZ 1998, JORDÁN 1971). Las características biológicas de estas dos unidades poblacionales son aparentemente diferentes (PAULY y TSUKAYAMA 1987) (Fig. 2).

Bajo condiciones normales, en la zona de San Juan (15°S) ocurren fuertes afloramientos (surgencia de agua de fondo a la superficie que fertiliza el mar), por lo cual no es frecuente ubicar concentraciones grandes de cardúmenes y constituye una barrera natural que separa estas unidades poblacionales.

ALIMENTACIÓN DE LA ANCHOVETA

La anchoveta es la especie clave de la cadena alimentaria del ecosistema de afloramiento del mar peruano

(EAP). Es planctívora, y su dieta no ha mostrado cambios durante el periodo 1953 al 2008. Los últimos estudios sobre la composición de esta dieta, en términos de contenido de carbono, confirman que es una especie planctívora, siendo los eupáusidos la presa más importante, y en segundo lugar los copépodos (Fig. 3). El zooplancton representa 80-95% de su dieta (ESPINOZA y BERTRAND 2008, JAMES y FINDLAY 1989, JAMES 1987).

El fitoplancton es un ítem alimentario importante numéricamente, pero en general constituye un componente menor en la dieta de la anchoveta. Así mismo, no se ha demostrado cambios sustanciales en ella durante el periodo 1954-2003, excepto un ligero incremento en el consumo de copépodos en los últimos años (Fig. 3).

Se ha demostrado que la anchoveta y la sardina (*Sardinops sagax*) tienen la misma dieta. Ambas son zooplanctívoras y sus principales presas son los eupáusidos y los copépodos, aunque la sardina tiene una preferencia por los copépodos (ESPINOZA et al. 2009) (Fig. 4).

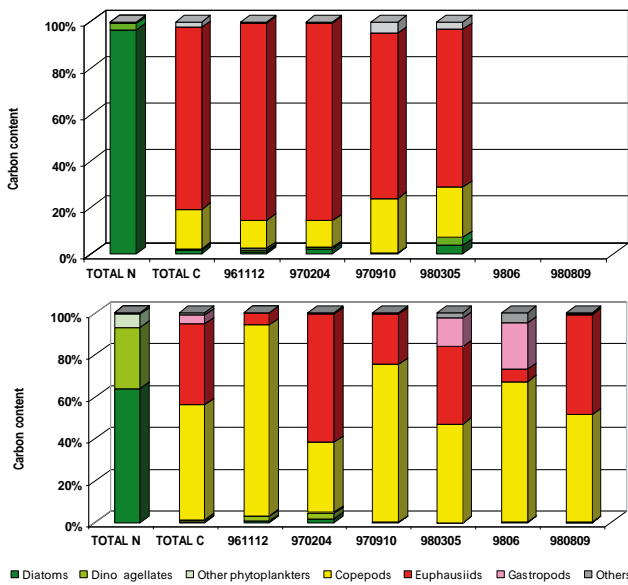


Figura 4.- Composición de la dieta de anchoveta y sardina (en número, contenido total de carbono y en diferentes estaciones del año).

PROCESO REPRODUCTIVO DE LA ANCHOVETA

La anchoveta, es una especie *desovadora parcial*, por lo que en cualquier periodo del año es posible encontrar ejemplares en diferentes estados de madurez sexual. Desova en todas las latitudes del mar peruano y las áreas más importantes están frente a Chicama (7°30'S) hasta Chimbote (9°S) y del Callao (12°S) hasta Pisco (14°S).

Los estudios del ciclo reproductivo de la anchoveta, medido según el índice gonadosomático (IGS), indican que la especie desova de julio a febrero; su máxima actividad reproductiva se presenta durante los meses de invierno-primavera (julio-octubre), y en ciertos años se evidencia una extensión en el verano. La grasa visceral varía inversamente con el IGS; el factor de condición disminuye durante todo el ciclo reproductivo (Fig. 5), pero la recuperación ocurre rápidamente entre abril y mayo de cada año. El inicio del ciclo reproductivo de la anchoveta, coincide con la máxima intensidad del afloramiento en la región norte-centro del Perú.

En escala interanual el evento El Niño es un factor que origina fuertes cambios en las condiciones oceanográficas del mar peruano, que afectan a la anchoveta, produciendo alteraciones en sus procesos biológicos, comportamiento, disminución de sus niveles poblacionales, depredación y un incremento de la mortalidad por pesca (SANTANDER y ZUZUNAGA 1984, ÑIQUEN y BOUCHON 2004). El proceso reproductivo es

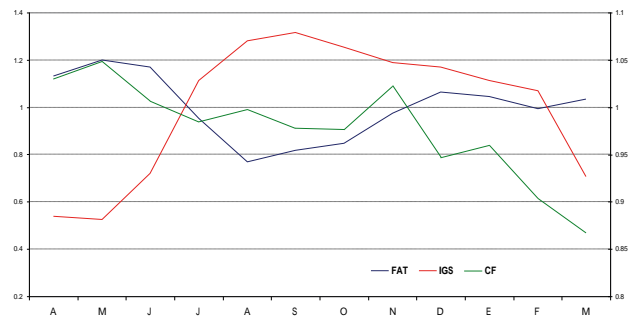


Figura 5.- Patrón del índice gonadosomático (IGS), factor de condición (CF) y grasa visceral (FAT) de anchoveta 1996 – 2008.

afectado en su intensidad y se producen desfases en su época de máxima intensidad a la espera de condiciones ambientales más favorables. Estos cambios y otros, como la pérdida de peso individual, la oferta alimentaria pobre, los gastos de energía producto de la migración hacia el sur e incremento del metabolismo, se producen debido a que la especie está sometida a stress por El Niño. A todos estos factores, se suma el ingreso de otras especies predatoras de la anchoveta provenientes de aguas cálidas; condiciones ambientales pobres y la mayor vulnerabilidad del recurso a la flota pesquera, que conducen a bajos reclutamientos y por consiguiente una disminución de sus niveles poblacionales. Sin embargo, este recurso tiene una gran capacidad de recuperación aprovechando las mínimas oportunidades que el ambiente le brinda, para su reproducción (Fig. 6).

En ciertos lugares se presentan núcleos o parches aislados de condiciones frías que sirven como refugios para la anchoveta, principalmente en las zonas muy costeras. Conforme las condiciones van retornando a la normalidad, la población que estuvo disminuida, comienza a expandirse en todo el dominio de las aguas costeras frías (ACF); se produce una merma en la disponibilidad de la anchoveta a la flota, así como para los depredadores de aguas cálidas. Esta situación mejora la disponibilidad de alimento para los recursos y, por ende, su condición fisiológica.

Hacia fines de la década del ochenta, con la presencia de un nuevo régimen ambiental frío, el impacto del evento cálido El Niño 1997-98 sobre la población de la anchoveta fue mínimo (CHAVEZ et al. 2009), observándose que la intensidad y ocurrencia de eventos El Niño (EN) han decrecido durante la etapa fría 1999-2008 (Fig. 6c). La variación interanual en el IGS (Fig. 6a), muestra cambios marcados durante los eventos El Niño de nivel fuerte (1997-98); pero durante eventos menos intensos (1986-87, 1992-93 y 2002-03) no se observan mayores cambios en este índice. El factor de condición, sin embargo, presenta una disminución

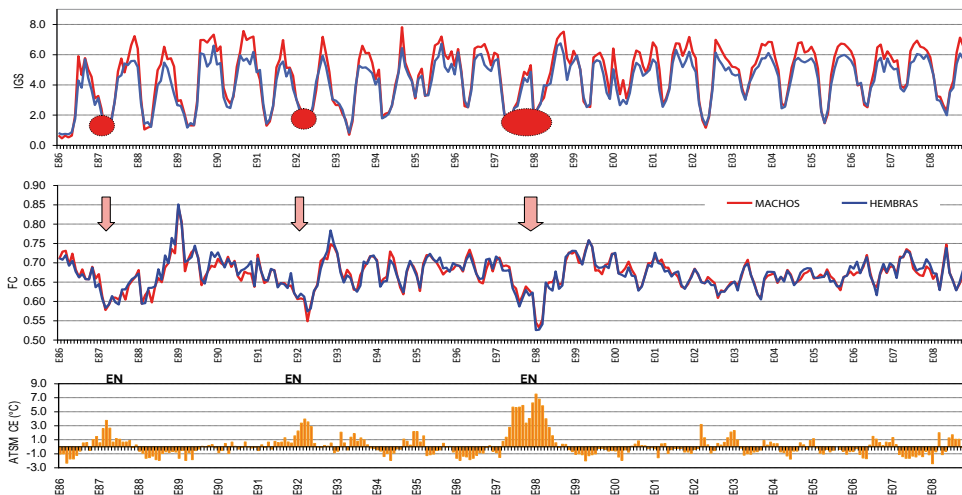


Figura 6.- Cambios interanuales del IGS y FC de la anchoveta durante el periodo 1996 - 2008

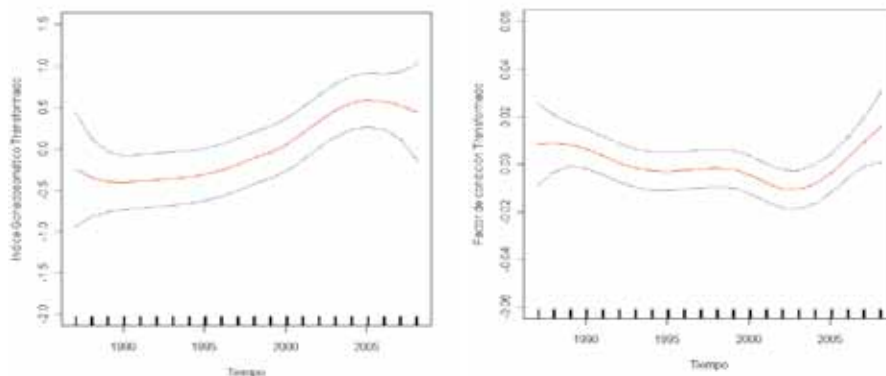


Figura 7.- Cambios en el IGS y FC de la anchoveta durante 1986-2008

fuerte y rápida frente a condiciones más cálidas, con una recuperación también rápida (Fig. 6b).

La variabilidad interanual del ciclo reproductivo de la anchoveta, muestra para el periodo 1986 al 2005 una tendencia creciente en el IGS, con un ligero descenso entre el 2006-08; mientras que el factor de condición varió de manera inversa (Fig. 7).

En los últimos años, en base a la evolución del IGS, se observa una prolongación del período de desove principal. Una situación similar se presentó en la década de los 60, cuando el desove ocurría de seis a ocho meses entre agosto y marzo, con un pico entre agosto y octubre (SCHAEFER 1967). Esta nueva situación, en la cual el desove de la anchoveta se efectúa en un largo período, y probablemente a lo largo de una mayor área, con menores competidores que antes, explicaría en parte los buenos reclutamientos de los últimos años.

La Fig. 8 muestra una relación inversa entre la anomalía de temperatura superficial del mar (ATSM) y el IGS para el periodo 1986 – 2008. La correlación de

la ATSM con los picos de desove se presenta con un desfase de dos meses. La variación estacional del IGS, factor de condición (FC), frecuencia de desove y reclutamiento presentan tres diferentes periodos entre 1986 y 2009 (Fig. 9). Durante el periodo 1990 al 2000, se ha observado una extensión en la duración del desove principal (mayores valores de IGS) hasta febrero, en comparación con el periodo 1986-89, cuando el desove duraba entre 6 a 8 meses, con el principal pico en setiembre – octubre. Durante 2001-08, la frecuencia de desove con altos valores de setiembre a diciembre se extendió hasta el mes de febrero.

Los reclutas (individuos entre 8 a 12 cm LT) aparecen en aguas costeras de octubre a abril con picos en enero y febrero. El incremento en la duración de la actividad desovante ha producido un periodo de reclutamiento prolongado con presencia de reclutas desde enero hasta julio de cada año (Fig. 9).

Los volúmenes de zooplancton, principalmente eufáusidos, fueron mayores durante el primer periodo de abundancia de la anchoveta (1960 - 1970) que en el

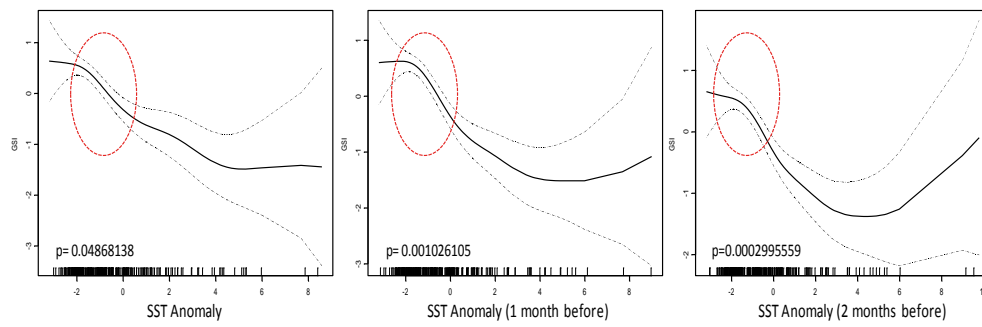


Figura 8.- Relación entre el IGS y la anomalía de la temperatura superficial del mar (ATSM) 1986-2008.

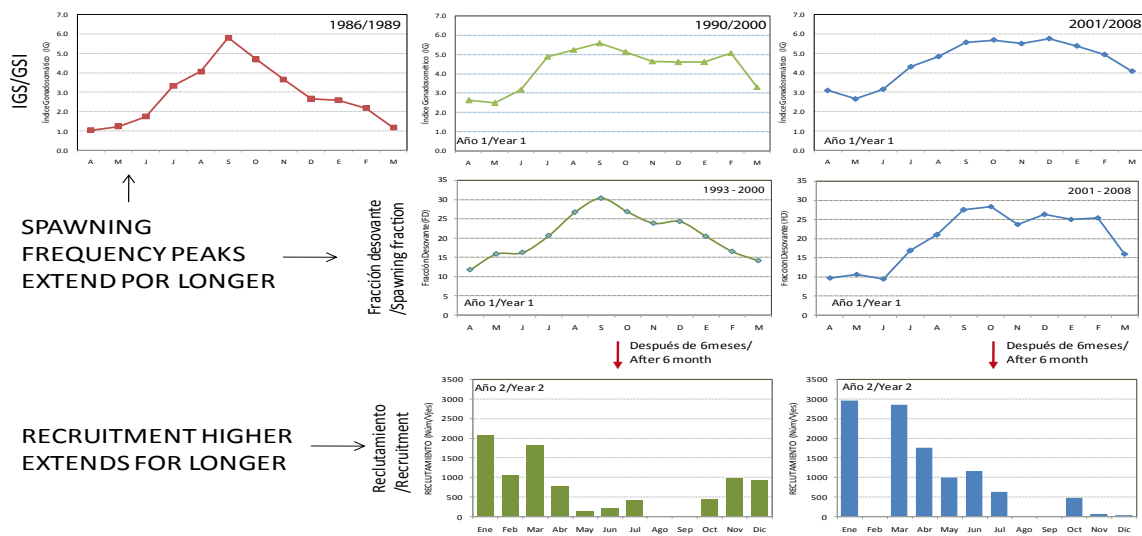


Figura 9.- Variabilidad del reclutamiento de anchoveta frente a cambios en el proceso reproductivo.

último (1986 - 2008). Sin embargo, a partir de mediados de los años 1980 se observó una tendencia de los eufáusidos a incrementar (Fig. 10A). En general, la abundancia del zooplancton total disminuyó durante la década de los años 1970 (CARRASCO y LOZANO 1989), mostrando un incremento a partir de los años 1990, pero sin alcanzar los volúmenes del primer periodo (Fig. 10B) (AYÓN et al. 2004, AYÓN y SWARTZMAN 2008). La ecología de los eufáusidos en el mar peruano aún no es bien conocida, pero desde 1999 se conoce que *Euphausia mucronata* es la especie dominante y que no son abundantes en las aguas frías (datos no publicados, IMARPE). Existe también poca información disponible sobre la tasa de crecimiento de copépodos y eufáusidos, así como de los movimientos de forrajeo y el consumo de la anchoveta, siendo necesario prestar atención en las investigaciones futuras para tratar de entender el balance dinámico entre la producción y el consumo.

TASAS DE CRECIMIENTO DE LA ANCHOVETA

Las tasas de crecimiento de la anchoveta no son fáciles de interpretar en términos de cambios interanuales (Fig. 11). Se empleó el índice de performance (IP) ($\phi =$

$\log k + 2 \log L_{\infty}$), donde a mayores valores de IP mayor es la tasa de crecimiento y valores menores indican un crecimiento lento (PALOMARES et al. 1987, MENDO 1991, SPARRE y VENEMA 1992). Para ello se utilizaron los parámetros de la ecuación de von Bertalanffy obtenidos por el programa ELEFAN y las frecuencias de longitud mensual para el periodo 1954-2008. Los valores del IP del periodo comprendido entre 1954 al 1982 fueron tomados de PALOMARES et al. (1987); mientras que a partir de 1983 al 2008 provienen de la base de datos del IMARPE.

El índice presentó valores crecientes en el periodo 1954 a 1978, posteriormente se estabilizó en la década de los ochenta para disminuir progresivamente en las últimas décadas. Durante los eventos El Niño, los valores de ϕ son bajos.

Discusión y conclusiones

La anchoveta es una especie muy bien adaptada a las condiciones altamente variables del mar peruano. Estudios recientes sobre la alimentación de esta especie (ESPINOZA y BERTRAND 2008, ESPINOZA et al. 2009)

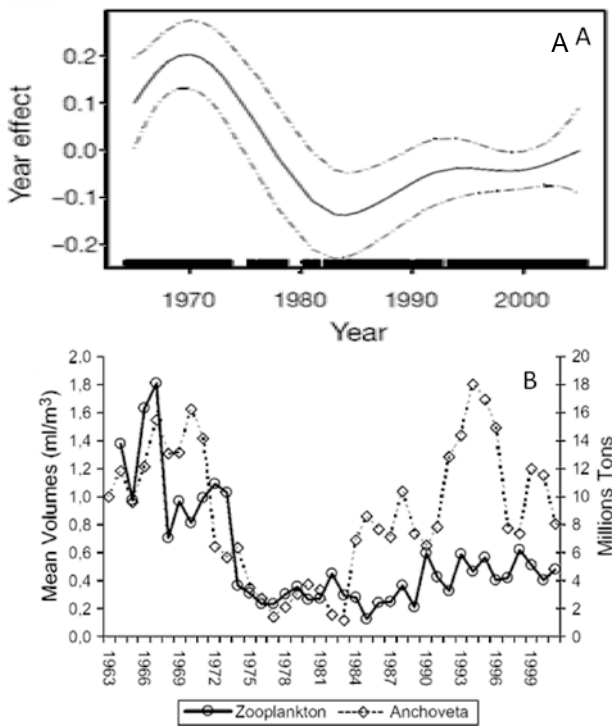


Figura 10.- Biomásas de anchoveta y volúmenes de zooplankton durante 1963 al 2001. A) Dominancia de eufáusidos y B) Promedio anual de volúmenes de zooplankton y biomasa de anchoveta.

confirman que se necesita una revisión de toda la red trófica. Sin embargo, se ha podido encontrar que en el sistema de la corriente peruana, la anchoveta consume organismos más grandes que en otros sistemas de surgencia y que la alta producción de peces en el sistema peruano no es consecuencia de una cadena alimentaria corta, con un consumo directo del fitoplancton, sino de una cadena algo más larga y muy eficiente, con eufáusidos y copépodos grandes como presas principales. El acoplamiento entre la productividad primaria y la producción de peces, debe ser muy bueno para que la tasa de crecimiento de la anchoveta del Pacífico (sudoriental) sea más rápida que la de los engrúlididos de otros sistemas de afloramiento.

La característica más importante de este ecosistema parece ser la coherencia entre la disponibilidad del plancton, la concentración de copépodos y eufáusidos, y los grandes cardúmenes de peces (principalmente anchoveta) con movimientos de 5 a 20 km por día. Por otro lado, la disminución local del plancton, debe restaurarse rápidamente antes de la llegada de los cardúmenes de anchoveta. Todos estos eventos de corto plazo son integrados en las respuestas fisiológicas de la anchoveta a escala estacional en términos de la condición del pez (FC), las reservas de grasa y el índice gonadosomático (IGS).

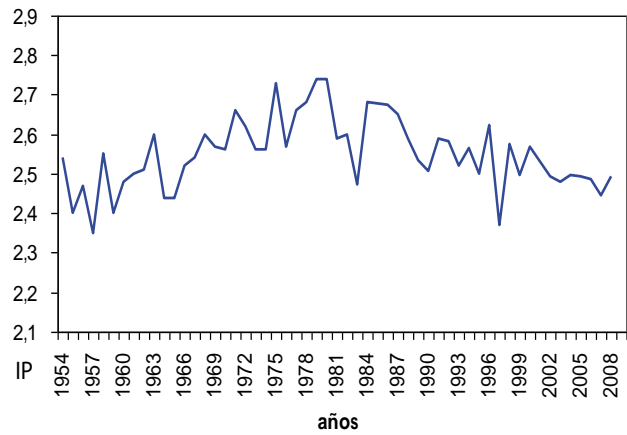


Figura 11.- Cambios en el índice de performance (IP) de la anchoveta desde 1954 al 2008.

El éxito reproductivo parece ser alto durante los años normales y fríos, principalmente durante el periodo frío a partir de 1999. La reproducción y el estado fisiológico sólo se ven interrumpidos cuando se presentan eventos cálidos fuertes, debido al stress que sufren los peces por el incremento de la temperatura, la calidad del alimento y la competencia intra-específica por los escasos refugios disponibles cerca de la costa. Los cambios fisiológicos incluyen cambios en la condición corporal y duración e intensidad de desove, afectando también al reclutamiento. Por otro lado, los mecanismos subyacentes al éxito del reclutamiento (e.g., alimentación de las larvas, movimientos verticales y horizontales, el crecimiento y supervivencia) se estudiaron con cierto detalle en el mar peruano entre los años 1977 a 1979 durante el programa ICANE (DICKIE y VALDIVIA 1981 y sus referencias), pero investigaciones recientes existen aún muy pocas.

La recuperación de la población de la anchoveta es rápida después de los eventos cálidos debido a que la población responde a la normalización de las condiciones ambientales, disminuyendo también la mortalidad. Los cambios interanuales en las tasas de crecimiento son más difíciles de interpretar en el tiempo. Es así que un aumento de la eficiencia en el crecimiento era evidente en el primer periodo de abundancia de esta especie (1954 a 1978), seguido de un periodo de alta variabilidad. El aumento progresivo de la tasa de crecimiento durante el periodo 1954 al 1978 fue atribuido por PALOMARES et al. (1987) a la disminución de la biomasa de la anchoveta. Asimismo, durante el periodo de la década de los ochenta concuerda con los resultados obtenidos por MENDO (1991), donde indica que la estabilización de la tasa de crecimiento está relacionada a las bajas biomásas de la anchoveta para

esos años para la región norte-centro y sur. Asimismo, el IP disminuye progresivamente en las décadas siguientes coincidiendo con el aumento de la biomasa de la anchoveta, como se observa en la Fig. 10.

El período de baja abundancia de la anchoveta (1972 – 1986) continuó con una época de presión de la pesca, además que predominaron aguas más cálidas, alterando la disponibilidad del alimento y disminuyendo el reclutamiento de la anchoveta. Como consecuencia, la población de sardina (*Sardinops sagax*) se incrementó y el esfuerzo pesquero fue derivado en gran parte a esta especie, permitiendo la recuperación de la anchoveta cuando retornaron las condiciones frías.

Biomasa bajas y cardúmenes pequeños de la anchoveta (FRÉON y MISUND 1999), durante el período 1986 - 91, habrían permitido una mejor alimentación individual y una mejora en el proceso reproductivo, pero no en la condición fisiológica. El incremento de las poblaciones de anchoveta causó la merma de la sardina, posiblemente debido a la combinación de una mayor competencia, una fuerte presión pesquera en la sardina y a un cambio en las condiciones oceanográficas.

Recomendaciones

- Continuar con el programa de monitoreo de anchoveta.
- Reforzar las investigaciones sobre la biología de los eufáusidos.
- Reforzar las investigaciones sobre el rol de los copépodos y eufáusidos en el ecosistema de afloramiento peruano.
- Reforzar las investigaciones sobre las tasas de crecimiento del plancton frente a las necesidades energéticas de la anchoveta.
- Reforzar las investigaciones de las tasas de crecimiento de la anchoveta, en base a la identificación de los anillos diarios y anuales de los otolitos.

Referencias

- AYÓN P, PURCA S, GUEVARA-CARRASCO R. 2004. Zooplankton volume trends off Peru between 1964 and 2001. *ICES Journal of Marine Science*. 61: 478-484.
- AYÓN P, SWARTZMAN G. 2008. Changes in the long-term distribution of zooplankton in the Humboldt Current Ecosystem off Peru, 1961-2005, and its relationship to regime shifts and environmental factors. *Fisheries Oceanography* 17(6): 421-431.
- AGÜERO M, CLAVERÍ M. 2007. Capacidad de pesca y manejo pesquero en América: una síntesis de casos. *FAO Documento Técnico de Pesca*. N° 461:61-71.
- BAKUN A, WEEKS S. 2008. The marine ecosystem off Peru: What are the secrets of its fishery productivity and what might its future hold?. *Progress in Oceanography* 79: 290 – 299.
- CARRASCO S, LOZANO O. 1989. Seasonal and long-term variations of zooplankton volumen in the Peruvian sea, 1964-1987. In: Pauly D, Muck P, Mendo J, and Tsukayama I. (Eds.). *The Peruvian upwelling ecosystem: dynamics and interactions*. ICLARM. Instituto del Mar del Perú (IMARPE); Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ), GMBH, Eschborn, Federal Republic of Germany; and International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM), Manila, Philippines: 82-85.
- CHÁVEZ F, NIQUEN M, CSIRKE J, BERTRAND A, WOSNITZA C, GUEVARA-CARRASCO R. 2009. Fifth International Panel on the Anchoveta: towards an ecosystem approach to fisheries. *GLOBEC International Newsletter* October 2009. P 14 – 15.
- CHIRICHIGNO N, VÉLEZ J. 1998. Clave para identificar los peces marinos del Perú (2da Edición). *Pub. Esp. Inst. Mar Perú*. 500 pp.
- DICKIE LM, VALDIVIA JE. 1981. Informe sumario, investigación cooperativa de la anchoveta y su ecosistema -ICANE Entre Perú y Canadá. *Boletín IMARPE*, Vol. Extraordinario ISSN-Q 378-7669, I-XXIII.
- ESPINOZA P, BERTRAND A. 2008. Revisiting Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) trophodynamics provides a new vision of the Humboldt Current system. *Progress in Oceanography* 79: 215-227.
- ESPINOZA P, BERTRAND A, VAN DER LINGEN CD, GARRIDO S, ROJAS DE MENDIOLA B. 2009. Diet of sardine (*Sardinops sagax*) in the northern Humboldt Current system and comparison with the diets of clupeoids in this and other eastern boundary upwelling systems. *Progress in Oceanography* 83, 242-250.
- FRÉON P, MISUND OA. 1999. Dynamics of pelagic fish distribution and behaviour effects on fisheries and stock assessment. *Blackwell Science*, Oxford, 348 pp.
- JAMES AG. 1987. Feeding ecology, diet and field-based studies on feeding selectivity of the Cape anchovy *Engraulis capensis* Gilchrist. En Payne AIL, Gulland JA, Brink KH (Eds.) *The Benguela and comparable ecosystems*. *South African Journal of marine Science* 5: 673-692.
- JAMES AG, FINDLAY KP. 1989. Effect of particle size and concentration on feeding behaviour, selectivity and rates of food ingestion by Cape anchovy *Engraulis capensis*. *Marine Ecology Progress Series* 50: 275-294.
- JORDÁN R. 1971. Distribution of anchoveta (*Engraulis ringens* J.) in relation to the environment. *Inv. Pesq.* 35(1): 113-126.
- MENDO J. 1991. Stock identification of Peruvian anchoveta (*Engraulis ringens*): morphometric, tagging/recapture, electrophoretic and ecological studies. *Vorgelegt dem Fachbereich 2 (Biologie) der Universitaet Bremen als Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat)*: 144 pp.
- NIXON S, THOMAS A. 2001. On the size of the Peru upwelling ecosystem. *Deep-Sea Research I* 48: 2521 – 2528.
- NIQUEN M, BOUCHON M. 2004. Impact of El Niño events on pelagic fisheries in Peruvian waters. *Journal Deep Sea Research II* N°51 (2004): 563-574.
- PALOMARES M, MUCK P, MENDO J, CHUMAN E, GOMEZ O, PAULY D. 1987. Growth of the Peruvian Anchoveta

- (*Engraulis ringens*), 1953 to 1982. The Peruvian Anchoveta and Its Upwelling Ecosystem: Three Decades of Change. Edited by D. Pauly and I. Tsukayama. 351 pp.
- ROJAS DE MENDIOLA B. 1971. Some observations on the feeding of the Peruvian anchoveta *Engraulis ringens* J. in two regions of the Peruvian coast. In Costlow, J.D. (Ed.) Fertility of the Sea. New York, Gordon and Breach Science Publisher 2: 417-440.
- PAULY D, TSUKAYAMA I. 1987. On the implementation of management-oriented fishery research: the case of the Peruvian anchoveta. In: Pauly D, and Tsukayama I. (Eds.). The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of changes. ICLARM. Instituto del Mar del Perú (IMARPE); Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH, Eschbom, Federal Republic of Germany; and International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM), Manila, Philippines:1-13.
- SANTANDER H, ZUZUNAGA J. 1984. Cambios en algunos componentes del ecosistema marino frente al Perú durante el fenómeno El Niño 1982-83. Rev. Com. Perm. Pacífico Sur (15): 311-331.
- SCHAEFER M. 1967. Dinámica de la pesquería de anchoveta (*Engraulis ringens*) en el Perú. Bol. Inst. Mar Perú. Callao. 1(5): 191-303.
- SPARRE P, VENEMA S. 1992. Introduction to tropical fish stock assessment. Part I – Manual. FAO Fisheries Technical Paper N° 306. 1, Rev. 1. Rome, FAO. 1992, 376 pp.

Relación entre anchoveta y otros componentes del ecosistema

Relationship between anchovy and other components of the ecosystem

JORGE TAM^{1*}, VERÓNICA BLASKOVIC¹, ELISA GOYA¹,
MARILÚ BOUCHON¹, MARC TAYLOR², RICARDO OLIVEROS-RAMOS¹,
RENATO GUEVARA-CARRASCO¹, SARA PURCA¹

Resumen

TAM J, BLASKOVIC V, GOYA E, BOUCHON M, TAYLOR M, OLIVEROS-RAMOS R, GUEVARA-CARRASCO R, PURCA S. 2010. *Relación entre anchoveta y otros componentes del ecosistema. Bol Inst Mar Perú 25(1-2): 31-37.*- Se hipotetiza que la mortalidad por pesca ocasiona efectos ecosistémicos, no sólo sobre la anchoveta, sino también sobre otros componentes del ecosistema, tales como los depredadores tope. El objetivo es realizar simulaciones con un modelo ecotrófico multiespecífico cubriendo el decenio de los años 2000, cambiando la mortalidad por pesca y analizando las variaciones en la biomasa de anchoveta, aves guaneras y lobos marinos. Se usó el Índice de Oscilación Peruano (IOP) para incluir una mediación que afecte la vulnerabilidad de las presas de la anchoveta. Se comparó el ajuste de los datos observados, usando dos tipos de dieta para anchoveta (fitoplanc-tófaga y zooplanc-tófaga). Se realizaron proyecciones de la biomasa, cambiando la mortalidad por pesca de 0,0 a 1,4 año⁻¹. Las simulaciones con la dieta zooplanc-tófaga, que eleva el nivel trófico de la anchoveta de 2,35 a 3,36, produjo un menor ajuste entre los datos observados y simulados. La relación inversa entre la mortalidad por pesca y la biomasa desovante de la anchoveta, mostró que mortalidades por pesca entre 0,8 y 1,4 año⁻¹ estarían asociadas a una biomasa desovante mínima de anchoveta, tomando en consideración sus relaciones multiespecíficas. También se encontró una relación inversa entre la mortalidad por pesca y las poblaciones de aves guaneras y lobos marinos.

PALABRAS CLAVE: Modelo ecotrófico, anchoveta, Ecosistema de la Corriente de Humboldt, Perú.

Abstract

TAM J, BLASKOVIC V, GOYA E, BOUCHON M, TAYLOR M, OLIVEROS-RAMOS R, GUEVARA-CARRASCO R, PURCA S. 2010.- *Relationship between anchovy and other components of the ecosystem. Bol Inst Mar Perú 25(1-2): 31-37.*- It is hypothesized that the fishing mortality has ecosystem effects, not only on the anchovy but also on other ecosystem components, such as top predators. The objective is to carry out simulations with a multispecific ecotrophic model for the decade of the years 2000, changing fishery mortality and analyzing biomass variations in seabirds and pinnipeds. The Peruvian Oscillation Index was used to include a mediation affecting the vulnerability of anchovy preys. The fit of observed data was compared using two types of anchovy diet (phytoplanktophagous and zooplanktophagous). Biomass projections were carried out varying fishing mortality from 0,0 to 1,4 y⁻¹. Simulations with the zooplanktophagous diet, which increased the trophic level of the anchovy from 2,35 to 3,36, produced a lower fit between observed and simulated data. The inverse relationship between fishing mortality and anchovy spawning biomass showed that fishing mortalities between 0,8 and 1,4 y⁻¹ were associated to a minimum spawning biomass of anchovy, taking into account its multispecific relationships. An inverse relationship was also found between the fishing mortality and populations of seabirds and pinnipeds.

KEYWORDS: Ecotrophic model, anchovy, Humboldt Current Ecosystem, Perú.

1 Instituto del Mar del Perú, Esq. Gamarra y Valle s/n, Apartado 22, Callao, Perú.

2 Center for Tropical Marine Ecology, Fahrenheitstr. 6, 28359 Bremen, Germany.

* Correo-e: jtam@imarpe.pe, Esquina Gamarra y Gral. Valle s/n, Callao, Perú.

Introducción

Las estrategias de manejo de la anchoveta que se aplican en el Perú coinciden en gran parte con el enfoque ecosistémico a las pesquerías, puesto que en el proceso de toma de decisiones sobre medidas de manejo se investigan y se toma en cuenta un amplio rango de factores ambientales, biológicos, económicos y sociales (J. CSIRKE, com. pers.). No es necesario contar con modelos específicos para aplicar de manera precautoria el enfoque ecosistémico a las pesquerías (FAO 2003); sin embargo, los modelos son útiles para asimilar nueva información, entender los procesos ecológicos y cuantificar el efecto de las medidas adoptadas, que sirva de base para implementar sistemas de apoyo a las decisiones (JARRE et al. 2008).

En vista de que ya se realiza un manejo adaptativo de la anchoveta en el Perú (FRÉON et al. 2008), el siguiente paso es conocer mejor la relación entre la pesquería de la anchoveta y los otros componentes del ecosistema, es decir, reorientar el manejo monoespecífico al manejo multiespecífico, con la finalidad de estimar un rendimiento ecológico sostenible (RES), que asegure tanto la sostenibilidad de la anchoveta como la de sus competidores y depredadores en el largo plazo (ZABEL et al. 2003) y del ecosistema que los sostiene.

En el presente trabajo se hipotetiza que la mortalidad por pesca ocasiona efectos ecosistémicos, no sólo sobre la anchoveta, sino también sobre otros componentes del ecosistema, tales como los depredadores tope. El objetivo es realizar simulaciones con un modelo ecotrófico multiespecífico, aplicando diferentes niveles de mortalidad por pesca y analizando las variaciones en la biomasa de anchoveta, aves guaneras y lobos marinos.

Material y métodos

MODELO

Se usó como base la estructura del modelo de red trófica del Ecosistema de la Corriente de Humboldt frente al Perú norte-centro, con 31 grupos funcionales bióticos, descrito en detalle en TAM et al. (2008) y TAYLOR et al. (2008). Se actualizaron las biomásas y capturas de los principales grupos usando el promedio desde el año 2000 con la información más reciente disponible. También se actualizaron las dietas de los principales depredadores de la anchoveta (V. BLASKOVIĆ, com. pers.). Se usó el Índice de Oscilación Peruano (IOP) (PURCA 2005) para incluir una mediación que afecte negativamente la vulnerabilidad de las presas de la

anchoveta, para lo cual se usaron grupos ficticios y un reescalamiento del IOP de 0 a 2, siguiendo el procedimiento descrito en FIELD et al. (2006). Las simulaciones se realizaron con el programa computacional Ecopath with Ecosim (EwE) versión 5,1 (CHRISTENSEN et al. 2005).

SIMULACIÓN DE DIFERENTES DIETAS DE ANCHOVETA

Se simularon dos tipos de dietas de anchoveta: con 31% de zooplancton (TAM et al. 2008, basada en contenidos estomacales en peso húmedo) y con 98% de zooplancton (ESPINOZA y BERTRAND 2008, basada en contenidos estomacales en carbono). Se realizó una búsqueda de valores de vulnerabilidad para mejorar el ajuste con las series de tiempo observadas (CHRISTENSEN et al. 2005).

EFFECTO DE LA MORTALIDAD POR PESCA

Se simularon diferentes estrategias de manejo pesquero, haciendo variar la mortalidad por pesca (F) desde 0,0 hasta 1,4 año⁻¹. El horizonte de simulación abarcó del 2000 al 2021. Se promediaron los resultados de los últimos 5 años de simulación.

Resultados y discusión

SIMULACIONES CON DIFERENTES DIETAS DE ANCHOVETA

Al considerar la dieta zooplanctófaga (98% zooplancton), el balance de masas mostró un incremento en la biomasa de macrozooplancton calculada por el modelo, desde 26,7 t.km⁻² a 70,7 t.km⁻². Este último valor, estuvo más cercano a las recientes estimaciones acústicas de macrozooplancton (M. BALLÓN, com. pers.). La dieta zooplanctófaga elevó el nivel trófico de esta especie de 2,35 a 3,36, lo cual coincide con el nivel trófico de 3,31 obtenido con el modelo OSMOSE por MARZLOFF (2007). Del mismo modo, GUÉNETTE et al. (2008) encontraron un incremento del nivel trófico de anchoveta de 2,22 a 2,67 al considerar un escenario con una dieta con mayor proporción de zooplancton.

En las simulaciones para el periodo 2000-2008, se obtuvieron mejores ajustes del modelo con los datos multiespecíficos observados usando una dieta fitoplanctófaga (SS = 44,1) comparado con una dieta zooplanctófaga (SS = 41,8). Por otro lado, al emplear la dieta zooplanctófaga la simulación subestimó las biomásas de anchoveta (Figs. 1, 2). La sensibilidad de las biomásas frente a cambios en la dieta es esperable, ya que en el modelo la proporción de las presas en la dieta del depredador varía con el tiempo, dependiendo

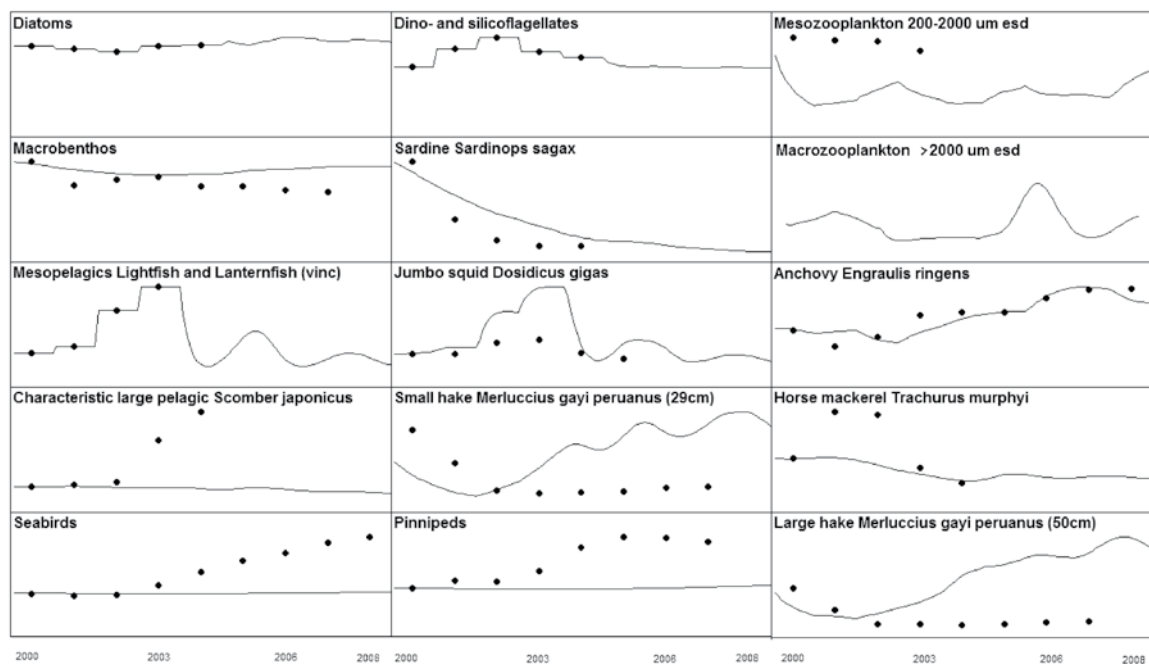


Figura 1.- Biomosas observadas (puntos) y simuladas (líneas) de los principales grupos funcionales, usando una dieta de anchoveta con 31% de zooplancton.

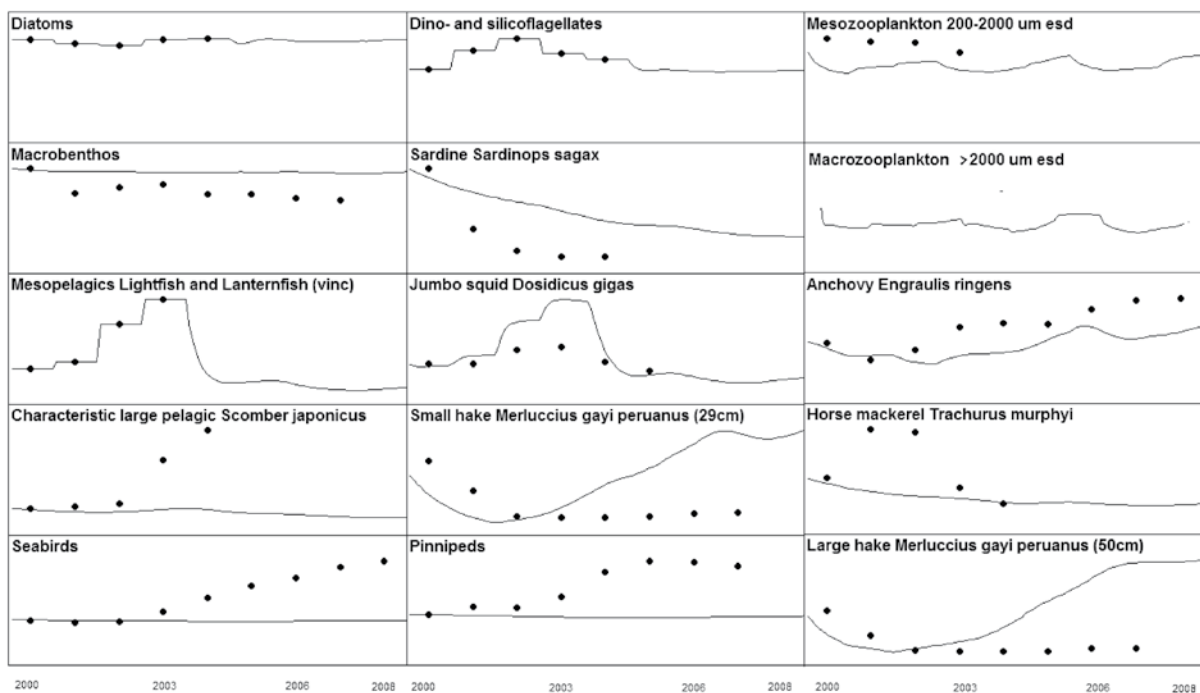


Figura 2.- Biomosas observadas (puntos) y simuladas (líneas) de los principales grupos funcionales, usando una dieta de anchoveta con 98% de zooplancton.

de los cambios en las biomosas y vulnerabilidades de las presas (GUÉNETTE et al. 2008).

Por otro lado, las biomosas de aves guaneras y pinnípedos no se ajustaron bien a los datos observa-

dos, posiblemente debido a que el modelo corresponde a una escala espacial muy grande, que no representa las interacciones a menor escala espacial entre las poblaciones locales de depredadores y la anchoveta.

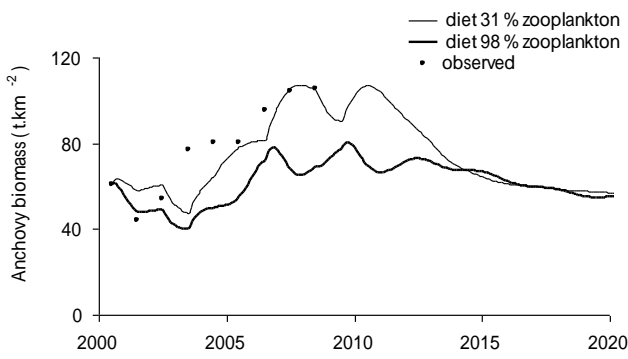


Figura 3.- Proyecciones de la biomasa de anchoveta para el horizonte 2000-2020, asumiendo la mortalidad por pesca del status quo constante ($F = 0,3$).

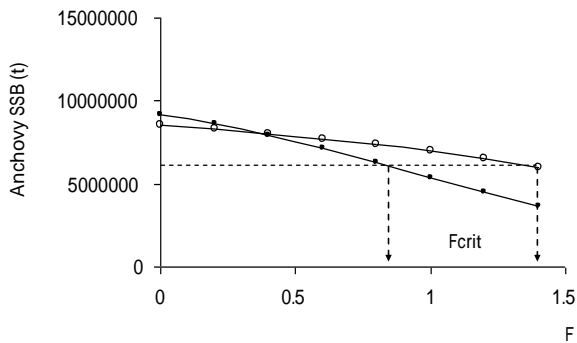


Figura 4.- Efecto de la mortalidad por pesca sobre la biomasa desovante de la anchoveta, usando dietas de anchoveta con 31 % (puntos) y 98 % (círculos) de zooplancton en el modelo ecotrófico multiespecífico.

EFFECTO DE LA MORTALIDAD POR PESCA SOBRE LA ANCHOVETA Y OTROS COMPONENTES DEL ECOSISTEMA

En el caso de la anchoveta, asumiendo una mortalidad por pesca constante, igual al status quo ($F = 0,3$), las proyecciones muestran una estabilización de las biomásas alrededor de 60 t.km^{-2} (equivalente a unos 10 millones de toneladas) (Fig. 3). Cabe destacar, que con la dieta fitoplanctófaga se observó una relación inversa entre la anchoveta y el mesozooplancton, indicando una posible limitación trófica entre estos dos grupos. Por otro lado, con la dieta zooplanctófaga la anchoveta presentó oscilaciones de aproximadamente 2,5 años cuando $F > 0,8$, debido a fluctuaciones del macrozooplancton, con retardos temporales entre estos grupos.

Un incremento en la mortalidad por pesca, produjo una disminución de las biomásas de anchoveta (Fig. 4). En base a la relación biomasa desovante-reclutamiento de la anchoveta (R. GUEVARA-CARRASCO, com. pers.), se consideró como punto de referencia mínimo

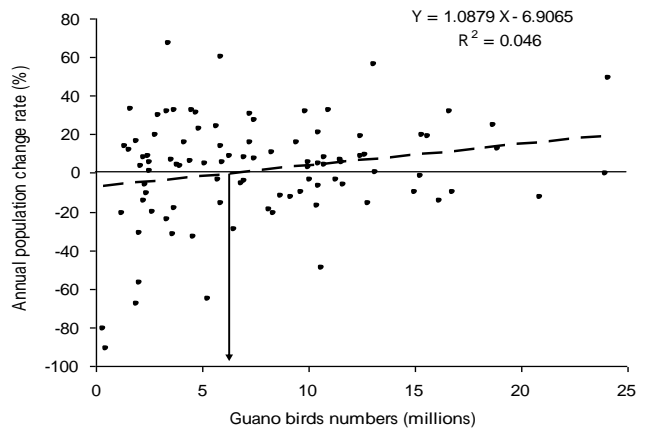


Figura 5.- Regresión lineal (línea punteada) entre las tasas anuales de cambio poblacional de aves guaneras y el tamaño poblacional. En promedio, valores menores a 6 millones de aves (flecha) producen tasas negativas.

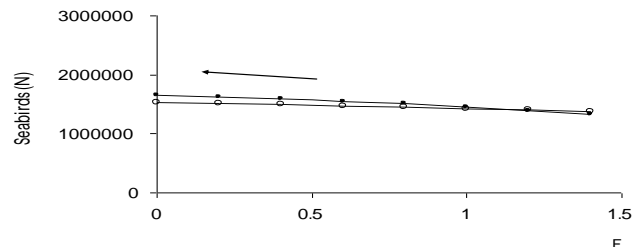


Figura 6.- Efecto de la mortalidad por pesca sobre la abundancia de aves guaneras, usando dietas de anchoveta con 31% (puntos) y 98% (círculos) de zooplancton. A menor pesca se incrementa la abundancia de aves guaneras (flecha).

precautorio seis millones de toneladas de biomasa desovante. Para este nivel, se determinó una mortalidad por pesca crítica entre $0,8$ y $1,5 \text{ año}^{-1}$, teniendo en cuenta las variaciones en la dieta de anchoveta, entre fitoplanctófaga y zooplanctófaga. Aunque históricamente se han estimado valores anuales de F de hasta 5 año^{-1} (PAULY et al. 1987), estimaciones posteriores muestran que los valores de F entre 1953-1981, suavizados con una media móvil de 13 meses, son menores a $1,1 \text{ año}^{-1}$ (PAULY y PALOMARES 1989). Entre 1962 y 2008, los valores de F han sido menores a $2,0 \text{ año}^{-1}$ (DÍAZ et al. 2010, J. CSIRKE, com. pers.).

Si bien una dieta zooplanctófaga permite soportar una mayor mortalidad por pesca, frente a las posibles variaciones en la dieta de anchoveta se debe promover un enfoque precautorio, adoptando el menor valor de F crítico.

El modelo también permitió investigar el efecto de la mortalidad por pesca sobre otros componentes del ecosistema. Al disminuir la mortalidad por pesca se observó un aumento en la biomasa de depredadores

tope. Este comportamiento fue similar usando los dos tipos de dietas de anchoveta (Figs. 6, 7), lo cual evidencia un amortiguamiento en la propagación de perturbaciones hacia altos niveles tróficos (YODZIS 1988).

En el caso de las aves guaneras se observó que con ausencia de pesca la población de aves en el modelo aumentaría aproximadamente entre 5-8% por década. Cabe señalar que en la realidad la recuperación ha sido mayor, como el incremento de 170% por década observado en los años 2000. Actualmente se estima que la población de aves guaneras (guanay, piquero y pelícano) ha superado los tres millones de individuos, sin embargo la población aún se encuentra en alto riesgo, dado que se requiere una recuperación a por lo menos 6 millones de individuos para evitar colapsos poblacionales (Fig. 5).

Se ha observado una competencia entre las aves y las pesquerías, que podría estar afectando la alimentación de las aves reproductoras (JORDÁN y FUENTES 1966, FUENTES 1971, TOVAR et al. 1987, GOYA 2000, BERTRAND et al. 2010 com. pers.). Pero no sólo la magnitud de la pesca, sino también el incremento en la capacidad de bodega (BOUCHON et al. 2000, FRÉON et al. 2008) podrían estar afectando la estructura espacial de los cardúmenes, y consecuentemente el comportamiento alimentario de las aves.

Por otro lado, con los niveles actuales de pesca, la tendencia de recuperación de las aves es positiva pero lenta, debido a que existen otros factores, como la pérdida de hábitats para reproducción y los eventos El Niño que evitan una recuperación continua de las poblaciones de aves.

Por lo tanto, además de tomar en consideración el consumo de anchoveta por las aves para el establecimiento de las cuotas de pesca, la reducción de la mortalidad por pesca no sería suficiente para lograr una rápida recuperación de las aves, sino también es necesario adoptar medidas de protección del hábitat, para evitar o reducir las interferencias con otras actividades humanas o con depredadores potenciales.

En el caso de los lobos marinos, el efecto positivo sobre la población fue mayor al disminuir la mortalidad por pesca, observándose que con ausencia de pesca la población de estos mamíferos aumentaría aproximadamente entre 9-15% por década. Cabe señalar que en la realidad la recuperación ha sido mayor, como el incremento de 136% por década observado en los años 2000. GUÉNETTE et al. (2006) simularon incrementos en la población del lobo marino *Eumetopias jubatus* entre 38 y 94% por década en Alaska. Actualmente se estima que la población de lobos marinos (lobo fino

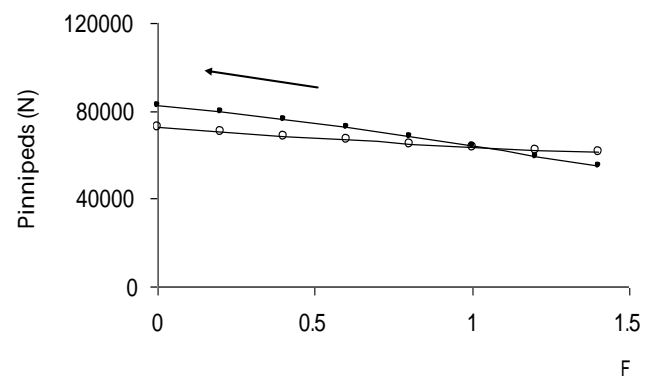


Figura 7.- Efecto de la mortalidad por pesca sobre la abundancia de lobos marinos, usando dietas de anchoveta con 31% (puntos) y 98% (círculos) de zooplancton. A menor pesca se incrementa la abundancia de lobos marinos (flecha).

y lobo chusco) ha superado los 120000 individuos, lo que representaría un bajo riesgo de colapso poblacional (E. GOYA, com. pers.).

Cabe señalar que el modelo ecotrófico multiespecífico requiere incluir mecanismos adicionales para mejorar el ajuste entre los datos observados y simulados de aves guaneras y lobos marinos. Por ejemplo, GUÉNETTE et al. (2008) usaron mediaciones entre el bonito y las aves guaneras para aumentar la vulnerabilidad de la anchoveta a las aves en presencia de bonito. En vista de que el modelo corresponde a una escala espacial grande que permite investigar sólo las tendencias generales de los depredadores tope, será necesario desarrollar modelos con resolución espacial fina para considerar el efecto de la distribución de la anchoveta sobre las colonias de aves y pinnípedos.

Conclusiones y recomendaciones

El modelo ecotrófico multiespecífico de los años 2000 permitió simular las biomásas de anchoveta y otros componentes del ecosistema (depredadores tope), comparando dos dietas de anchoveta. La dieta zooplanctófaga elevó el nivel trófico de la anchoveta de 2,35 a 3,36, pero produjo un menor ajuste entre las biomásas observadas y simuladas. Los depredadores tope en general no tuvieron un buen ajuste, por lo que se requiere una mayor calibración y refinamiento del modelo.

La relación inversa entre la mortalidad por pesca y la biomasa desovante, mostró que mortalidad por pesca (F) entre 0,8 y 1,5 año⁻¹ estarían asociadas a una biomasa desovante mínima precautoria de anchoveta, tomando en consideración sus relaciones multiespecíficas. Entre 1962 y 2008, los valores de F han sido menores a 2 año⁻¹ (DÍAZ et al. 2010, J. CSIRKE, com. pers.).

En concordancia con lo esperado teóricamente, se encontró una relación inversa entre la mortalidad por pesca y las poblaciones de aves guaneras y lobos marinos. Las tendencias de recuperación de las aves con los niveles actuales de pesca es positiva pero lenta, debido a la existencia de otros factores que inciden sobre su población, como la pérdida de hábitats y los eventos El Niño, que evitan una recuperación continua de las poblaciones de aves. Por lo tanto, además de tomar en consideración el consumo de anchoveta por las aves para la estimación de las cuotas de pesca, también es necesario establecer medidas de protección de sus hábitats.

En vista de la gran importancia de la anchoveta como componente clave del norte del Ecosistema de la Corriente de Humboldt, se recomienda seguir una estrategia de investigación de largo plazo para estudiar la anchoveta en su ecosistema considerando las recomendaciones planteadas por DICKIE y VALDIVIA (1981), ARNTZ y VALDIVIA (1985), PAULY (1987), CADDY y SHARP (1988), CSIRKE et al. (1989), CHÁVEZ et al. (2008), y particularmente modelar el ecosistema usando series de tiempo largas, como lo indican GUÉNETTE et al. (2008).

Respecto a la dieta de anchoveta, se requiere continuar con las mediciones de biovolúmenes individuales de especies peruanas de fitoplancton y zooplancton, así como usar métodos isotópicos para determinar el nivel trófico de la anchoveta. También sería de gran utilidad estimar la serie de tiempo de macrozooplancton con métodos acústicos.

Con el fin de entender mejor la dinámica de las aves guaneras, sería necesario construir modelos con resolución espacial fina. Estos modelos tendrían el objetivo de relacionar la disponibilidad local de anchoveta con el crecimiento poblacional de las aves en colonias seleccionadas. Para evitar el "Síndrome de cambio de línea base" (en inglés: *Shifting baseline syndrome*) (PAULY 1995), también sería necesario reconstruir las series de tiempo de aves y mamíferos de varias décadas atrás, así como realizar análisis de viabilidad poblacional para la anchoveta, aves guaneras y lobos marinos.

Agradecimientos.- Se agradece a ASTRID JARRE por su acertado asesoramiento y revisión del presente informe. A CLAUDIA WOSNITZA-MENDO, SALVADOR PERALTILLA, CARLOS GOICOCHEA, JUAN ARGÜELLES, ERICH DÍAZ, EDWARD BARRIGA, LUIS QUIPÚZCOA, SONIA SÁNCHEZ, DANIEL QUISPE, MIGUEL ÑIQUEN y MARTÍN SALAZAR, por sus valiosos comentarios e información proporcionada. A AGRORURAL por la información sobre abundancia de aves guaneras y especialmente a JORGE CSIRKE por la revisión del manuscrito.

Referencias

- ARNTZ WE, VALDIVIA J. 1985. Visión integral del problema "El Niño": introducción. En: "El Niño" su impacto en la fauna marina. pp. 5-10. Bol. Inst. Mar Perú. Vol. Ext. 222 pp.
- BOUCHON M, CAHUIN S, DIAZ E, ÑIQUEN M. 2000. Captura y esfuerzo pesquero de la pesquería de anchoveta peruana (*Engraulis ringens*). Bol Inst. Mar Perú. 19:109-115.
- BERTRAND S, GOYA E, SILVA J. 2010. Pescadores y aves marinas compitiendo por el mismo recurso: estrategias de forrajeo, interacciones y consecuencias. Bol. Inst. Mar Perú 25 (1-2):39-44.
- CADDY JE, SHARP GD. 1988. Un marco ecológico para la investigación pesquera. FAO Doc. Tco. Pesca. (283):155 pp.
- CHÁVEZ F, BERTRAND A, GUEVARA-CARRASCO R, SOLER P, CSIRKE J. 2008. The northern Humboldt Current System: Brief history, present status and a view towards the future. Progress in Oceanography 79:95-105.
- CHRISTENSEN V, WALTERS CJ, PAULY D. 2005. Ecopath with Ecosim: a user's guide. Fisheries Centre Research Reports 12, 154 pp.
- CSIRKE J, MENDO J, ZUZUNAGA J, CARDENAS G, MUCK P, CHAVEZ F. 1989. Informe del taller de trabajo sobre modelos para la predicción del rendimiento en el sistema de afloramiento Peruano. p. 1-13. In: Pauly D, Muck P, Mendo J, Tsukayama I. (Eds.), The Peruvian upwelling ecosystem: dynamics and interactions. ICLARM Conference Proceedings 18. 438 pp.
- DIAZ E, GARCÍA C, ESPINOZA D, GUEVARA-CARRASCO R, CSIRKE J, ÑIQUEN 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.
- DICKIE LM, VALDIVIA J. 1981. Investigación cooperativa de la anchoveta y su ecosistema (ICANE) entre Perú y Canadá. Bol. Inst. Mar Peru. Vol. Ext. I-XII.
- ESPINOZA P, BERTRAND A. 2008. Revisiting Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) trophodynamics provides a new vision of the Humboldt Current system. Progress in Oceanography. 79:215-227.
- FAO. 2003. The ecosystem approach to fisheries. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. (4):112.
- FIELD JC, FRANCIS RC, AYDIN K. 2006. Top-down modelling and bottom-up dynamics: Linking a fisheries-based ecosystem model with climate hypotheses in the Northern California Current. Progress in Oceanography 68:238-270.
- FRÉON P, BOUCHON M, MULLON C, GARCÍA C, ÑIQUEN M. 2008. Interdecadal variability of anchoveta abundance and overcapacity of the fishery in Peru. Progress in Oceanography 79:401-412.
- FRÉON P, BERTRAND S, BOUCHON M, ÑIQUEN M. 2008. Adaptive management in pelagic fisheries. Fact Sheet 9 of the EUR-OCEANS network. <http://www.eur-oceans.eu/WP9/Factsheets/FS9/FS9.pdf>.
- FUENTES H. 1971. La mortandad de aves marinas en 1965. Tesis para biólogo. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Perú.

- GOYA E. 2000. Abundancia de aves guaneras y su relación con la pesquería de anchoveta peruana de 1953 a 1999. Bol. Inst. Mar Perú 19(1-2): 125-131.
- GUÉNETTE S, CHRISTENSEN V, PAULY D. 2008. Trophic modelling of the Peruvian upwelling ecosystem: Towards reconciliation of multiple datasets. Progress in Oceanography 79:326-335.
- GUÉNETTE S, HEYMANS S, CHRISTENSEN V, TRITES A. 2006. Ecosystem models show combined effects of fishing, predation, competition and ocean productivity on Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) in Alaska. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 63: 2495-2517.
- JARRE A, PATERSON B, MOLONEY CL, MILLER DCM, FIELD JG, STARFIELD AM. 2008. Knowledge-based systems as decision support tools in an ecosystem approach to fisheries: Comparing a fuzzy-logic and a rule-based approach. Progress in Oceanography 79:390-400.
- JORDÁN R, FUENTES H. 1966. Las poblaciones de aves guaneras y su situación actual. Informe Instituto del Mar del Perú, Callao, 10:1-31.
- MARZLOFF M. 2007. Exploration de la structure trophique de l'écosystème marin côtier du Pérou et des effets de la pêche à l'aide du modèle OSMOSE. Mémoire pour Diplôme d'Agronomie Approfondie (DAA). Agrocampus Rennes. 47 pp.
- PAULY D. 1987. Managing the Peruvian upwelling ecosystem: a synthesis. p. 325-342. In: Pauly, D., Tsukayama, I. (Eds.). The Peruvian Anchoveta and its Upwelling Ecosystem: Three Decades of Change. ICLARM Studies and Reviews, vol. 15. 351 pp.
- PAULY D, PALOMARES ML, GAYANILO FC. 1987. VPA estimates of the monthly population length composition, recruitment, mortality, biomass and related statistics of Peruvian anchoveta, 1953 to 1981. p. 142-166. In: Pauly D., Tsukayama I. (Eds.). The Peruvian Anchoveta and its Upwelling Ecosystem: Three Decades of Change. ICLARM Studies and Reviews, vol. 15. 351 pp.
- PAULY D, PALOMARES ML. 1989. New estimates of monthly biomass, recruitment and related statistics of anchoveta (*Engraulis ringens*) off Peru (4-14 S), 1953-1985. p. 189-206. In: Pauly D., Muck P., Mendo J., Tsukayama I. (Eds.), The Peruvian upwelling ecosystem: dynamics and interactions. ICLARM Conference Proceedings 18. 438 pp.
- PAULY D. 1995. Anecdotes and the shifting baseline syndrome of fisheries. Trends in Ecology and Evolution. 10:430.
- PURCA S. 2005. Variabilidad temporal de baja frecuencia en el Ecosistema de la Corriente Humboldt frente a Perú. Tesis de Doctorado. Universidad de Concepción, Chile.
- TAM J, TAYLOR MH, BLASKOVIC V, ESPINOZA P, BALLÓN RM, DÍAZ E, WOSNITZA-MENDO C, ARGÜELLES J, PURCA S, AYÓN P, QUIPÚZCOA L, GUTIÉRREZ D, GOYA E, OCHOA N, WOLFF M. 2008. Trophic modeling of the Northern Humboldt Current Ecosystem, Part I: Comparing trophic linkages under La Niña and El Niño conditions. Progress in Oceanogr. 79:352-365.
- TAYLOR MH, TAM J, BLASKOVIC V, ESPINOZA P, BALLÓN RM, WOSNITZA-MENDO C, ARGÜELLES J, DÍAZ E, PURCA S, OCHOA N, AYÓN P, GOYA E, GUTIÉRREZ D, QUIPÚZCOA L, WOLFF M. 2008. Trophic modeling of the Northern Humboldt Current Ecosystem, Part II: Elucidating ecosystem dynamics from 1995 to 2004 with a focus on the impact of ENSO. Progress in Oceanogr. 79:366-378.
- TOVAR H, GUILLÉN V, NAKAMA ME. 1987. Monthly population size of three guano bird species of Perú, 1953 to 1992. p: 208-218. En D. Pauly e I. Tsukayama (Eds.). The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: Three decades of change. ICLARM Studies and Reviews 15. 351 pp. IMARPE, GTZ, ICLARM, Manila, Philippines.
- YODZIS P. 1988. The indeterminacy of ecological interactions as perceived through perturbation experiments. Ecology. 69:508-515.
- ZABEL R W, HARVEY CJ, KATZ SL, GOOD TP, LEVIN PS. 2003. Ecologically Sustainable Yield. Am. Scientist. 91:150-154.

Pescadores y aves marinas compitiendo por el mismo recurso: estrategias de forrajeo, interacciones y consecuencias

Fishers and seabirds competing for the same fish: Foraging strategies, interactions and consequences

SOPHIE BERTRAND¹ ELISA GOYA², JAIME SILVA²

Resumen

BERTRAND S, GOYA E, SILVA J. 2010. Pescadores y aves marinas compitiendo por el mismo recurso: estrategias de forrajeo, interacciones y consecuencias. *Bol Inst Mar Perú*. 25(1-2): 39-44.- Con el examen conjunto de datos de seguimiento satelital de la flota pesquera y de marcaje electrónico de aves marinas, se analizan las interacciones entre la actividad pesquera y el forrajeo de las aves en periodo de reproducción. Se evidencia que las aves pueden mitigar la competencia con la pesca hasta cierto punto, forrajeando más lejos o quedándose más tiempo en el mar. Sin embargo, las aves en reproducción enfrentan a la vez un alto requerimiento energético para alimentar los pichones, y viajes de forrajeo limitados en distancia y tiempo por la necesidad de atender el nido. Para optimizar el éxito reproductivo de las aves marinas se recomienda: (1) Estimar, con la ayuda de modelos ecotróficos, qué cantidad de anchoveta sería conveniente 'reservar' para la alimentación de las aves; (2) Establecer zonas temporalmente cerradas a la pesca, alrededor de las principales colonias en los meses de reproducción de las aves. Los rangos máximos de forrajeo observados en guanayes y piqueros sugieren un radio de 50 a 100 km alrededor de las colonias, lo cual permitiría asegurar el forrajeo de estas especies en periodo de reproducción y así favorecer la sostenibilidad de sus poblaciones.

PALABRAS CLAVE: pescadores, aves marinas, seguimiento GPS, estrategias de forrajeo, áreas cerradas.

Abstract

BERTRAND S, GOYA E, SILVA J. 2010. Fishers and seabirds competing for the same fish: Foraging strategies, interactions and consequences. *Bol Inst Mar Perú*. 25(1-2): 39-44.- Using data from Vessel Monitoring System (VMS) and seabird electronic tracking, we analyze the interactions between the fishing activity and the foraging of breeding seabirds. We show that seabirds are able to cope with the competition with the fishery to a certain extent, foraging farther or longer. Still, breeding seabirds face at the same time high energetic demands to feed the chicks and limited foraging ranges in time and space because of the need to attend the nest. To optimize seabird breeding success, we recommend: (1) to estimate with trophic models, the adequate quantity of anchovy to reserve for seabirds; (2) to establish temporary closed areas to fishing around main breeding colonies. Maximum foraging ranges observed for guanay and booby suggest a radius of 50 to 100 km for those closed areas that would secure the foraging of those species when breeding, and then favor their population sustainability.

KEYWORDS: fishers, seabirds, VMS, GPS tracking, foraging strategies, closed areas.

Introducción

Existe una competencia evidente por el recurso anchoveta entre los distintos grupos de depredadores superiores, como se ha ilustrado por el descenso global de las poblaciones de aves guaneras desde el momento en el cual se desarrolló la pesquería industrial en los años 50. Sin embargo, no era todavía claro como estos dos grupos de depredadores superiores, pescadores y aves, se comportan e interactúan cuando forrajean sobre las mismas concentraciones de anchoveta. Con el propósito de aclarar esta pregunta, se examinan conjuntamente datos de seguimiento por GPS de aves guaneras y datos pesqueros de desembarques y de seguimiento satelital de los barcos.

Métodos

Se desarrollaron dos actividades de campo específicas para el marcaje de aves, concomitantes con temporadas de pesca:

- (a) del 17 al 26 de noviembre 2007 en isla Guañape frente a Puerto Morin, y
- (b) del 23 de noviembre al 8 de diciembre 2008 en islas Pescadores, frente a Ancón.

Trabajando con piqueros y guanayes reproductores, se colocaron GPS miniaturizados documentando así 273 trayectorias de las aves con muy alta resolución

1 IRD, Francia

2 Unidad de Investigaciones en Depredadores Superiores. IMARPE.

(1 posición por segundo). Cada ave fue equipada con un GPS y monitoreada durante 1 ó 2 días de forrajeo. Todas las aves escogidas tenían pichones cuya edad variaba entre 1 y 4 semanas. La muestra en este respecto fue aleatoria, sin tendencia particular en la edad de los pichones en el transcurso del periodo de trabajo (Fig. 1).

Al mismo tiempo, la actividad de las embarcaciones pesqueras se monitorea en la misma zona y periodo en términos de:

- (1) Movimiento y distribución de calas en base al Sistema de Seguimiento Satelital SISESAT; la posición de las calas a partir de los datos SISESAT se estima gracias a una red neuronal que se alimenta de información de observadores a bordo (BERTRAND et al. 2008a, JOO et al. *in review*);

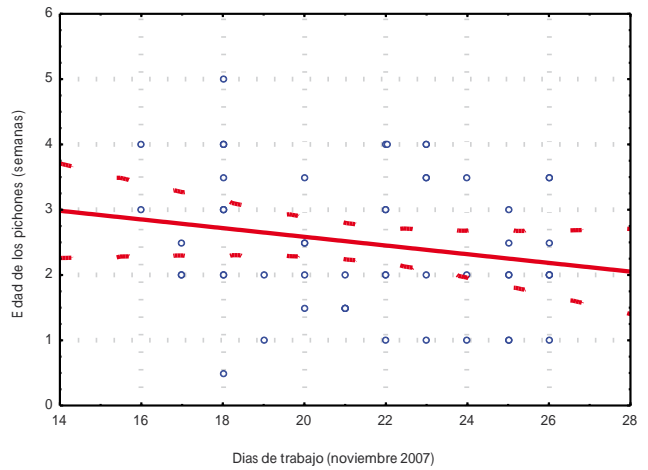


Figura 1.- Edad de los pichones (en semanas) de las aves equipadas con GPS en 2007. No hay tendencia significativa en la edad de los pichones de las aves equipadas con GPS ($R^2=0,0380$, $p=0,1460$)

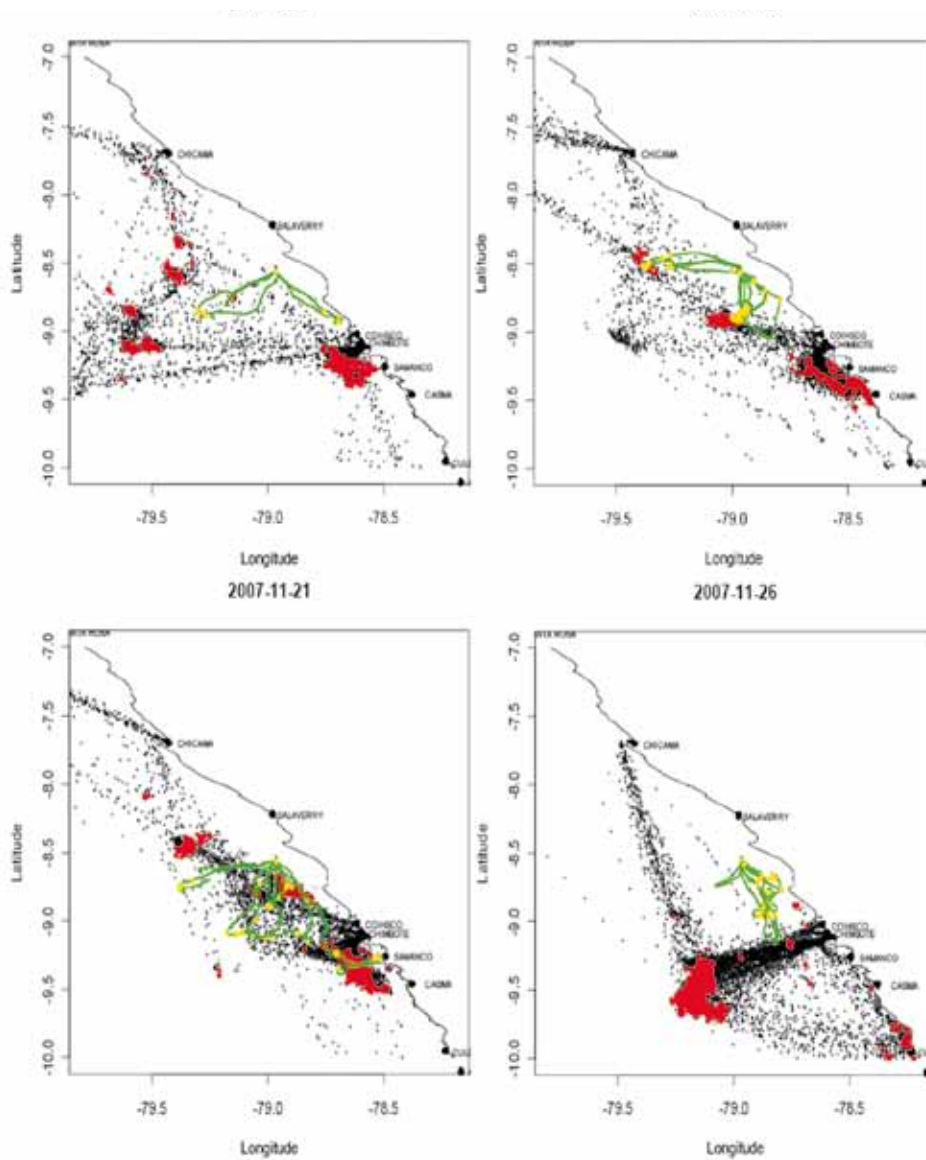


Figura 2.- Superposición de los tracks de piqueros (verde), y del seguimiento de los barcos por satélite (recorrido completo en negro y calas estimadas por red neuronal en rojo), para 4 días tomados como ejemplos en 2007.

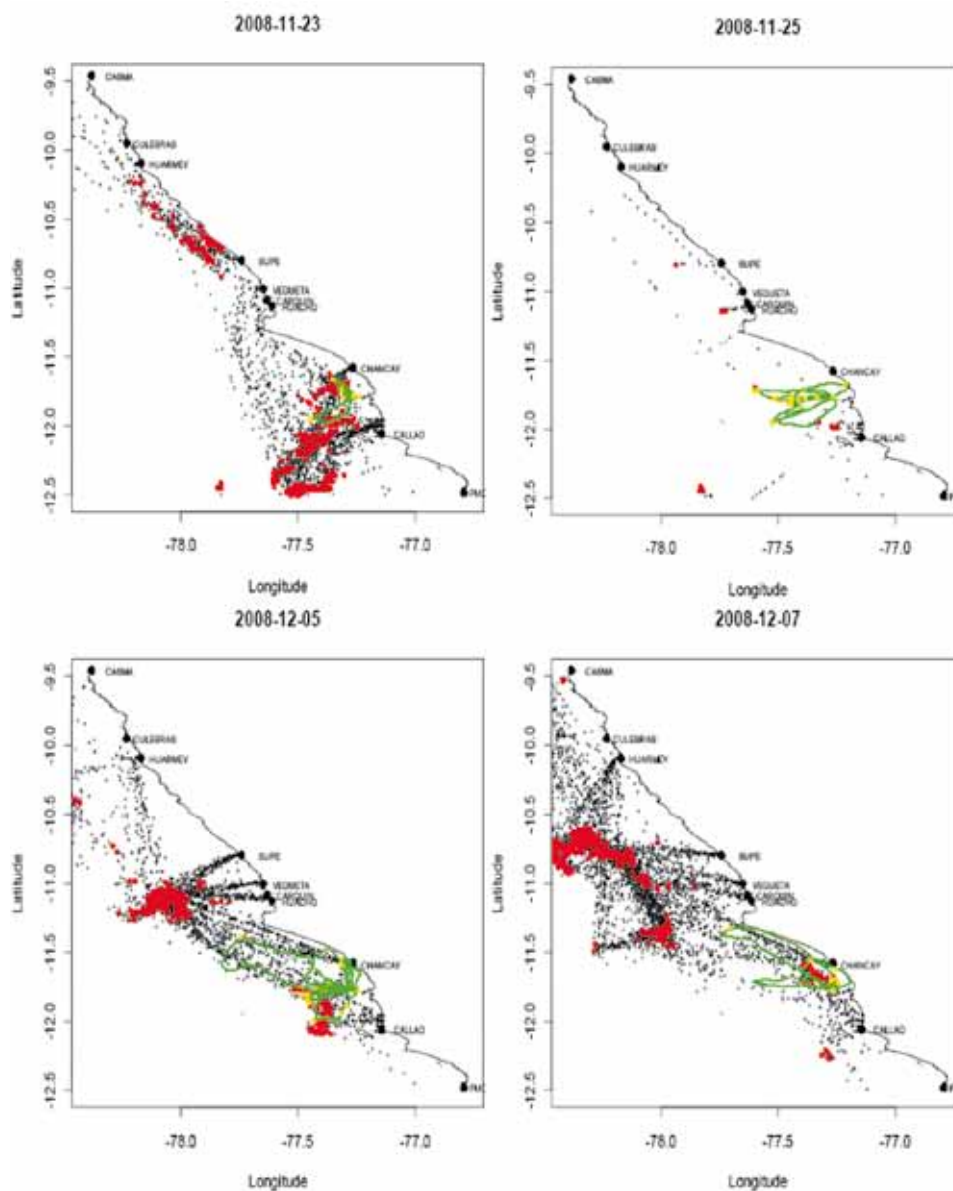


Figura 3.- Superposición de los tracks de piqueros (verde), y del seguimiento de los barcos por satélite (recorrido completo en negro y calas estimadas por red neuronal en rojo) para 4 días tomados como ejemplos en 2008.

- (2) Desembarques totales para la zona que permiten, cruzados con índices de esfuerzo calculados en base a los datos SISESAT, estimar CPUE globales para la zona; específicamente se estimó la captura global de la zona por horas de viaje, por kilómetro recorrido, y por cala. Para estimar el esfuerzo y la CPUE se delimitó para ambos años una zona alrededor de la isla donde se realizaron los marcajes de aves. Para fines de comparación, se escogieron zonas de superficie iguales en ambos años (180 mn en latitud*120 mn en longitud, 74.086 km²). Ejemplos de los datos colectados se presentan en tres figuras: Fig. 2 (piqueros 2007), Fig. 3 (piqueros 2008) y Fig. 4 (guanayes 2008).

Resultados

Año 2007

La temporada de pesca se desarrolló del 17 al 27 de noviembre (y luego del 6 al 15 de diciembre, pero este periodo cayó fuera de los días de marcaje). En la zona de estudio (puertos Chicama, Salaverry, Coishco – Chimbote, Samanco y Casma) y periodo de marcaje (17-26 de noviembre) se realizaron 4.425 viajes de pesca, 9.097 calas, con una extracción de 574.864 t de anchoveta (para la zona en toda la temporada noviembre-diciembre el tonelaje total fue de 1.115.424 t). En términos de esfuerzo pesquero, a lo largo del periodo de estudio, se pudo constatar un

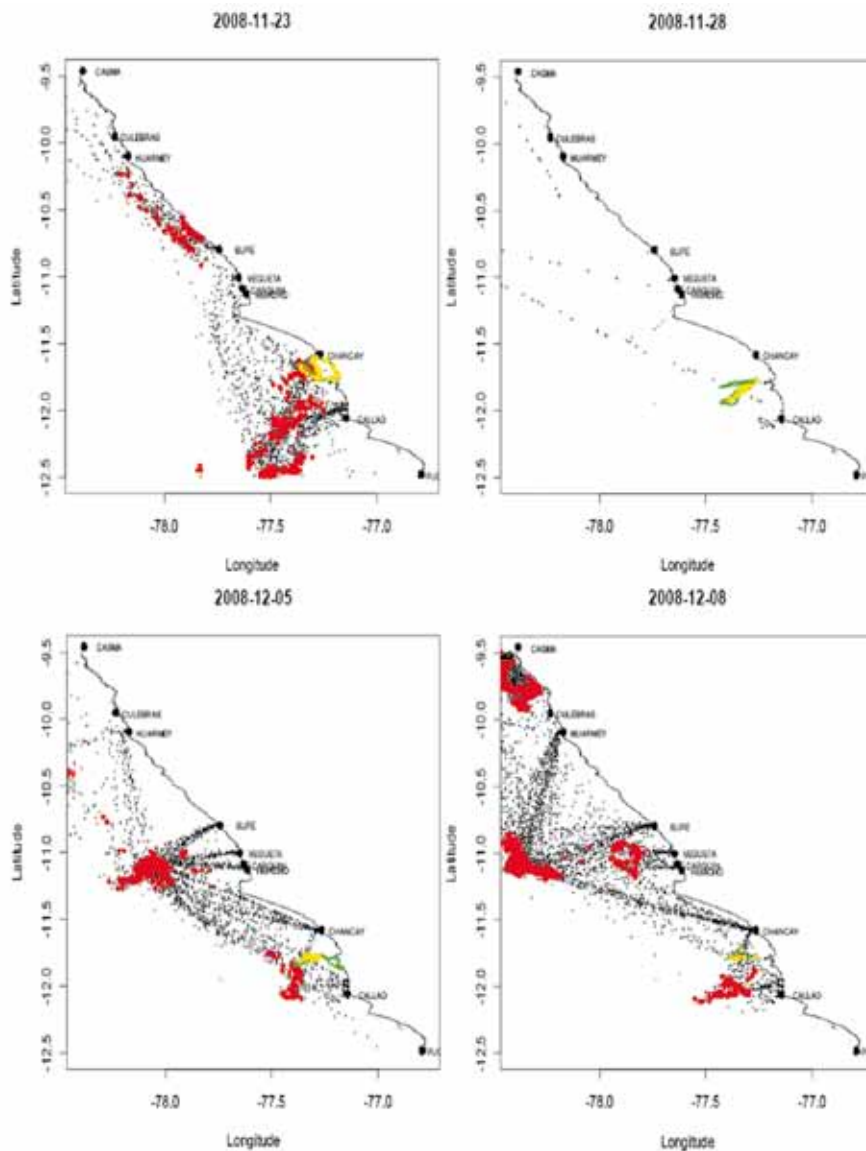


Figura 4.- Superposición de los tracks de guanayes (verde), y del seguimiento de los barcos por satélite (recorrido completo en negro y calas estimadas por red neuronal en rojo, para 4 días tomados como ejemplos en 2008.

aumento significativo de la distancia recorrida por viaje ($p=0,014$, $F=9,34$, $df=9$), de la distancia máxima a puerto por viaje ($p=0,0040$, $F=14,76$, $df=9$), y de la duración de los viajes ($p=0,0327$, $F=6,36$, $df=9$), mientras que el número de calas por viaje quedó estable ($p=0,722$, $F=0,1348$, $df=9$, Fig. 4). En términos de CPUE global, ninguna tendencia significativa se destacó en el transcurso del periodo ($p>0,05$). Se pueden considerar estables. Entonces, el aumento del esfuerzo para la pesquería se compensó por capturas más importantes.

En términos de esfuerzo de forrajeo, las aves también aumentaron la distancia recorrida por viaje ($p=0,043$, $F=5,504$, $df=9$) y la distancia máxima a la colonia

($p=0,015$, $F=9,036$, $df=9$) en el transcurso del periodo. El tiempo de forrajeo no mostró ninguna tendencia significativa. Por otro lado, un índice de asociación de calas y zonas de forrajeo (k de Ripley, BERTRAND et al. 2008b) de las aves mostró en un primer tiempo una asociación, y luego una disociación de las áreas de pesca de las embarcaciones pesqueras y de las aves (Fig. 5).

En conclusión, en 2007, mientras la flota iba extrayendo más anchoveta en la zona, más aumentaba su esfuerzo sin afectar su eficiencia (CPUE estable). Al mismo tiempo, las aves tuvieron que ir a forrajear más lejos de la colonia, y después de asociarse con las embarcaciones pesqueras en un primer tiempo, se desplazaron a zonas diferentes a las de la pesquería.

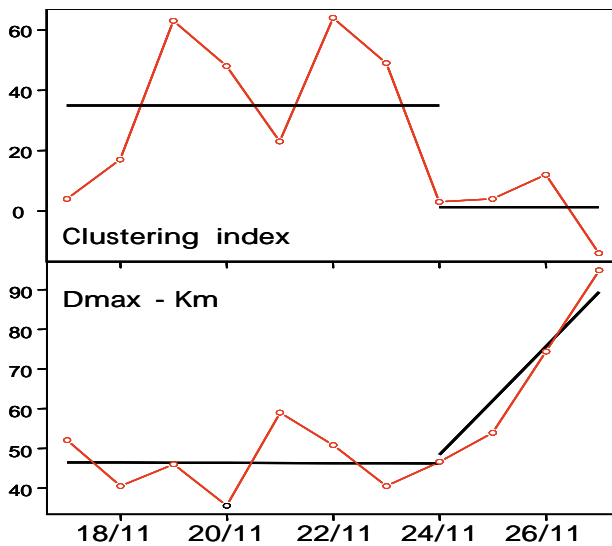


Figura 5.- Evolución de la distancia máxima a la colonia (Dmax) de las aves y de la asociación espacial entre zonas de forrajeo de las aves y de las calas de la flota pesquera (Clustering index). Año 2007.

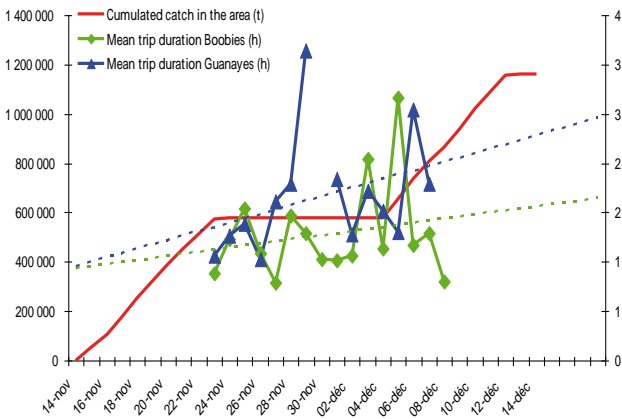


Figura 7.- Evolución de los tiempos de forrajeo por viaje de los piqueros y guanayes marcados con GPS en el 2008.

Año 2008

La temporada de pesca se desarrolló del 15 al 23 de noviembre y luego del 6 a 15 de diciembre. Para este año, se consideraron los dos periodos, ya que las actividades de marcaje de aves se desarrollaron del 23 de noviembre al 8 de diciembre. En este periodo y esta zona (puertos de Huarney, Supe, Végueta, Huacho, Chancay y Callao), se realizaron 4.821 viajes y 14.684 calas, con una extracción de 798.049 t de anchoveta. En términos de esfuerzo pesquero, a lo largo del periodo de estudio, no se observó alguna tendencia significativa de duración de viaje, de distancia recorrida o de número de calas ($p > 0,05$). En términos de CPUE, si bien las tendencias no fueron estadísticamente significativas, se notó una leve disminución, específicamente en términos de toneladas capturadas por horas de viaje (Fig. 6).

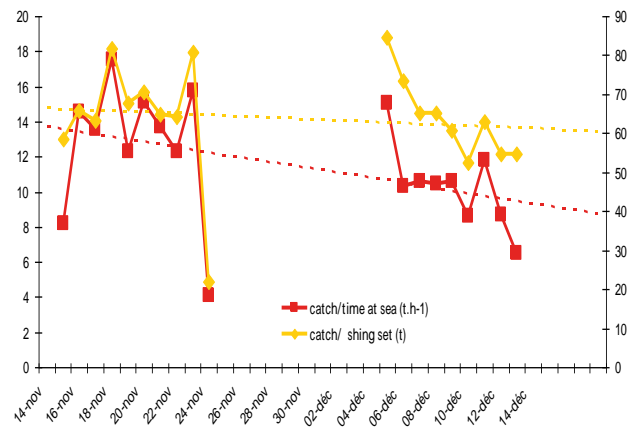


Figura 6.- Evolución de dos índices de CPUE de la flota pesquera en la zona y periodo de estudio de 2008; toneladas capturadas por horas de viaje (rojo) y toneladas capturadas por calas (naranja)

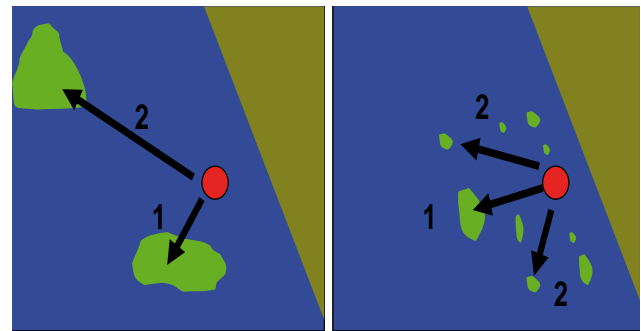


Figura 8.- Ilustración esquemática de los patrones de distribución de anchoveta en 2007 (panel izquierdo) y 2008 (panel derecho). En 2007, la anchoveta se encontraba espacialmente concentrada en grandes y distantes agregaciones. En 2008, la anchoveta presentaba una distribución espacial más 'diluida', en agregaciones más pequeñas, probablemente requiriendo más tiempo para ser ubicadas

En términos de esfuerzo de forrajeo de las aves, las distancias totales recorridas por viaje así como la distancia máxima a la colonia, quedaron estadísticamente estables en el transcurso del periodo de estudio. En términos de tiempo de forrajeo por viaje, si bien la tendencia no resulta estadísticamente significativa, se nota un incremento, especialmente para los guanayes (Fig. 7).

En conclusión, en el 2008, a medida que la temporada de pesca se desarrolló, la pesquería no se desplazó a zonas más alejadas o intensificó significativamente su esfuerzo, pero se notó un leve decrecimiento de su CPUE. Al mismo tiempo, las aves, sin forrajear más lejos de la colonia, tendieron a incrementar su tiempo de forrajeo muy probablemente porque tuvieron que buscar más tiempo agregaciones de peces 'explotables' y/o bucear más para mantener el nivel de abastecimiento de alimento a sus pichones.

Discusión y conclusiones

Tanto en el 2007 como en el 2008, las aves tendieron a aumentar su esfuerzo de forrajeo a medida que la temporada de pesca avanzaba. En teoría, dos razones pueden explicar tal tendencia. La primera podría ser un requerimiento energético mayor por parte de los pichones a medida que crecen. Sin embargo, la muestra de pichones con que se trabajó estaba compuesta por pichones de diversas edades (Fig. 1), no se observó una tendencia particular en la edad de los pichones. La segunda razón es una mayor dificultad para conseguir una cantidad comparable de presas. A las escalas de tiempo estimadas (~20 días), y considerando las capacidades extractivas de la flota pesquera, es muy probable que la pesca sea el factor principal de disponibilidad de presas para las aves en las zonas de forrajeo.

Analizando simultáneamente las trayectorias de forrajeo así colectadas en conjunto, con el comportamiento de la flota pesquera, se puede concluir que:

1. Existen evidencias que la actividad pesquera (por la extracción de biomasa de anchoveta en las cercanías de las colonias reproductivas de aves marinas) influye sobre el comportamiento de forrajeo de las aves guaneras ya que, a medida que la temporada de pesca avanza, y a requerimientos energéticos de los pichones comparables, las aves tienden a modificar su estrategia de forrajeo.
2. Las aves guaneras pueden, hasta un cierto límite, mitigar los efectos de la competencia con la pesquería, forrajeando más lejos de la colonia (ejemplo del 2007), o más tiempo a distancia igual de la colonia (ejemplo del 2008); se sospecha que la elección entre estas dos adaptaciones de comportamiento depende del patrón de distribución de la anchoveta (Fig. 8).
3. El abandono del nido constituye probablemente la última respuesta de las aves a una competencia muy intensa con la pesca; se han observado abandonos, pero este proceso debe ser cuantificado y analizado en el futuro.

Recomendaciones

A la luz de estos resultados, y en base a los principios de enfoque ecosistémico de las pesquerías y enfoque precautorio, se recomienda:

1. Estimar, con la ayuda de modelos ecotróficos, qué cantidad de anchoveta sería conveniente 'reservar' para la alimentación de las aves.
2. Establecer zonas de cierre temporal de pesca alrededor de las principales colonias en los meses de reproducción con la finalidad de reducir la interferencia con el forrajeo de estas especies en periodo de reproducción y así favorecer la sostenibilidad de sus poblaciones, teniendo en cuenta que los rangos máximos de forrajeo observados en guanayes y piqueros llegan a un radio de 50 a 100 km alrededor de las colonias.

Agradecimientos.- Se agradece a MARILÚ BOUCHON por haber facilitado la información de desembarques diarios por puertos que se usaron en los cálculos de CPUE.

Referencias

- BERTRAND S, DÍAZ E, LENGAINNE M. 2008a. Patterns in the spatial distribution of Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) revealed by spatially explicit fishing data. *Progress in Oceanography* 79: 379-389.
- BERTRAND S, CHAIGNEAU A, JOO R, MARQUEZ J-C, WEIMERSKIRCH H. 2008b. Fishers and marine birds competing for the same fish: foraging strategies and interactions. Oral presentation at International symposium on Eastern boundary upwelling ecosystems, integrative and comparative approaches. 2-6 June 2008, Las Palmas, Gran Canaria, Spain.
- JOO R, BERTRAND S, CHAIGNEAU A, ÑIQUEN M. (accepted). Ecological Modelling. Optimization of an artificial neural network for identification of fishing event positions from VMS data.

Tradeoff analysis for anchoveta management in Peru

CHRISTOPHER COSTELLO ANDREW RASSWEILER STEVEN GAINES

Introduction

Peruvian anchoveta fishery is the world's most productive fishery. Yet anchoveta comprise the food base for an immense ecosystem, so there is a clear tradeoff between fisheries profit (from extraction) and the productivity of higher trophic levels which rely on anchoveta for prey. We develop and implement a method to make this tradeoff explicit. Specifically, we develop a bioeconomic model, based on stock assessment data from Peru that helps managers explore alternative management options under different environmental scenarios.

The main features of this model are:

- Dynamic Model, with the ability to simulate and/or optimize over time
- Two spawning seasons per year, possibly with different recruitment success at different times of year
- Growth of individual anchoveta
- Stochastic environmental fluctuations that can affect (1) recruitment, (2) mortality, and (3) growth

Modeling overview

There are four distinct components of the bioeconomic model: a biological model, an economic model, a management function and an objective function. The purpose and current status of each component are summarized here, with details on each given in separate sections below.

The biological model represents anchoveta population dynamics and is intended to follow the assumptions made by the IMARPE stock assessment team as closely as possible. Current parameter values are based on data provided by Jorge Tam, Ricardo Oliveros and Erich Diaz. It is important to note that some of the data necessary for parameterizing the model (for example the stock recruitment data) were still being developed during the week of the international panel, and the parameters will need to be revised in collaboration with IMARPE scientists.

The economic model consists of functions necessary to translate harvest into profits by calculating how the price of anchoveta and the costs of fishing depend on the amount of fish being harvested. The price function has been parameterized based on historical price and landings data and the cost function is based on historical profit margins reported by companies harvesting anchoveta. These historical relationships will need to be revised because of changes in prices and costs resulting from the new individual quota system, and we hope to update these functions in collaboration with IMARPE and Peruvian economists.

The management function determines the total allowable catch and thus the fishing effort allowed in each time period. This fishing effort can be a function of the current biomass, the age structure, and the current environmental conditions. We have implemented three commonly used management functions, which provide useful reference points for comparison with more sophisticated strategies. The goal of PESCA is to implement the management function currently used by IMARPE and compare it to these reference functions as well as to candidate functions being considered by IMARPE for future management.

The objective function calculates the value of the fishery depending on the goals of management. We currently implement a function which combines the average long term biomass and the average long term profit. Depending on the parameters used, this function can represent a goal of maximizing profit, a goal of maximizing biomass or any combination of those two objectives. We could also incorporate other factors (e.g. temporal consistency of harvest or biomass) depending on the goals of IMARPE's management strategy.

Biological model

Let the population of adult anchoveta (aged 12 months and older) at the start of each six-month time step t be given by N_t . The biomass of these adults is B_t , whereas the biomass of juveniles (fish aged 6-12 months) is J_t . During each 6-month period, some

fraction F_t of the biomass is harvested so that the total biomass harvested in period t is given by:

$$H_t = F_t(J_t + B_t); \tag{1}$$

Juvenile fish become adults, and a fraction m of both juveniles and adults are lost to natural mortality, so that the new total number of adults is given by:

$$N_{t+1} = (1 - F_t)(1 - m)(N_t + J_t/w_r); \tag{2}$$

Where w_r is the average weight of a juvenile anchoveta, so that J_t/w_r is the number of juvenile anchoveta at the start of period t . The natural mortality rate m can also be structured to vary as a function of the environment. Fish are assumed to grow according to the Ford growth model, which matches the observed size at age data very closely and allows us to calculate adult biomass at time $t + 1$ as a function of the total biomass and numbers surviving the period:

$$B_{t+1} = \alpha(1 - F_t)(1 - m)(N_t + J_t/w_r) + \rho(1 - F_t)(1 - m)(B_t + J_t); \tag{3}$$

Where the α and ρ are the parameters of the Ford growth model. As with natural mortality rates, these parameters can be fixed, or can vary as a function of environmental conditions. Note that as long as mortality rates (fishing and natural) do not vary across age classes, this method of lumping adult fish and tracking only adult numbers and biomass will yield identical results to a model tracking each age class separately. We follow IMARPE's assumption that anchoveta stock and recruitment are related by a Ricker function, and Jorge Csirke's modification of the Ricker in which the relationship varies based on a concentration index Q which is related to oceanography. This means that the biomass of juveniles at the beginning of period $t + 1$ is a function of the spawning stock at the beginning of the previous period and the environmental conditions in that period:

$$J_{t+1} = w_r P_1 B_t \exp(-P_2 B_t Q_t); \tag{4}$$

Where P_1 and P_2 are the parameters of the Ricker function, and Q_t is a variable representing environmental conditions, which can be randomly drawn each time step or can be a random function of environmental conditions in previous time steps. Q values should be centered on 1, and low values represent good conditions, while high values are the opposite.

Economic Model

We assume price per tonne is a linearly declining function of the number of tonnes harvested with an intercept C_1 and a slope $-C_2$. The costs of fishing are proportional to the total effort (and thus the fraction of fish caught). θ represents this cost per unit effort. Profit for period t , π_t , equals revenues less costs:

$$\pi_t = (C_1 - C_2 * H_t)H_t - \theta F_t; \tag{5}$$

5 Management Function

The management function gives the fraction of fish allowed to be harvested in a time step F_t as a function of the state of the system at the beginning of the time step. We implement three management functions:

- Constant effort

$$F_t = g_0; \tag{6}$$

- Constant total allowable catch

$$F_t = \frac{g_1}{J_t + B_t}; \tag{7}$$

- Constant escapement

$$F_t = 1 - \frac{g_2}{J_t + B_t}; \tag{8}$$

Where in each case g_i modifies the intensity of fishing and F is constrained to be between 0 and 1.

Objective function

We allow for a multi-criterion objective function that simultaneously accommodates profit (from harvest) and conservation (standing biomass) of the species in question. We adopt a discount rate of 0, suggesting that we seek to maximize the steady state value of the objective function. The value of the system under a given management strategy is:

$$V = (1 - \beta)E(\pi) + \beta E(B)\tilde{B} \tag{9}$$

Where $E(\pi)$ is the expected average profit, $E(B)$ is the expected average biomass, β is the relative importance of biomass as a management goal, and \tilde{B} is a constant used to put biomass and profit on similar scales. When $\beta = 0$, the value depends only on profit, when $\beta = 1$, the value depends only on biomass, and intermediate numbers value both factors.

MATLAB Implementation

The main simulation code takes as input the parameters of the fishing mortality policy function, and returns as output the value of the objective function. While all code has been given to IMARPE, we copy below this main simulation code.

```
function[B,Profit,F,N,J,M] = PESCA_sim(mgt)
% PESCA - Programa para Evaluacion Scenarios Captura de Anchoveta v1.1
% Chris Costello, Andrew Rassweiler and Steve Gaines 8/14/2009
%
% PESCA_sim: this file simulates the biology and economics, for the period
% of yeas T and across the number of replicate simulations implied by the
% size of the Q matrix

global model

PESCA_params;

J=Jstart*ones(size(Q,2));
N=Nstart*ones(size(Q,2));
B=Bstart*ones(size(Q,2));
season = season_start;

for t=1:T

    if model == 1 %constant fishing
        F(t,:) = min(1,max(0,mgt));
    elseif model == 2 % constant escapement
        F(t,:) = min(1, max(0,1-(mgt*10^6)./(J(t,:)+B(t,:))));
    elseif model == 3 % constant TAC
        F(t,:) = min(1,(max(0, (mgt*10^6)./(J(t,:)+B(t,:))));
    elseif model == 4 % simple adaptive style
        F(t,:) = min(1,(max(0, mgt(1) + (mgt(2)/10^6)*J(t,:) + (mgt(3)*10^6)./(J(t,:)+B(t,:))));
    end

    M(t,:) = z0 - z1*Q(t,:);

    H(t,:) = F(t,:).*(J(t,:)+B(t,:));
    Price(t,:) = c1 - c2*H(t,:);
    Profit(t,:) = (delta^t)*(Price(t,:).*H(t,:) - theta*F(t,:));

    if t<T,
        N(t+1,:) = (1-F(t,:)).*(1-M(t,:)).*(N(t,:) + J(t,:)/c3);
        B(t+1,:) = alpha_g*(1-F(t,:)).*(1-M(t,:)).*(N(t,:) + J(t,:)/c3) + rho*(1-F(t,:)).*
        (1-M(t,:)).*(B(t,:)+J(t,:));
        J(t+1,:) = c3*a0*(a1^season)*B(t,:).*exp(-a2*B(t,:).* exp(1-Q(t,:)));
    end
    if season==1, season=0; else, season=1;end
end
```

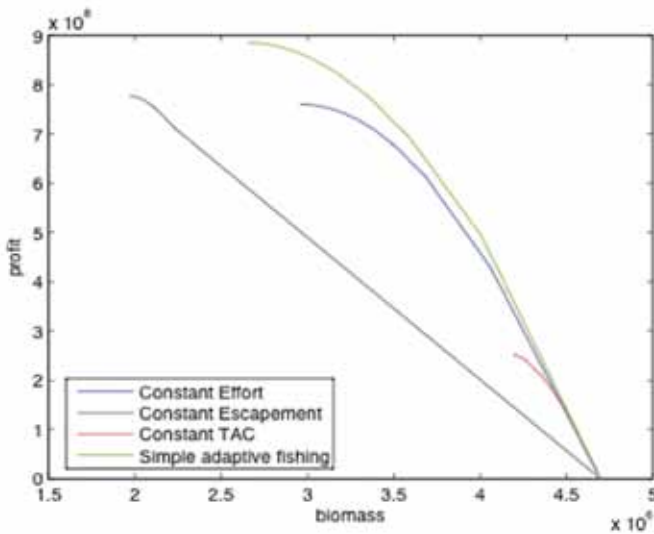



Figure 1.- Tradeoff between standing stock biomass (horizontal axis) and profit (vertical axis) for several different harvest policies.

Results

Because the model and parameterization are still in progress, these results are very preliminary. However, we believe they are illustrative of the kinds of results we would expect to obtain for the final version (for the follow-up meeting in March-April). The main results can be depicted on a single graph (Fig. 1). The graph illustrates the tradeoff between biomass and fisheries profit for a range of policy functions. There are four key insights from this graph:

Result 1. *Maximum profits are similar among (1) Constant Effort, (2) Constant Escapement, and (3) Adaptive fishing policies, provided that their parameters are optimized for the given objective. Maximum profit is somewhat smaller for a constant harvest policy, because with high environmental variability, the population crashes under a fixed harvest policy.*

Result 2. *Maximum biomass is the same under any fishing policy, because it entails no fishing at all (so the populations simply achieves carrying capacity).*

Result 3. *Substantial increases in biomass can be achieved at little or no cost to profit. This is achieved by switching from a policy that maximizes yields to a policy that explicitly considers biomass as part of the objective function. Importantly, it also entails switching to an adaptive policy.*

Result 4. *After rejecting constant harvest as a policy, the policies can be ordered (from worst to best): (1) Constant Escapement, (2) Constant Effort, (3) Adaptive. This ranking holds regardless of the weighting on biomass versus profit.*

Discussion

This short write-up contains a simple description of a bioeconomic model being developed between scientists and economists from the University of California and IMARPE. The model is in progress, and is still begin parameterized to closely match the stock assessment data generated by IMARPE. Despite its preliminary nature, several insights are possible. The most salient result thus far is that the form of the policy function (e.g. whether it targets a constant escapement, adapts to environmental conditions, etc.) plays an important role in the final outcome. Substantial gains in profit and/or biomass can be obtained, at little or no cost to the other objective, if this policy function is optimized. But to observe (and capitalize on) these gains requires simultaneously considering the profit of the fishery and the biomass left for higher trophic levels.

The model is currently focused on management strategies which respond to the current state of the population and environment. But the model is also potentially useful for evaluating management strategies which make use of climate forecasts such as those Francisco Chavez and the climate group has been working on. We can determine how management can best make use of these forecasts and can provide feedback to guide the climate prediction group. For example, we can evaluate the value of forecasts with different time horizons (e.g. 6 month vs. 12 month forecasts) to determine how far ahead it is necessary to predict.

Our intention is to continue to refine this model over the coming months, and to have a "final" version in IMARPE's hands by the follow-up meeting (in 6 months). That will include a revised writeup and a MATLAB implementation of the bioeconomic tradeoff analysis tool. Our hope is that this tool is useful to IMARPE to explore the biological and economic consequences of alternative management strategies.

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

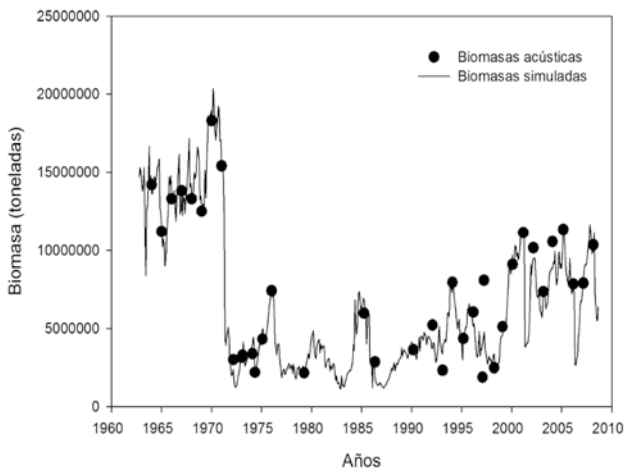


Figura 1.- Comparación entre las biomases mensuales simuladas (línea) y las estimaciones acústicas de biomasa (círculos sólidos) entre 1962-2008.

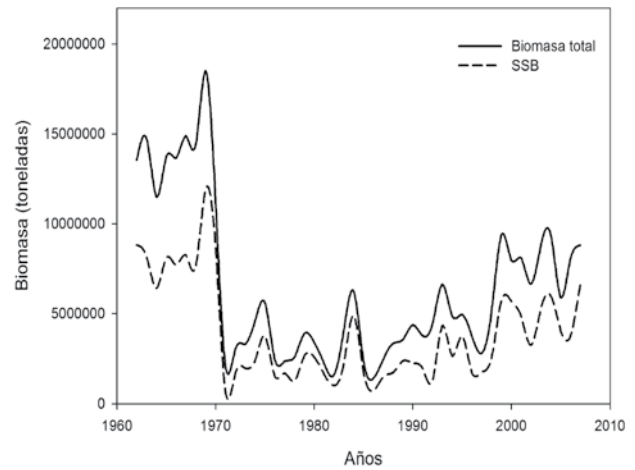


Figura 2.- Biomasa total (línea sólida) y biomasa desovante promedio anual (línea cortada), calculadas para el año biológico (Oct-Set) entre 1962-2008.

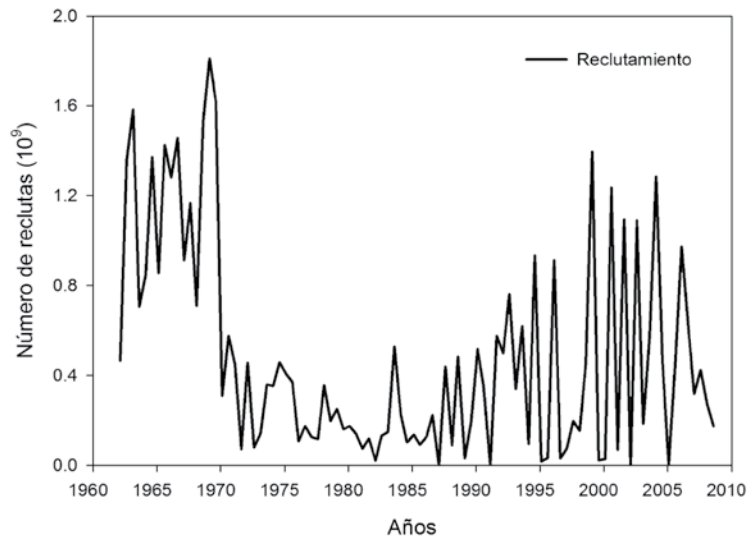


Figura 3.- Abundancia de los reclutas entre 1962 y 2008. Se muestran el número de individuos de cada reclutamiento, dos veces por año, en febrero y agosto.

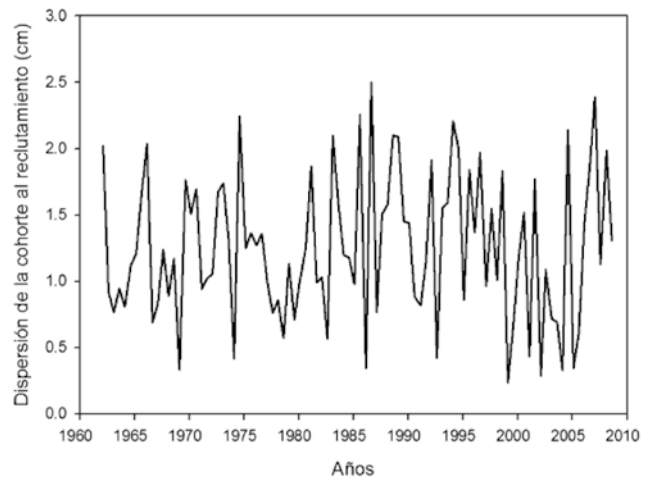
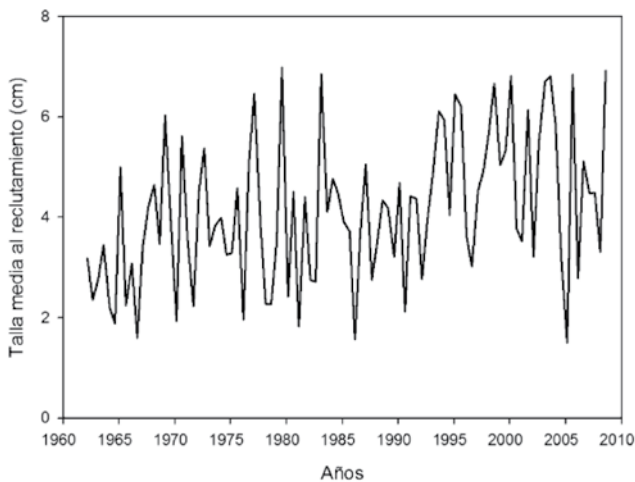


Figura 4.- Longitud y dispersión de las cohortes al reclutamiento entre 1962 y 2008. Se muestra la longitud media de la cohorte (izquierda) y la dispersión de la cohorte (derecha) al reclutamiento. Se asume que los reclutamientos ocurren dos veces al año, en febrero y agosto.

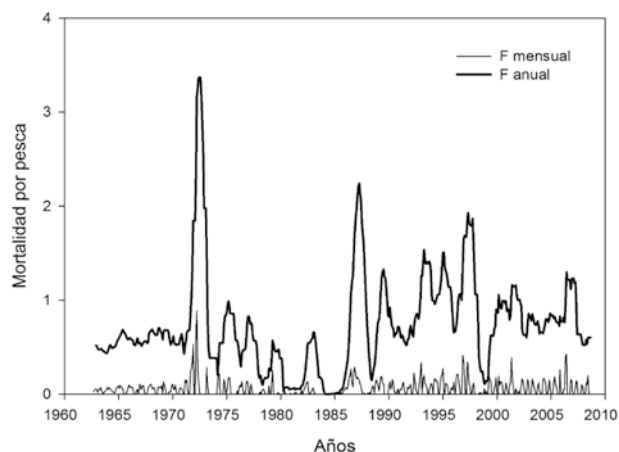


Figura 5.- Mortalidades por pesca (F) mensuales (línea delgada) y anuales (línea gruesa) entre 1962 y 2008. Las mortalidades anuales se calcularon cada mes sumando las últimas 12 mortalidades mensuales.

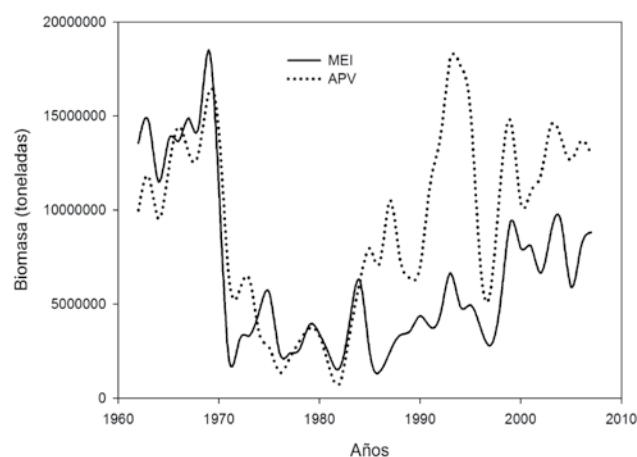


Figura 6.- Biomasa media del stock norte-centro estimada por el modelo de evaluación integrada (línea sólida) y por un análisis de población virtual (línea punteada).

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.

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 DÍAZ¹, CHRISTIAN GARCÍA¹, DANTE ESPINOZA¹,
RENATO GUEVARA-CARRASCO², JORGE CSIRKE³,
MIGUEL ÑIQUEÑ¹, NATHALY VARGAS⁴, JUAN ARGÜELLES⁴

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 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:

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

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:

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

donde γ_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 ± 4 millones. Entre 1962-1963 y 1970-

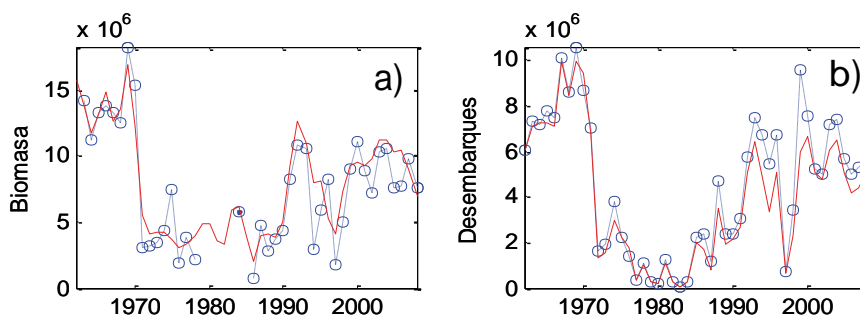


Figura 1.- Ajuste de las estimaciones del modelo a los datos observados: a) biomasa media modelada (línea continua) y biomasa acústica (círculos), b) desembarque modelado (línea continua) y desembarques observados (círculos).

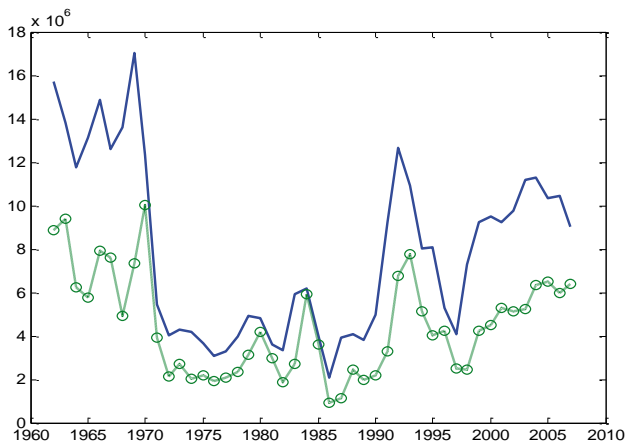


Figura 2.- Biomasa media (línea continua) y biomasa desovante media (círculos) anual (millones t) desde el año biológico 1962-1963 hasta el 2007/2008.

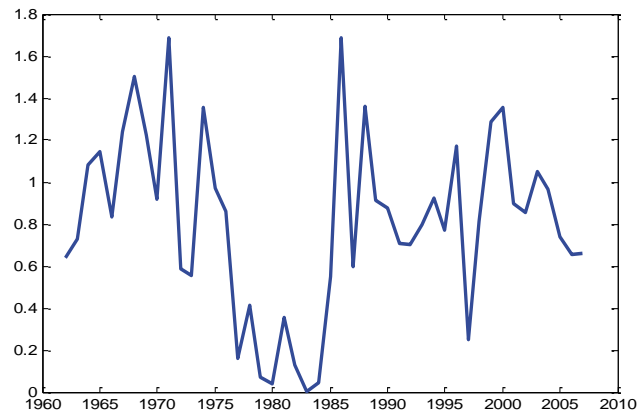


Figura 4.- Mortalidad por pesca anual desde el año biológico 1962-1963 hasta el 2007-2008.

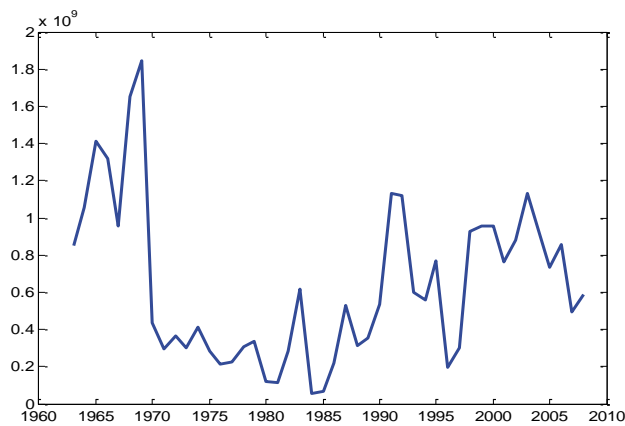


Figura 3.- Reclutamiento medio anual ($\times 10^9$ individuos) desde el año biológico 1962-1963 hasta el 2007-2008.

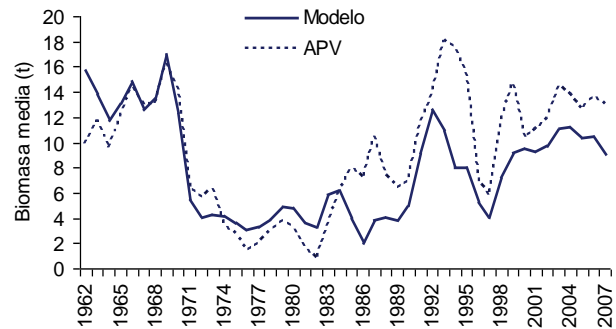


Figura 5.- Biomasa media del stock norte – centro estimada por un modelo estadístico estructurado por edades (línea continua) y un análisis de población virtual convencional (línea punteada) (R. GUEVARA-CARRASCO, comunicación personal).

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
- 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.

Comparación de los impactos ambientales y aspectos socioeconómicos de las cadenas de producción de anchoveta

Comparison of environmental impacts and socio-economical aspects of the Peruvian anchovy supply chains

PIERRE FRÉON¹ MARILÚ BOUCHON² CARLOTA ESTRELLA²

Con la participación de:

MARÍA BERNUY³, YURI LANDA⁴, M. SYLVESTRE VOISIN⁵

Resumen

FRÉON P, BOUCHON M, ESTRELLA C. 2010.- *Comparación de los impactos ambientales y aspectos socio-económicos de las cadenas de producción de anchoveta*. *Bol Inst Mar Perú* 25(1-2): 63-71.- Se presentan los primeros resultados del programa de investigación comparativo sobre las tres flotas pesqueras dedicadas a la extracción de anchoveta en el mar peruano (industrial de acero, industrial de madera y artesanal), así como sus cadenas de suministro hasta el abastecimiento del consumidor. El presente trabajo tiene por objetivo estudiar la sostenibilidad de las actividades involucradas en el suministro de proteínas, considerándose los impactos ambientales y los aspectos socio-económicos. Se realizó un esquema simple de un ecosistema pelágico de afloramiento y de los principales flujos de materia y energía, producto de la explotación humana. El esquema representa la situación peruana y muestra el alto nivel de antropización del sistema, debido al uso de energías fósiles, así como a la explotación y transformación tecnológica de recursos naturales terrestres (minerales, madera, etc.). Por otro lado, se muestra que la explotación del ecosistema marino peruano tiene repercusiones sobre el resto del planeta, debido a la exportación de harina y aceite de pescado destinados principalmente a actividades acuícolas. La flota anchovetera peruana se caracteriza por un amplio rango de tamaño de embarcaciones (de 2 a 600 t de capacidad de bodega); las de tamaño intermedio (30-100 t) son las más numerosas, pero las más grandes (>300 t) son las que acumulan el mayor poder de pesca. Los análisis sobre precios y distribución de la renta entre tripulantes y armadores muestran que, a pesar de que la mayor pesca de anchoveta es realizada por la flota industrial de acero, dedicada a la producción de harina y aceite de pescado y que tiene mayor eficiencia de captura por tripulante, la contribución de la pesca industrial de madera es significativa, pues genera mayor empleo por tonelada capturada y, posiblemente, no ocasiona mayor uso de energía. La pesca artesanal de anchoveta es la menos eficiente energéticamente y por tripulante, pero genera mucho más empleo por tonelada capturada; esta pesca representa menos del 3% de la producción total, del cual sólo una fracción va al consumo humano directo (CHD). Desde el año 2000, los precios de harina y aceite de pescado en los mercados internacionales se han incrementado, debido al aumento de la demanda asiática y al precio del combustible. Se debe estudiar en qué medida este aumento desfavorece el consumo interno de estos productos, así como el uso de anchoveta para CHD. Este análisis deberá ser validado y complementado con información de impacto ambiental; y podrían contribuir a la toma de decisión participativa, para un balance óptimo entre los tres segmentos de la flota y las cadenas de producción asociadas.

PALABRAS CLAVE: anchoveta, Perú, socio-economía, impacto ambiental, sostenibilidad.

Abstract

FRÉON P, BOUCHON M, ESTRELLA C. 2010.- *Comparison of environmental impacts and socio-economical aspects of the Peruvian anchovy supply chains*. *Bol Inst Mar Perú* 25(1-2): 63-71.- Here we present preliminary results of a research program aimed at comparing three commercial fleets (industrial with steel hull, semi-industrial with wood hull and small-scale) targeting anchoveta in Peruvian waters, as well as their supply chains up to consumers. The objective is to study the sustainability of activities related to protein supply, taking into account environmental impacts and socio-economical aspects. A simple scheme of a pelagic upwelling ecosystem and its main fluxes of energy and material resulting from human exploitation are presented. The scheme is representative of the Peruvian case and show high level of anthropization of the system due to the use of fossil energies and to technological transformation of natural resources (minerals, wood, etc.). Furthermore we show how the exploitation of the Peruvian marine ecosystem has a global impact due to exportation of fishmeal and fish oil

1 IRD, Francia;

2 IMARPE, Perú;

3 ANEPAP, Perú;

4 Universidad de Lima, Perú;

5 Conseil en Développement, Francia

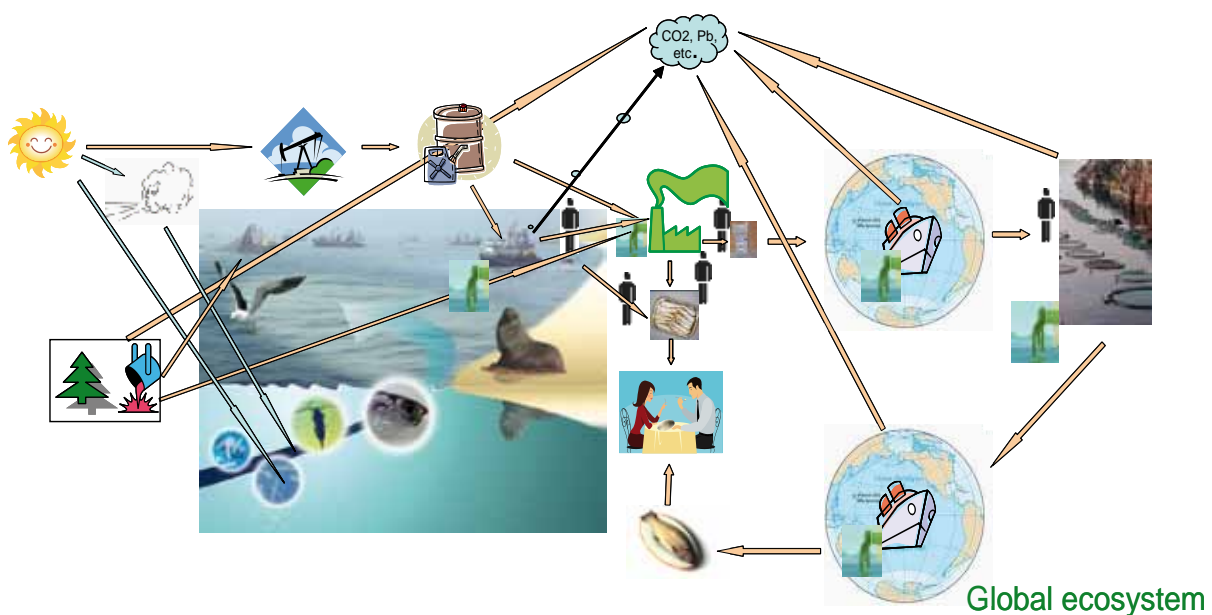
used mainly for aquaculture. The Peruvian fishing fleet is characterized by an extended range of boat sizes (from 2 to 600 t of holding capacity); boats of intermediate size (30-100 t) are the most numerous, but large boats (>300 t) accumulate the highest fishing capacity. Analysis of prices and rent distribution between crew members and ship owners show that, despite the fact that most of the anchoveta production is landed by the industrial fleet with steel hull, which supply the fishmeal and fish oil market and present the highest efficiency by crew member, the contribution of the semi-industrial fleet with wood hull is significant, generates more employment by ton landed and possibly does not result in major use of energy. In contrast, the small-scale fishery is more energy consuming and less efficient by crewmember, but it generates much more employment. This last fishery represents less than 3% of the total production from which only a fraction is used for direct human consumption (DHC). Since the year 2000 the fishmeal and fish oil prices keep growing on international markets, due to the increase of the Asiatic demand and to the increase of fuel price. To what extent these increases in price are detrimental to the national consumption of these products and to the use of anchoveta for DHC must be investigated. This analysis must be validated and complemented by information on environmental impact and should contribute to a participative decision-making aimed at an optimal balance between the three segments of the fleet and associated supply chains.

KEYWORDS: anchoveta, Peru, socio-economics, environmental impact, sustainability

Introducción

La visión común de que el hombre forma parte del ecosistema, sea marino o terrestre, como cualquier depredador superior, era aceptable en las épocas prehistóricas, pero ya no lo es en la época industrial. Al contrario de las aves o de los lobos marinos, el pescador moderno puede cargar en su viaje de pesca mucho más presas que lo necesario para alimentarse el mismo y su familia, y tiene una autonomía exploratoria independiente de la energía acumulada durante sus últimos viajes. Esto se explica por el uso de herramientas y tecnologías basadas principalmente sobre la extracción y transformación de materias primas tales como petróleo crudo y minerales (Fig. 1).

Al contrario de lo que ocurre con la mayoría de los depredadores superiores, la energía y las materias extraídas por el depredador humano no regresan al mismo ecosistema de donde se extrajeron, sino después de un periodo de tiempo muy largo (Figs. 1, 2). Estas prácticas, asociadas con varias extracciones y el consumo masivo de energías fósiles, no son siempre compatibles con un desarrollo sostenible. Aunque no se puede regresar a niveles y modos de extracción prehistóricos dado la población actual del planeta, se puede y se debe mejorar la situación actual. El Perú, siendo uno de los primeros países pesqueros, debe buscar nuevos caminos, y lo está haciendo recién en ciertas formas que se deben respaldar y mejorar.



<p>Forcing and flows:</p> <p>—▶ natural</p> <p>—▶ antropogenic</p>	<p>Figura 1.- Esquema simplificado de un ecosistema pelágico explotado (composición fotográfica central) y de los principales flujos de materia y energía que resultan de la explotación humana.</p>
--	--

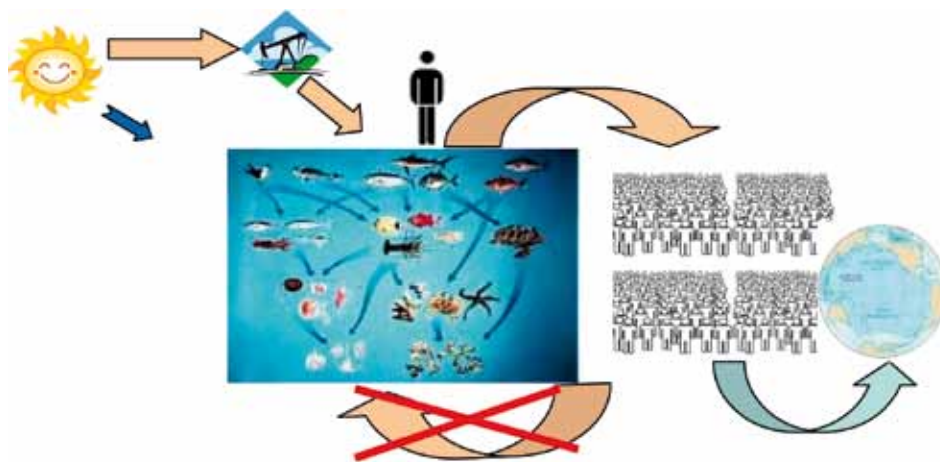


Figura 2.- Esquema simplificado de la circulación de energía y materias dentro de un ecosistema marino natural (composición fotográfica central) y de los flujos adicionales que resultan de la explotación humana.

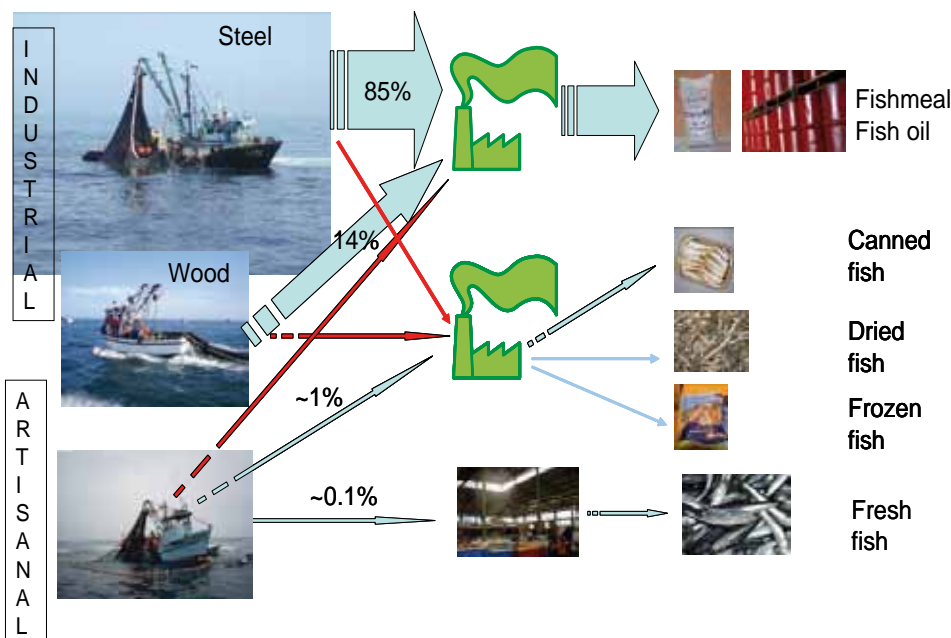


Figura 3.- Las tres flotas que extraen anchoveta en el mar peruano (flota industrial de acero, flota industrial de madera y flota artesanal) y sus cadenas de suministro respectivas. Se representaron los flujos significativos promedios durante los 3 últimos años. La cuantificación de los flujos en rojo no está disponible (Fuentes: PRODUCE para pesca industrial, IMARPE para pesca artesanal).

El IMARPE, el IRD y algunas universidades peruanas, están iniciando un programa de investigación comparativo sobre las tres flotas que se dedican a la extracción de anchoveta en el mar peruano (flota industrial de acero, flota industrial de madera y flota artesanal) y sus cadenas de suministro respectivas, hasta el abastecimiento del consumidor en proteínas animales derivada de la pesca de anchoveta (anchoveta y productos derivados, peces de acuicultura, pollos, cerdos). Este trabajo tiene por objetivo estudiar la sostenibilidad de estas actividades para el suministro de proteínas. Para ello, se van a considerar los impactos ambientales y aspectos socio-económicos. A continuación se presentan algunos resultados preliminares, sujetos a revisión.

FLOTAS Y DESEMBARQUES SEGÚN DESTINOS

En la Fig. 3 se observa en qué proporción las capturas de las tres flotas se distribuyen a varios destinos de consumo humano directo (CHD) o indirecto (CHI), mientras que en la Fig. 4 se muestran los tamaños de las embarcaciones correspondientes. La pesca industrial, posee la mayor capacidad de bodega (y tecnología) y captura (~99%) del total. En su gran mayoría el producto es transformado en harina y aceite de pescado. Dado que la temporada de pesca era muy corta hasta el año 2008 (antes de la implementación de límites máximos por embarcación) y que pocas embarcaciones industriales tienen sistema de refrigeración,

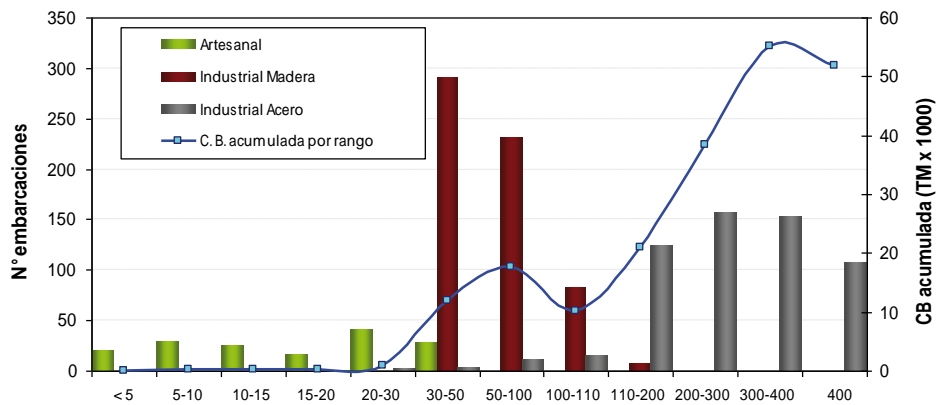


Figura 4.- Número de barcos según clases de tamaño de las embarcaciones de las tres flotas anchoveteras expresadas en toneladas métricas (t) de capacidad de bodega (barras) y capacidad de bodega acumulada por clase. Cabe notar que en la flota industrial de madera 29% y el 12% para la flota industrial de acero de los permisos enseñados en la gráfica estaban suspendidos a la fecha, (Fuente PRODUCE para la pesca industrial e IMARPE para la pesca artesanal).

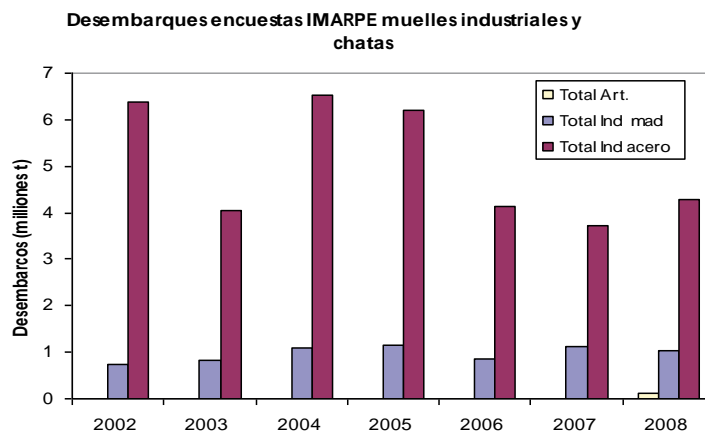


Figura 5.- Desembarques anuales de anchoveta en los muelles industriales y chatas. Se nota en 2008 (y años anteriores todavía no procesados) que una pequeña fracción del abastecimiento proviene de la pesca artesanal, pero su uso (CHD o CHI) es desconocido. (Fuente: IMARPE, cifras para uso científico).

sólo una pequeña fracción de esta pesca es destinada para el CHD. Sólo una pequeña proporción de los 920 barcos cerqueros artesanales (33 m^3) se dedica de manera significativa (más de 10 viajes por año) a la pesca de anchoveta y esa proporción es variable (de 5 a 25%) según los años, de acuerdo a la disponibilidad del recurso y posiblemente a otros factores que se deben estudiar. Los desembarques de anchoveta en muelles y puertos artesanales se estimaron de manera preliminar entre 40 000 y 50 000 t durante los dos últimos años (estimaciones IMARPE-IRD). Además, una parte significativa de las capturas artesanales de anchoveta, del orden de 100.000 t en 2008, fue des-

embarcada en muelles o chatas industriales (Fig. 5). No obstante sólo una fracción (del orden de 10%) de esta captura fue usada para consumo humano directo (CHD) dado que pocas embarcaciones tenían bodegas aisladas y separadas para recibir cajas o "dinos". El medio de conservación se limita usualmente al uso de hielo en la parte superficial de la bodega y sólo los viajes de corta duración permiten abastecer las plantas de transformación para CHD. Hasta el año 2008 por lo menos, el resto de la captura estaba destinada para consumo humano indirecto (CHI), debido a un vacío jurídico al respecto. La nueva normativa pesquera debería cambiar esta situación.

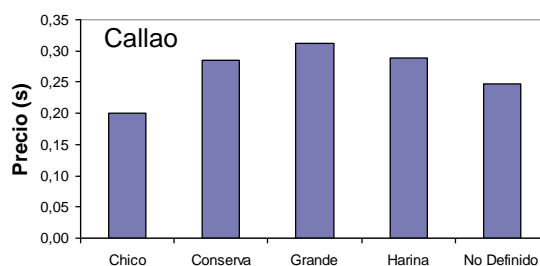
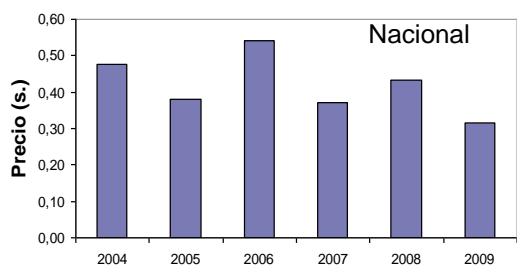


Figura 6.- Precios de compra de anchoveta a pescadores artesanales a nivel nacional entre 2004 y 2009 y en Callao por el mismo periodo y según el destino, salvo por congelación (en S/. por kg) (Fuente IMARPE).

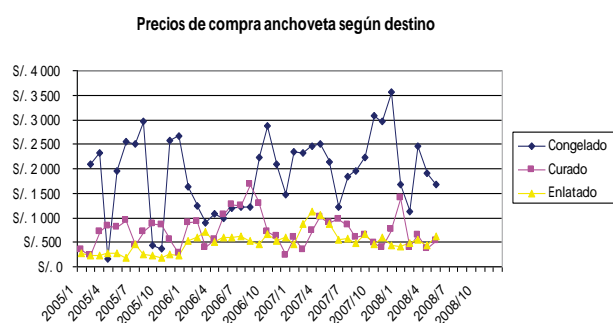


Figura 7.- Precio de compra de anchoveta para CHD según destino entre 2005 y 2008 (en S/. por tonelada) (Fuente PRODUCE; datos provisionales).

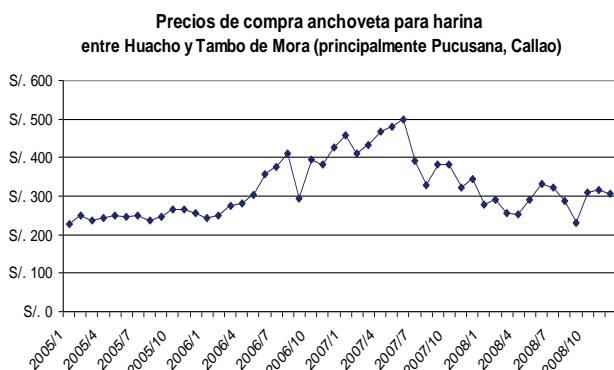


Figura 8.- Precio de compra de anchoveta para CHI entre 2005 y 2008 (en S/. por toneladas) (Fuente Produce).

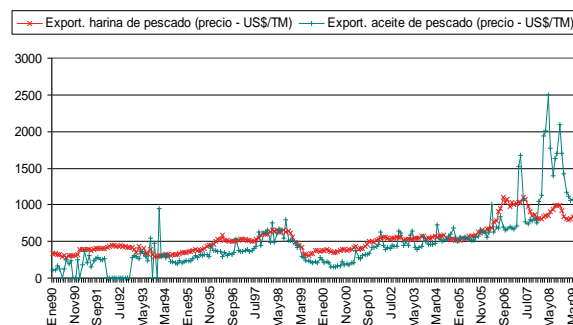


Figura 9.- Precios de venta de harina y aceite de pescado para exportaciones entre 1990 y el principio de 2009 (Fuente: Banco Central de Reserva del Perú).

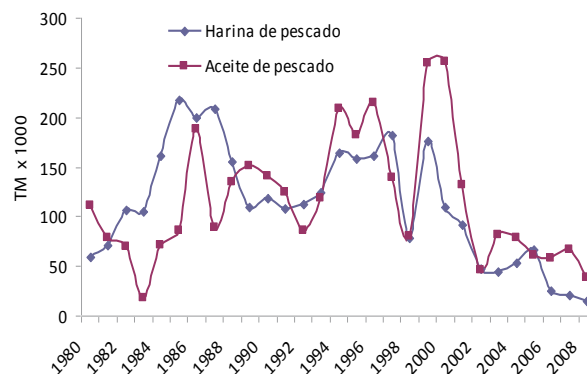


Figura 10.- Miles de toneladas métricas en el consumo interno de harina y aceite de pescado (Fuente: PRODUCE).

DINÁMICA DEL MERCADO DE ANCHOVETA Y SUB-PRODUCTOS

El IMARPE y PRODUCE recogen datos de precio de compra de anchoveta según el destino (Figs. 6, 7, 8, 9). Aunque las fuentes y la recolección de datos son distintas en término de lugar de encuesta, se puede notar: 1) que los precios pagados por CHD no difieren mucho de los precios para CHI, salvo por el pescado para congelación; 2) una alta inestabilidad de los precios a escalas intra- e inter-anales, en particular

por el pescado para congelación, cuyos orígenes se debe analizar; 3) una leve tendencia a la baja de algunas series de precios desde 2006-2007, tanto para CHD (Fig. 6) como para CDI (Fig. 8). Estas tendencias contrastan con la dinámica de los precios de venta de harina y aceite de pescado que presentan tendencias a la alza de 220% y 750% desde 1999 (Fig. 9), la cual se debe en parte al aumento de la demanda, sobre todo para abastecer la acuicultura asiática; y en parte al aumento del precio del petróleo (alza de 910%). Desde el mismo año se observa una caída importante del

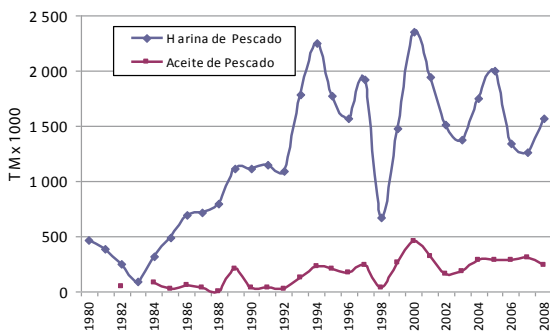


Figura 11.- Exportación de harina y aceite de pescado en tonelaje entre 1980 y 2008. (Fuente: PRODUCE).

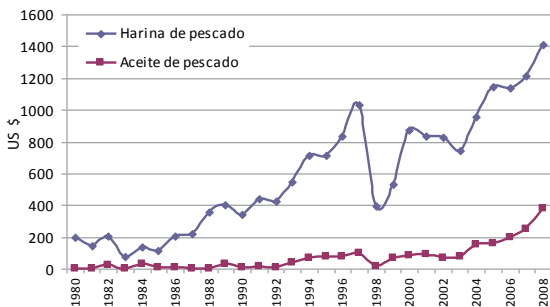


Figura 12.- Exportación de harina y aceite de pescado en valor entre 1980 y 2008 (Fuente: BCRP).

consumo interno de estos productos (Fig. 10). Se debe analizar si existe una relación causa-efecto entre estas dos tendencias opuestas.

A pesar de una relativa estabilidad de la producción de harina y aceite de pescado a partir de 1994, excepto durante los años de El Niño 1997-98 (Fig. 11), el valor de las exportaciones ha crecido mucho debido al aumento de los precios (Figs. 9 y 12).

La venta interna de anchoveta para CHD en Perú aumentó de manera significativa desde el año 2000 (Figs. 13, 14), debido a los esfuerzos de promoción de dichos productos al público y a una mayor oferta.

EFICIENCIA DE LAS FLOTAS EN TÉRMINOS ENERGÉTICOS, DE EMPLEO Y UTILIDAD

Se proyecta estudiar, en primer lugar, el impacto ambiental de las tres flotas anchoveteras usando el análisis de ciclo de vida de los medios de extracción y de su uso. Luego se estudiará el impacto de las actividades de transformación y transporte, incluyendo la producción indirecta de proteínas para el consumo



Figura 13.- Venta interna de conservas de anchoveta en el Perú de 2000 a 2008. (* Datos provisionales) (Fuente: Produce).



Figura 14.- Venta interna de productos en base a anchoveta en el Perú de 2000 a 2008. (* Datos provisionales; Fuente: Produce).

humano (ejemplos: salmón, pollo, chanco). Ello permitirá el cálculo de índices convencionales de impactos ecológicos y de salud tal como el flujo de carbono, las emisiones de gases a efectos de invernadero, la huella ecológica, etc. Mientras tanto, y dado que el daño al ambiente proviene en primer lugar del consumo de energías fósiles (HOSPIDO y TYEDMERS 2005), se hizo un primer estimado grueso del consumo de combustible por la extracción y transformación en harina y aceite de la anchoveta.

Se realizaron estimaciones provisionales del consumo de combustible por los tres segmentos de la flota a partir de la duración del viaje y del consumo promedio de los motores (principal y auxiliar(es)) según la capacidad de bodega, aunque en el caso de la pesca artesanal la muestra fue de sólo dos embarcaciones. Los resultados preliminares indican, sin sorpresa, que las embarcaciones pequeñas consumen más combustible por tonelada de anchoveta capturada, especialmente los barcos <10 m³ de capacidad de bodega. No obstante la eficiencia de los barcos de tamaño >20 no varía mucho (del orden de 5 galones por tonelada), entre 20 y 130 m³ no es inferior a la eficiencia de los

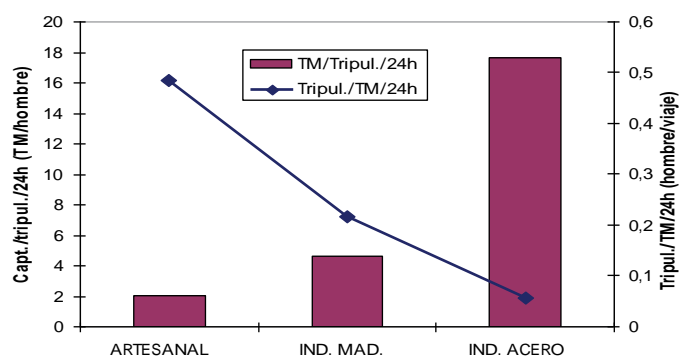


Figura 15.- Captura por tripulante y por viaje versus tripulante por tonelada y por 24 h (Fuente IMARPE).

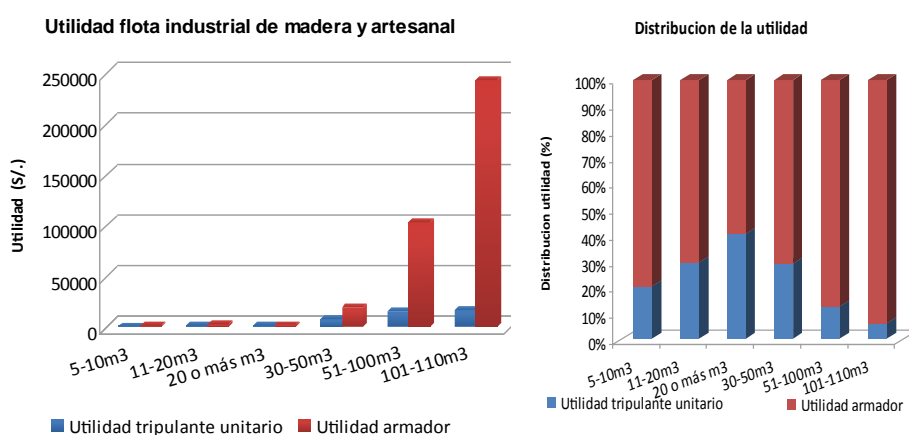


Figura 16.- Utilidad de la flota industrial de madera (Fuente Universidad de Piura, año 2007) y de la flota artesanal (Fuente Imarpe años 2004-2005) y de su repartición entre los tripulantes y el armador.

barcos grandes a pesar de una captura por unidad de esfuerzo menor. Se explica por la menor duración de viaje de las embarcaciones pequeñas.

Los calderos y secadores consumen ~43 galones por tonelada de harina producida, con tendencia a la baja, en la medida que se incrementa la conversión tecnológica de fuego directo a secado indirecto ~30 galones por tonelada de harina producida. A esa cifra se debe agregar el consumo de los grupos electrógenos que es del orden de 6 galones por tonelada de harina producida. Otra tendencia a la baja se observa en la medida que más plantas se conectan a la red pública de electricidad (hidroenergía, gas y petróleo). El combustible principal oficialmente es el Residual 500, pero algunas plantas de Paita y el Callao cambiaron a gas, lo que se debe favorecer porque el consumo de gas es más amigable con el ambiente que el consumo de petróleo. Al final, si se suman los consumos de calderos, secadores y grupos electrógenos, se obtiene un valor de ~36 a 49 galones por tonelada de harina producida o sea ~8 a 12 galones por tonelada de anchoveta fresca. Eso significa que

la transformación a harina y aceite consume mucho más que la extracción. No se han estimado todavía los consumos de energía para transformación de la anchoveta para CHD, pero se supone que serán menores. No obstante, se debe recordar que la extracción artesanal es menos eficiente energéticamente que la pesca industrial a nivel de la extracción (datos provisionales).

La Fig. 15 representa los mismos datos de dos maneras distintas. Las barras representan un índice de eficiencia humana expresado en las capturas de anchoveta en toneladas métricas (t) por tripulante y por 24 h de captura; mientras que los puntos son un índice de empleo expresado en el número de tripulantes por tonelada (t) capturada en 24 h. Entonces, la segunda cifra es la inversa de la primera. Esta figura 15 muestra uno de los dilemas (ver también Tabla 1) que puede enfrentar un administrador de pesquería a la hora de decidir cuál segmento de la flota se debe favorecer: ¿el más eficiente (se puede capturar del orden de 5 millones de toneladas durante años) o el más generador de empleo?

Tabla 1.- Comparación semi-cuantitativa de los efectos positivos (en negro) y negativos (en rojo) de las cadenas de producción de anchoveta asociadas a las tres flotas. Abreviaciones: ext. = extracción; trans.= transformación; Atmos= atmosférico; Acuat.= acuático.

	Eficiencia y divisas	Empleo	Segurid. alim.	Utilidad	Combustible	IMPACTOS AMBIENTALES		
						Atmos.	Acuat.	Otros
PA	+	++++	++++	+	+++ ext. trans. ?	+++ ext. trans. ?	+++?	?
PI ma.	+++	++	+	+++	++ ext. ++++ trans.	++ ext. ++++ trans.	++?	?
PI ac.	++++	+	+	+++??	++ ext. ++++ trans.	++ ext. ++++ trans.	+?	?



Figura 17.- Esquema de una gestión participativa del recurso alrededor de una mesa redonda con visualización de datos. Los diferentes actores pueden ser (lista no limitativa): los funcionarios del gobierno a cargo del manejo, los investigadores, los representantes de los pescadores, de las empresas de transformación industrial, de los exportadores y de los consumidores, los ambientalistas, etc.

Sumario y conclusión

El grupo ha realizado un primer intento de clasificación de los flujos de energía, materia, precio y empleo de los tres segmentos de la pesca anchovetera peruana (artesanal, industrial de madera y de acero). A pesar de que la mayoría de la producción de anchoveta se hace por parte de la flota industrial de acero, dedicada a la producción de harina y aceite de pescado y con mayor eficiencia de captura por tripulante, la contribución de la pesca industrial de madera es significativa, genera mayor empleo por tonelada capturada y posiblemente (los datos deben ser consolidados) no

ocasiona mayor uso de energía. La pesca artesanal de anchoveta, es la menos eficiente energéticamente y por tripulante; sin embargo, genera aún más empleo por tonelada capturada. Representa menos del 3% de la producción total, de la cual sólo una fracción estimada con poca precisión va al CHD; sin embargo, esa cifra se incrementará debido al aumento de la demanda de la anchoveta para CHD (congelado, enlatado y curado). Con el nuevo sistema de cuota individual y de reglamentación de la pesca artesanal para CHD, no debería haber más este tipo de “fugas” de la cuota para CHI, pero eso implica una reconversión rápida de los cerqueros artesanales dedicados a la pesca de

anchoveta. Otros elementos ambientales, sociales y económicos se deben estudiar antes de completar el análisis comparativo.

El precio internacional de harina y aceite de pescado sigue aumentando desde el año 2000, debido al incremento de la demanda asiática y el aumento del precio del combustible. Se debe estudiar en qué medida este aumento desfavorece el consumo interno de estos productos, así como el uso de anchoveta para CHD. La utilidad por tripulante y armador aumenta exponencialmente con el aumento del tamaño de las embarcaciones artesanales e industriales de madera (data disponible) hasta 100 m³ de capacidad de bodega (CB).

Estos datos luego de ser validados y complementados con información de impacto ambiental (en proceso) podrían contribuir a la toma de decisión participativa para un balance óptimo entre los tres segmentos de la flota y las cadenas de producción asociadas (Tabla 1, Fig. 17).

Referencia

HOSPIDO A, TYEDMERS P. 2005. Life Cycle Environmental Impacts of Spanish Tuna Fisheries. Fisheries Research. 76(2): 174-186.

Evaluación de riesgo ecológico

Ecological risk assessment

CLAUDIA WOSNITZA-MENDO¹ ASTRID JARRE²
MIGUEL ÑIQUEN¹ RENATO GUEVARA-CARRASCO¹

Resumen

WOSNITZA-MENDO C, JARRE A, ÑIQUEN M, GUEVARA-CARRASCO R. 2010. Evaluación de riesgo ecológico. *Bol Inst Mar Perú* 25(1-2): 73-80.- Se desarrolló una Evaluación de Riesgo Ecológico (ERE) mediante un taller de trabajo con 29 representantes de todos los usuarios de la pesquería de anchoveta (stock norte-centro), en sus tres dimensiones, "bienestar ecológico", "bienestar humano" y "capacidad de logro". Se dio prioridad a los temas conflictivos de la pesquería clasificando su riesgo tomando en cuenta el nivel de impacto que tendría al ocurrir y la probabilidad de que ocurra. Se identificó 99 problemas de riesgo de los cuales más de dos tercios fueron clasificados por consenso como alto o extremo. Casi la mitad de los riesgos altos y extremos estuvieron en la dimensión "capacidad de logro".

PALABRAS CLAVE: anchoveta peruana, riesgo ecológico, evaluación.

Abstract

WOSNITZA-MENDO C, JARRE A, ÑIQUEN M, GUEVARA-CARRASCO R. 2010. Ecological risk assessment. *Bol Inst Mar Perú* 25(1-2): 73-80.- An Ecological Risk Assessment (ERA) workshop for the Peruvian anchovy (northern-central stock) was conducted involving 29 stakeholders and considering three main categories: "ecological wellbeing", "human wellbeing" and "ability to achieve". Priority was given to the conflictive issues of the fishery by classifying their risk, taking into account the impact level and the likelihood of it occurring. A total of 99 conflictive issues were identified; more than two thirds were classified, by consensus, as high or extreme. Almost half of the issues classified as high or extreme risk belonged to the category "ability to achieve".

KEYWORDS: Peruvian anchovy, ecological risk, assessment.

Introducción

En base a conversaciones informales con la Dra. A. JARRE sobre la importancia de desarrollar temas de evaluaciones de riesgo en ecosistemas de afloramiento, se decidió incluir un sexto grupo en el V Panel de la Anchoveta en agosto 2009: Evaluación de Riesgo Ecológico (ERE). Tomando como ejemplo y siguiendo la metodología usada en Sudáfrica (NEL et al. 2007), se aplicó la ERE en el stock norte-centro de la anchoveta peruana (*Engraulis ringens*). Esta metodología fue desarrollada originalmente por FLETCHER et al. (2002) para las pesquerías de Australia y es el enfoque adoptado por la FAO (2003, 2005). Durante la reunión de agosto sólo se desarrolló parte de la ERE porque no se contó con todos los grupos de usuarios bien representados. En la reunión de seguimiento del V Panel, en marzo de 2010, se convocó a representantes de todos

los usuarios (ver lista de participantes) y se desarrolló la Evaluación de Riesgo en sus tres dimensiones, la ecológica, la humana y la de capacidad de logro (Gobernanza).

La metodología proporciona una estructura que considera los diferentes temas de la pesquería en estudio, de una manera transparente y responsable. El análisis de riesgo toma en cuenta las posibles fuentes de riesgo, la gravedad de sus consecuencias y la probabilidad de que ocurran. Además de esto permite dar prioridad a los temas o riesgos con justificación y también dar prioridad a las respuestas del manejo. Es necesario que todos los usuarios reflexionen sobre los temas y planteen una posición convenida. En esencia es una manera de hacer operativo el manejo.

1 Instituto del Mar del Perú,

2 Universidad de Ciudad del Cabo, Sudáfrica

Método

Esta metodología considera el desarrollo de un proceso de tres pasos:

1. Identificación del problema o tema (Fig. 1)
2. Dar prioridad a estos problemas o temas (Tabla 1)
3. Desarrollar un Informe de Cumplimiento (Performance Report) que describe la respuesta necesaria de manejo para abordar el tema.

La ERE proporciona una lista de control de objetivos operativos amplios, con indicadores relacionados al manejo, que pueden constituir la base de una herramienta de seguimiento para el Enfoque Ecosistémico al Manejo de las Pesquerías (Ecosystem Approach to Fisheries, EAF), para efectivamente monitorear el cumplimiento en las pesquerías. La identificación de todos los temas de interés en las pesquerías consideradas y dándole prioridad a través de la evaluación de riesgo, es una componente clave para distinguir los temas del EAF.

PRIMER PASO DE EVALUACIÓN: IDENTIFICACIÓN DE TEMAS SEGÚN DIMENSIÓN EAF

La Fig. 1 muestra esquemáticamente el primer paso de la evaluación, que consiste en la identificación de los temas importantes o conflictivos en la pesquería en las diferentes dimensiones (bienestar ecológico, bienestar humano, capacidad de logro). Cualquier tema identificado por uno o más participantes es incluido en la lista de temas, sin importar si es apoyado por otros y de esta manera se obtiene una lista exhaustiva de preocupaciones percibidas por todos los participantes del taller.



Figura 1.- Identificación de temas según dimensión del Enfoque Ecosistémico al Manejo Pesquero usando categorías amplias (Ecosystem Approach to Fisheries, EAF) (modificado de FAO 2003)

SEGUNDO PASO DE EVALUACIÓN: DAR PRIORIDAD A TEMAS

El segundo paso de la evaluación consiste en dar prioridad a los temas conflictivos usando el esquema de clasificación de la Tabla 1. Se valorará el impacto de un riesgo dado que ocurra, independientemente de su probabilidad de ocurrencia. Después se calcula el valor de riesgo, como producto de la puntuación obtenida del impacto y de la probabilidad. En este paso es necesario obtener un consenso sobre el impacto y la probabilidad. El tema es entonces calificado como “insignificante” (puntuación 0), “bajo” (puntuación 1 – 6), “moderado” (puntuación 7 – 12), “alto” (puntuación 13 – 18) y “extremo” (puntuación 18 o más) de acuerdo a su puntuación total. El valor del riesgo de esta manera proporciona una medida para dar prioridad a los temas. Temas de alto y extremo riesgo requieren prioritariamente acciones de manejo.

Tabla 1.- Esquema para dar prioridad a los temas conflictivos de las pesquerías.
Riesgo = Impacto x Probabilidad

NIVEL DE IMPACTO		DESCRIPCIÓN	
0	Insignificante	Muy insignificante, probablemente no se puede medir contra variabilidad de fondo	
1	Menor	Posible de detectar pero de mínimo impacto	
2	Moderado	Nivel máximo aceptable	
3	Severo	Por encima del límite aceptable. Impactos negativos amplios y a largo plazo	
4	Mayor	Muy serios, requiere probablemente un largo tiempo de restauración	
5	Catastrófico	Extendido y probablemente irreversible	
PROBABILIDAD		DESCRIPCIÓN	
1	Remoto	Probabilidad insignificante de ocurrir	
2	Raro	Puede ocurrir en circunstancias excepcionales	
3	Improbable	Inusual, pero se sabe que ha ocurrido acá o en algún otro lugar comparable	
4	Posible	Evidencia de que puede ocurrir	
5	Ocasional	Puede ocurrir	
6	Probable	Se espera que ocurra	

Clasificación de categorías de riesgo:

0	Insignificante		I (verde)
1	Riesgo	≤ 6	Bajo B (amarillo)
6	Riesgo	≤ 12	Mediano M (anaranjado)
12	Riesgo	≤ 18	Alto A (rojo)
18	Riesgo	>18	Extremo E (rojo oscuro)

Tabla 2.- Pasos a desarrollar para informe de cumplimiento

TÍTULO DEL INFORME DE CUMPLIMIENTO	DESCRIPCIÓN
1) Objetivo Operacional	¿Qué quiere alcanzar y cuándo?
2) Indicador	¿Qué va a usar para medir el cumplimiento?
3) Medida de Cumplimiento/Límite (justificación)	¿Qué niveles definen un cumplimiento aceptable e inaceptable y por qué?
4) Requerimientos de datos/disponibilidad	¿Qué programas de monitoreo se necesitarán?
5) Evaluación	¿Cuál es el actual cumplimiento de la pesquería para cada tema de interés?
6) Solidez	¿Cuán robusto es el indicador y/o la medida de cumplimiento para evaluar el cumplimiento contra el objetivo?
7) Respuesta del Manejo Pesquero	¿Cuáles son las acciones de manejo usadas actualmente para conseguir el cumplimiento?
• actual	
• futura	¿Qué medida de manejo adicional será introducida?
• acciones si el límite de cumplimiento es sobrepasado	¿Qué pasará si el indicador sugiere que el cumplimiento no es aceptable?
8) Comentarios y Acciones	Resume qué acciones se tomarán en los siguientes años
9) Forzantes externos	¿Qué factores fuera del control de la pesquería pueden afectar el cumplimiento de los objetivos?

Tabla 3.- Categorización de las tres dimensiones.

Categoría	Bienestar ecológico	Bienestar humano (persp. local)	Capacidad de logro	Total
Insignificante	0	0	0	0
Bajo	3	0	3	6
Mediano	13	2	8	23
Alto	10	12	15	37
Extremo	9	7	17	33
Total	35	21	43	99

TERCER PASO DE EVALUACIÓN: DESARROLLAR UN INFORME DE CUMPLIMIENTO

El tercer paso es el desarrollo de un Informe de Cumplimiento. En la Tabla 2 se representa los nueve pasos para desarrollar un Informe de Cumplimiento:

En resumen, los Informes de Cumplimiento requerirán el establecimiento de un objetivo operacional, la identificación de indicadores, objetivos e hitos. Estos permitirán medir al progreso regular contra los objetivos convenidos.

Resultados

En la Evaluación de Riesgo Ecológico (ERE) de marzo del 2010 participaron 26 representantes del Ministerio de la Producción (PRODUCE), empresas pesqueras, sector pesquero artesanal, universidades y del IMARPE. Se logró identificar un total de 99 problemas en la pesquería de la anchoveta, 35 relacionados al bienestar ecológico, 21 al bienestar humano y 43 relacionados a la capacidad de logro.

- Más de dos tercios de los riesgos están clasificados como alto o extremo.
- Casi la mitad de los riesgos altos y extremos están en la dimensión de "capacidad de logro".
- La dimensión humana contiene 18 riesgos económicos, pero solo tres de riesgo social (¡consolidación!).
- Los tres riesgos sociales están clasificados como alto o extremo.
- Solo el 6% de los riesgos están clasificados como insignificante o bajo.
- Informes de Cumplimiento serán necesarios para el 94% de los riesgos; 71% si sólo se atiende riesgos de la categoría alto y extremo.
- Los biólogos desarrollarán los indicadores de los objetivos/cumplimiento para el 32% de los riesgos (19% de categoría alto y extremo).
- El 62% (52% de categoría alto y extremo) de los riesgos que necesitarán informes de cumplimiento están fuera de la competencia profesional básica de los biólogos: Se necesitará la colaboración con científicos sociales, legales y también de gestión para cubrir tales indicadores de los objetivos/cumplimiento (Tabla 3).

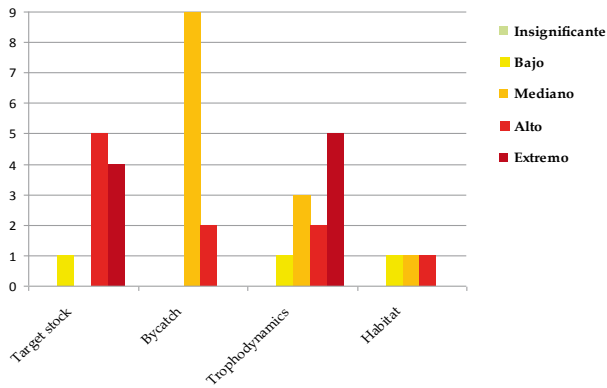


Figura 2.- Desglose de riesgos en dimensión de bienestar ecológico

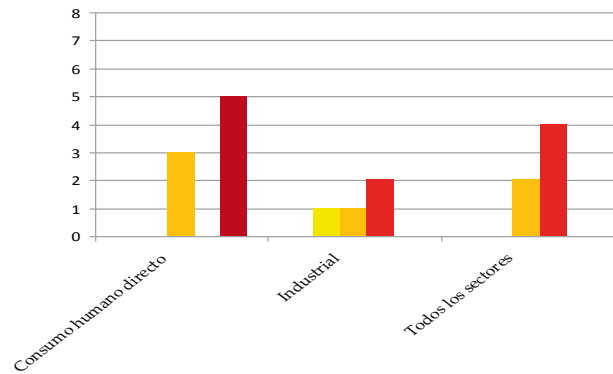


Figura 4.- Desglose de riesgos en dimensión de bienestar económico en la perspectiva nacional.

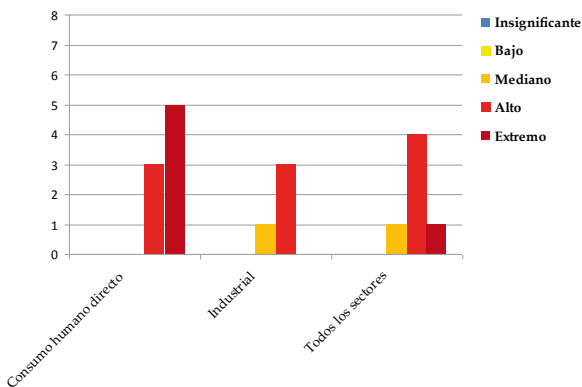


Figura 3.- Desglose de riesgos en dimensión de bienestar económico en la perspectiva local

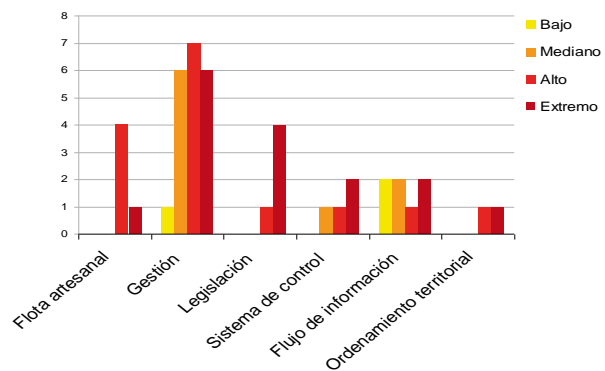


Figura 5.- Desglose de riesgos en dimensión de capacidad de logro.

DESGLOSE DE RIESGOS POR CATEGORÍA Y SUB-DIMENSIÓN

1. Bienestar ecológico

En la dimensión de bienestar ecológico se identificaron nueve riesgos extremos, que pertenecen a la anchoveta como stock objetivo, y su rol como especie clave en la red trófica del ecosistema de Humboldt. Se identificó un alto riesgo en la captura incidental por la interacción con las redes tanto para aves, mamíferos y tortugas como para jurel y caballa; y un riesgo medio-alto relacionado a la contaminación (Tabla 4, Fig. 2).

2. Bienestar humano: riesgos económicos

La mayoría de riesgos extremos (5) pertenecen a la pesquería artesanal o de consumo humano directo (CHD). Hay riesgos medio-alto para la pesquería industrial relacionados al sector de interacciones y pesca incidental. Se identificó riesgos medio-alto para todos los sectores relacionados a la pesquería ilegal, contaminación, accidentes a bordo y precios de materia prima. La contaminación es riesgo extremo desde la perspectiva local (Tabla 4, Figs. 3, 4).

3. Capacidad de logro

Se identificó riesgo extremo en todas las subcategorías. La categoría más importante es gobernanza y asesoramiento. La legislación y el sistema de manejo, control y supervisión son dominados por riesgos altos y extremos. Todos los riesgos de la flota artesanal están relacionados a la falta de regulación para este sector (Tabla 4, Fig. 5).

Recomendaciones

- Usar la evaluación de riesgo ecológico, como la propuesta, en la implementación del EAF a la pesquería de anchoveta. Para ello será necesario continuar y ampliar la colaboración con los representantes de los diversos grupos de usuarios participantes en el taller con la finalidad de:
 - Revisar y completar la lista de problemas ya identificados;
 - Revisar y asegurar la consistencia de la evaluación de riesgo propuesta; y.
 - Desarrollar Informes de Cumplimiento para los riesgos clasificados como alto o extremo.

Tabla 4.- Lista completa de todos los problemas identificados. ECOLOGÍA

ID	PROBLEMA	IMPACTO	PROBABI LIDAD	RIESG O	CATEGO RIA	Overarching objective
ECOLOGÍA						
1	Falla reclutamiento	4	4	16	Alto	Wellbeing target species - maintain productive target stock
2	Problemas de captura de juveniles	4	6	24	Extremo	Wellbeing target species - maintain productive target stock
3	Descartes en la pesca	3	6	18	Alto	Wellbeing target species - maintain productive target stock
4	Subestimación de las capturas	3	6	18	Alto	Wellbeing target species - maintain productive target stock
5	Separación de stocks no definidos	2	2	4	Bajo	Wellbeing target species - maintain productive target stock
6	Disminucion de la biomasa desovante debajo del limite	5	4	20	Extremo	Wellbeing target species - maintain productive target stock
7	Repliegue de anchoveta durante el ENSO en bolsas de aguas frías : impacto en la condicion de la anchoveta	3	5	15	Alto	Wellbeing target species
8	El ENSO compromete el desove	4	5	20	Extremo	Wellbeing target species
9	Pesca ilegal	3	6	18	Alto	Wellbeing target species
10	Pesca destructiva utilizando explosivos	4	5	20	Extremo	Wellbeing target species
11	Capturas incidentales	n.a.	n.a.		n.a.	
11a	-sardina	4	3	12	Mediano	Minimise Bycatch
11b	-pejerrey	4	3	12	Mediano	Minimise Bycatch
11c	-merluza	4	2	8	Mediano	Minimise Bycatch
11d	-agujilla	4	3	12	Mediano	Minimise Bycatch
11e	-vinciguerra	4	3	12	Mediano	Minimise Bycatch
11f	-pez volador	4	3	12	Mediano	Minimise Bycatch
11g	-pota	2	4	8	Mediano	Minimise Bycatch
11h	-barrilete	4	3	12	Mediano	Minimise Bycatch
11i	-munida	2	4	8	Mediano	Minimise Bycatch
11j	-caballa y jurel	4	4	16	Alto	Minimise Bycatch
12	Interacción de aves , tortugas , mamíferos con redes	3	5	15	Alto	Minimise Bycatch
13	Especie clave en la red trófica : presa de depredadores en general	5	4	20	Extremo	Sufficient food for predators in general
14	Presa de depredadores mas dependientes de anchoveta: aves	5	6	30	Extremo	Sufficient food for dependent predators
15	Presa de depredadores mas dependientes de anchoveta: lobos	4	5	20	Extremo	Sufficient food for dependent predators
16	Presa de depredadores mas dependientes de anchoveta: bonito	4	6	24	Extremo	Sufficient food for dependent predators
17	Presa de depredadores mas dependientes de anchoveta: caballa, jurel	2	4	8	Mediano	Sufficient food for dependent predators
18	Presa de depredadores mas dependientes de anchoveta: cojinoba	5	4	20	Extremo	Sufficient food for dependent predators
19	Presa de depredadores mas dependientes de anchoveta: corvina	2	2	4	Bajo	Sufficient food for dependent predators
20	Especie clave en la red trofica: Competencia al nivel del zooplankton con muchas otras especies	4	4	16	Alto	Maintain natural ecosystem trophic dynamics
21	Durante el ENSO se capturan especies alternativas a la anchoveta (de ecosistemas oceanicos) pero sin conocer el impacto que se produce en el ecosistema de Humboldt	2	5	10	Mediano	Maintain natural ecosystem trophic dynamics
22	Durante el ENSO se capturan especies alternativas a la anchoveta (del ecosistema costero de la anchoveta) pero sin conocer el impacto que se produce en el ecosistema	3	5	15	Alto	Maintain natural ecosystem trophic dynamics
23	Aumento de medusas (competencia)	4	3	12	Mediano	Maintain natural ecosystem trophic dynamics
24	Uso de antifango en zonas costera ; destrucción de habitats?	2	2	4	Bajo	Minimise adverse habitat impacts
25	Aumento de la contaminación en épocas de pesca de anchoveta	3	3	9	Mediano	Minimise adverse habitat impacts
26	No hay control de hidrocarburos, sanguaza, agua de lastre, vertidos al mar pro la flota pesquera	3	6	18	Alto	Minimise adverse habitat impacts

ID	PROBLEMA	IMPACTO		PROBA BILIDAD	RIESGO		CATEGORÍA		OBJETIVOS
		Local	Nacional		Local	Nacional	Local	Nacional	
BIENESTAR HUMANO									
1	La pesca para el consumo requiere mayor inversión , esfuerzo y competencia que la pesca para harina y eso genera desincentivos para el desarrollo del consumo humano directo	3	1,5	6	18	9	Alto	Mediano	Bienestar economico (pesqueria de consumo humano)
2	Hay mayor demanda y mercados más consolidados para producción de harina y aceite de pescado que de anchoveta para CHD lo que genera desincentivos para el consumo humano directo	3	1,5	6	18	9	Alto	Mediano	Bienestar economico (pesqueria de consumo humano)
3	La mayoría de embarcaciones artesanales no cuentan con adecuados sistemas de preservación para la anchoveta (insulado, refrigerado)	4	4	6	24	24	Extremo	Extremo	Bienestar economico (pesqueria de consumo humano)
4	Inadecuada infraestructura en los muelles artesanales (cámaras de frío, agua potable, tratamiento de aguas residuales y desechos sólidos)	4	4	6	24	24	Extremo	Extremo	Bienestar economico (pesqueria de consumo humano)
5	Poca demanda de anchoveta para el consumo humano (baja cultura de consumo)	4	4	5	20	20	Extremo	Extremo	Bienestar economico (pesqueria de consumo humano)
6	Poca capacitación práctica (calidad) de los pescadores en el sector artesanal en relación con el sector industrial	4	4	6	24	24	Extremo	Extremo	Bienestar economico (pesqueria de consumo humano)
7	No existe registro de desembarque de anchoveta proveniente de embarcaciones artesanales no empadronadas.	4	4	6	24	24	Extremo	Extremo	Bienestar economico (pesqueria de consumo humano)
8	Falta de créditos asequibles para la flota artesanal (actividad de alto riesgo e incertidumbre en el cumplimiento del pago)	3	2	6	18	12	Alto	Mediano	Bienestar economico (pesqueria de consumo humano)
9	La captura incidental genera mayores costos operativos por pago de multas y por captura desechada	2	2	6	12	12	Mediano	Mediano	Bienestar economico (pesqueria industrial)
10	No se emplea el sistema de cuotas para la flota artesanal.	3	3	6	18	18	Alto	Alto	Bienestar economico (pesqueria industrial)
11	La tendencia alcista del precio internacional de harina y aceite influye en el comportamiento de los agentes nacionales.	2,5	2,5	6	15	15	Alto	Bajo	Bienestar economico (pesqueria industrial)
12	El mercado nacional no penaliza por mala calidad de la materia prima	2,5	2,5	6	15	15	Alto	Alto	Bienestar economico (pesqueria industrial)
13	Existe pesca negra tanto en la flota industrial como artesanal	3	3	6	18	18	Alto	Alto	Bienestar economico (todos los sectores)
14	Falta cuantificar la biomasa de anchoveta que es necesario dejar en las redes tróficas, lo cual estaría produciendo un impacto económico .	2,5	2,5	6	15	15	Alto	Alto	Bienestar economico (todos los sectores)
15	Uso de explosivos en la pesca, los cuales alteran el ecosistema.	4	3	4	16	12	Alto	Mediano	Bienestar economico (todos los sectores)
16	Contaminación antropogénica de las bahías	4	3	6	24	18	Extremo	Alto	Bienestar economico (todos los sectores)
17	Existe disparidad en el valor de la materia prima para la producción de harina y aceite de pescado con relación al valor de la materia prima de mayor calidad para el consumo humano.	3	3	6	18	18	Alto	Alto	Bienestar economico (todos los sectores)
18	Incidencia de accidentes a bordo de las embarcaciones pesqueras	2	2	4	8	8	Mediano	Mediano	Bienestar economico (todos los sectores)
19	Hay un porcentaje considerable de embarcaciones artesanales que no están empadronadas, por lo tanto no tienen acceso a los beneficios del sistema	4	4	6	24	24	Extremo	Extremo	Bienestar social (pesqueria artesanal)
20	El pescador artesanal no recibe un salario acorde con su productividad	3	3	6	18	18	Alto	Alto	Bienestar social (pesqueria artesanal)
21	La inexistencia de un régimen laboral pesquero en el sector artesanal	3	3	6	18	18	Alto	Alto	Bienestar social (todos los sectores)

GOBERNANZA					
Flota artesanal					
1	Deficiencia en el ordenamiento jurídico respecto a las actividades de extracción de la flota artesanal para el consumo humano directo.	4	6	24	E
2	No se conoce la dimensión de la flota artesanal dirigida a la extracción de anchoveta para consumo humano directo	3	6	18	A
3	Falta de control y supervisión en el monitoreo de entidades capacitadas en los muelles artesanales	3	6	18	A
4	Embarcaciones artesanales con exceso de capacidad de bodega (más de 30 TM), que no están incorporados en el sistema actual de control y ordenamiento	3	6	18	A
5	Poca capacidad de cumplimiento en los gobiernos regionales para regular el control pesquero artesanal	3	6	18	A
Gestión - PRODUCE					
6	Falta planes de ordenamiento para el uso de especies alternativas a la anchoveta y/o recursos de oportunidad	4	6	24	E
7	Falta mejorar la respuesta del ministerio para mitigar la pesca incidental y juveniles	4	3	12	M
8	Existe pesca ilegal (IUU)	5	6	30	E
9	Deficiencia y retraso en el sistema en ejecución de sanciones	3	4	12	M
10	Insuficientes incentivos para el ordenamiento pesquero por parte del estado y sector privado	2	5	10	M
11	Falta de un plan de ordenamiento específico para la anchoveta (ROP)	3	6	18	A
12	Faltan más especialistas en ciencias naturales y ciencias sociales dedicados al estudio de ecosistemas y pesquerías	4	5	20	E
13	Hay un gran vacío en la información a nivel económico y social de la pesquería	4	6	24	E
14	Los eventos naturales (ENSO, terremotos) generan desorden en el sistema de administración pesquera	5	4	20	E
15	Falta de indicadores económicos, sociales y de manejo	4	4	16	A
16	Necesidad de optimizar un sistema de información que garantice las alertas tempranas para obtener mejor capacidad de respuesta.	4	4	16	A
17	Carencia de aplicación del Canon Pesquero para investigación	3	5	15	A
18	Pérdida de personal científico en el sector pesquero por falta de oportunidad económica	3	5	15	A
19	Falta asignar una parte de la cuota de captura para la pesca artesanal	4	6	24	E
20	Pocas investigaciones económicas sobre dinámica del mercado de productos derivados de la anchoveta	4	4	16	A
21	Incertidumbre en los escenarios a mediano y largo plazo	2	5	10	M
22	Falta definir criterios de manejo, hacerlos públicos	1	6	6	B
23	Muy pocos cruceros científicos	2	4	8	M
24	Impacto de efluentes de las fábricas de harina de pescado en la biomasa de la anchoveta	3	6	18	A
25	Incertidumbre en el nivel mínimo de biomasa de anchoveta	2	5	10	M
Flujo de información					
26	Se requiere mayor información biológica para el ordenamiento de especies alternativas asociadas al ENSO	4	5	20	E
27	Poco intercambio de información entre la sociedad civil y el sector público	4	4	16	A
28	Se necesita un adecuado sistema de flujo de la información entre el sector científico y empresarial	4	3	12	M
29	Pocos convenios en ejecución y permanentes (falta de continuidad en los acuerdos, no hay retroalimentación)	4	5	20	E
30	Necesidad de participación de los pescadores en los estudios pesqueros	3	4	12	M
31	Porcentaje bajo de informes técnicos publicados oportunamente	2	3	6	B
32	Intercambio de información con empresarios /información desfasada	2	3	6	B
Legislación					
33	Hay conflictos normativos entre gobierno central, gobiernos regionales y poder judicial	5	6	30	E
34	Participación indebida de los jueces sobre la implicancia del ordenamiento pesquero, sin contar con una base para la toma de decisiones.	5	6	30	E
35	Interferencia de jueces en la competencia del ministerio etc.	5	6	30	E
37	Inexistencia de regulación de anchoveta para el consumo humano directo	3	6	18	A
38	Contradicción de la legislación con el manejo pesquero	4	6	24	E
Sistema de control					
39	El sistema de coordinación entre el ministerio y otras organismos gubernamentales es insuficiente y existe sobreposición de competencias	4	5	20	E
40	El sistema de control, vigilancia y sanciones es ineficiente	4	6	24	E
41	No hay información completa de la pesca de juveniles, altos costos de control (subestimación de la captura)	3	4	12	M
42	Poco control en las zonas de pesca (la flota industrial pesca dentro de las 5mn)	3	6	18	A
Ordenamiento territorial					
43	Poco ordenamiento de las actividades mineras, petroleras, acuícolas y desarrollo urbano	4	4	16	A
44	Contaminación por efluentes antropogénicos	4	6	24	E

Referencias

- FAO. 2003. The ecosystem approach to fisheries. FAO Technical Guidelines for responsible Fisheries. 4, Suppl. 2 Rome, FAO. 112 pp.
- FAO. 2005. Putting into practice the ecosystem approach to fisheries. Rome, FAO. 2005. 76 pp.
- FLETCHER WJ, CHESSON J, FISHER M, SAINSBURY KJ, HUNDLOE T, SMITH ADM, WHITWORTH B. 2002. National ESD Reporting Framework for Australian Fisheries: The 'How To' Guide for Wild capture Fisheries. FRDC Project 2000/145, Canberra, Australia.
- NEL DC, COCHRANE K, PETERSEN SL, SHANNON LJ, VAN ZYL B, HONIG MB. (eds.) 2007. Ecological Risk Assessment: a tool for implementing an Ecosystem Approach for Southern African Fisheries. WWF Report Series – 2007/Marine/002.

ANEXO

LISTA DE PARTICIPANTES EN LA EVALUACIÓN DE RIESGO ECOLÓGICO PARA EL TALLER DE SEGUIMIENTO DEL QUINTO PANEL DE LA ANCHOVETA

ASTRID JARRE	(Universidad del Cabo, Sudáfrica)
JORGE CSIRKE	(ex FAO)
ELSA GALARZA	(MEF)
RAÚL FLORES	(PRODUCE)
ROSARIO LAJARA	(PRODUCE)
EDILBERTO FIESTAS	(PRODUCE)
CARMEN MARÍA BERNUY	(Sector Pesquero Artesanal)
VICTOR BERNUY	(Sector Pesquero Artesanal)
MARIANO GUTIÉRREZ	(SNP)
ARTURO ARANDA	(SNP)
JOANNA KAMICHE	(Universidad del Pacífico)
RENATO GUEVARA-CARRASCO	(IMARPE)
CLAUDIA WOSNITZA-MENDO	(IMARPE) (coordinadora)
MIGUEL ÑIQUEN	(IMARPE)
CARMEN MORENO	(IMARPE)
JULIO VALDIVIA	(IMARPE)
ELISA GOYA	(IMARPE)
CARLOS BENITES	(IMARPE)
LUIS CARRILLO	(Universidad Nacional Agraria La Molina)
JAIME MENDO	(Universidad Nacional Agraria La Molina)
PATRICIA MAJLUF	(Universidad Cayetano Heredia)
WALTER ALVITES	(Universidad Nacional del Callao)
SANTIAGO DE LA PUENTE	(Universidad Cayetano Heredia)
JUAN CARLOS SUEIRO	Cooperación (ONG)
OSCAR DE LA PUENTE	Consultor (Universidad Cayetano Heredia)
CARMEN HECK	Consultora (Universidad Cayetano Heredia)
GUILIANA SOLDI	Consultora (Universidad Cayetano Heredia)

Estandarización de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de la flota industrial de cerco del stock norte-centro de la anchoveta peruana (*Engraulis ringens* Jenyns)

Standardization of the catch per unit effort (CPUE) of the industrial purse seine fleet extracting the north-center stock of the Peruvian anchovy (*Engraulis ringens* Jenyns)

DANTE ESPINOZA-MORRIBERÓN¹

RICARDO OLIVEROS-RAMOS²

ERICH DÍAZ¹

Resumen

ESPINOZA-MORRIBERÓN D, OLIVEROS-RAMOS R, DÍAZ E. 2010. Estandarización de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de la flota industrial de cerco del stock norte-centro de la anchoveta peruana (*Engraulis ringens* Jenyns). *Bol Inst Mar Perú* 25(1-2): 81-84.- Se trabajó utilizando una metodología basada en Modelos Lineales Generalizados (MLG). La CPUE fue expresada en toneladas por duración de viaje. Las variables explicativas utilizadas fueron el año, mes, capacidad de bodega, latitud, inercia espacial y distancia a la costa. El modelo tuvo un coeficiente de determinación de 0,485, explicando casi la mitad de la variabilidad de la CPUE observada. La variable con mayor influencia en el modelo fue la capacidad de bodega (49% de la varianza explicada), debido posiblemente a que la flota anchovetera posee una capacidad elevada de captura y que los recursos pelágicos tienden a hiper-agregarse, incluso cuando están siendo fuertemente explotados. La correlación entre la CPUE estandarizada y biomasa estimada por un modelo de captura a la edad ($r=0,74$) indica que el método basado en MLG es recomendable para la estandarización de la CPUE. Se propone a esta CPUE como una alternativa para monitorear la biomasa de la anchoveta.

PALABRAS CLAVE: anchoveta peruana, CPUE, estandarización de la CPUE, MLG, capacidad de bodega.

Abstract

ESPINOZA-MORRIBERÓN D, OLIVEROS-RAMOS R, DÍAZ E. 2010. Standardization of the catch per unit effort (CPUE) of the industrial purse seine fleet extracting the north-center stock of the Peruvian anchovy (*Engraulis ringens* Jenyns). *Bol Inst Mar Perú* 25(1-2): 81-84.- We used a methodology based on Generalized Linear Model (GLM). The CPUE was expressed as metric tons of catch per trip duration. The explicative variables used were year, month, holding capacity, latitude, spatial inertia and distance from the coast. The model had a determination coefficient of 0.485, explaining almost half of the variability observed in the CPUE. The variable with the highest influence was the holding capacity (49% of the explained variance), likely due to the high harvest capacity of the anchovy fleet and the hyper-aggregation of the pelagic resources, which occurs even if they are highly exploited. The correlation between the standardized CPUE and estimated biomass from a catch-at-age model ($r=0.74$) indicates that the method based on GLM is recommendable for the standardization of CPUE. The resultant CPUE is proposed as an alternative for monitoring the anchovy biomass.

KEYWORDS: Peruvian anchovy, CPUE, standardization of CPUE, GLM, holding capacity.

Introducción

La pesquería del Perú es sustentada, en términos de desembarque, empleo y divisas, por la anchoveta. Ésta, se constituye además como la pesquería mono-específica más grande del mundo (FAO 2008). Debido a ello, una gran cantidad de esfuerzos se dirigen cons-

tantemente a monitorear y evaluar esta pesquería, con el propósito de mantenerla sustentable; y la biomasa es la variable sobre la que se establece la estrategia de manejo. La biomasa de anchoveta se estima directamente por el método acústico; sin embargo, también se llevan a cabo estimaciones indirectas por

1 Unidad de Investigaciones en Dinámica Poblacional, IMARPE. Apartado postal 22 Callao, Perú. dante_espinoza@hotmail.com

2 Centro de Investigaciones en Modelado Oceanográfico y Biológico Pesquero, IMARPE.

análisis de población virtual, modelos de producción excedente y la captura por unidad de esfuerzo. En la ciencia pesquera, la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de una flota ha sido propuesta como un indicador relativo de la biomasa del stock sobre el que opera dicha flota; esto, bajo la asunción de que ambos son directamente proporcionales, con la proporcionalidad dada por el coeficiente de capturabilidad q (Baranov, 1918).

$$\frac{C}{f} = qB \quad \dots (1)$$

donde C es la captura,
 f es el esfuerzo pesquero,
 q es el coeficiente de capturabilidad y
 B es la biomasa.

Sin embargo, en la práctica, esta proporcionalidad casi nunca se cumple, debido a que q es variable en el tiempo (CSIRKE 1989), y q es variable debido a la influencia de factores relacionados al comportamiento del pez (ROSE y KULKA 1999) y al comportamiento y grado de tecnificación de la flota pesquera. El proceso de estandarización es una forma de remover estas fuentes de variabilidad y hacer más realista el supuesto de proporcionalidad entre la CPUE de una flota y la biomasa de un stock. Una CPUE estandarizada mejora la utilidad de la CPUE como indicador de abundancia. En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue estandarizar la CPUE de la flota industrial de cerco de la anchoveta peruana, utilizando una metodología basada en un Modelo Lineal Generalizado (MLG). Se propone la serie resultante como una alternativa para monitorear la biomasa relativa del stock norte-centro de la anchoveta peruana.

Material y métodos

La información provino del Programa de observadores a bordo "Bitácoras de Pesca" (PBP) de IMARPE. El área de estudio correspondió a la región Norte - Centro del mar peruano, entre 4 y 16°S. La serie de estudio comprendió entre los años 1996 y 2008. La base de datos estuvo conformada por observaciones de 9280 viajes. La CPUE se expresó como toneladas de anchoveta capturada por duración de viaje en horas (t/h).

Para estandarizar la CPUE se utilizó un MLG. Las variables propuestas para explicar la CPUE fueron año, mes, capacidad de bodega (m³), latitud, inercia espacial (indicador de la dispersión entre los lances de un viaje) y distancia promedio a la costa. Interacciones entre las variables también fueron sugeridas como explicativas de la CPUE.

El modelo fue definido de la siguiente manera:

$$f(CPUE) = g(\text{año, factores}) + \varepsilon \dots (2)$$

donde
 f es la función de enlace y
 g es una función lineal.

La función de enlace utilizada fue la transformación Box-Cox, que permitió que la variable dependiente se distribuya normalmente, y cumplir de esta manera con los supuestos de regresión.

La CPUE modelada fue aquella con la que se logró el mejor ajuste (R^2) entre las observaciones y las predicciones. Luego, la CPUE estandarizada fue entendida como la CPUE modelada a condiciones estándar. El estrato estándar sugerido fue el comprendido entre 101 y 200 m³ de capacidad de bodega.

La variable año fue asumida como la que representó la variación en los cambios de abundancia.

Finalmente, para efectos comparativos la serie estandarizada se correlacionó con la biomasa de anchoveta estimada por un modelo estadístico estructurado por edades.

Resultados

Uno de los principales problemas con el uso del MLG fue cumplir con el supuesto de normalidad de la variable modelada. Para cumplir con este supuesto se aplicó la transformación Box-Cox. La prueba de Kolmogorov-Smirnov demostró que un vez transformada la CPUE, ésta presentó una distribución normal (p -value = 0,033) (Fig. 1).

Luego del análisis del nivel de aporte estadístico, pero con sentido biológico de las variables explicativas al modelo, éste tomó la siguiente forma:

$$f(CPUE_{hijkl}) \sim y_h + m_i + cb_j + lat_k + iv_l + y : m_{hi} + m : lat_{ik} + lat : cb_{kj} \dots (3)$$

donde
 y_h es el efecto del año h ;
 m_i es el efecto del mes i ;
 cb_j es el efecto de la capacidad de bodega j ;
 lat_k es el efecto de la latitud k ;
 iv_l es el efecto de la inercia espacial l ;
 $y:m_{hi}$ es el efecto de la interacción entre año h y mes i ;
 $m:lat_{ik}$ es el efecto de la interacción entre mes i y latitud k ; y
 $lat:cb_{kj}$ es el efecto de la interacción entre latitud k y capacidad de bodega j .

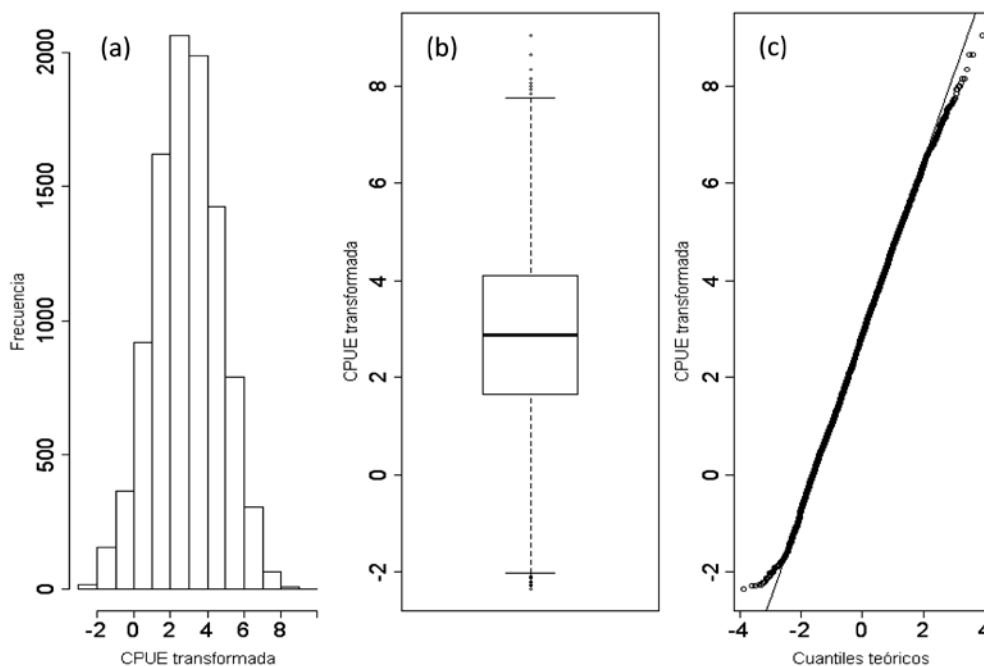


Figura 1.- Análisis de la distribución de la CPUE transformada: (a) Histograma de frecuencia; (b) Box-plot; (c) Gráfico Q-Q plot.

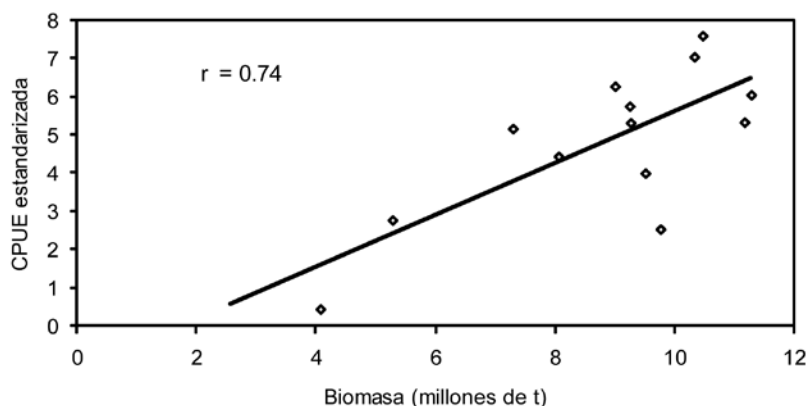


Figura 2.- Correlación entre la CPUE estandarizada de la flota anchovetera y la biomasa estimada por un modelo estadístico de captura a la edad.

El modelo final tuvo un nivel de ajuste de $R^2=0,485$, lo que significó que estuvo en capacidad de explicar casi la mitad de la variabilidad de la CPUE, siendo la capacidad de bodega (49,2%) y el año (19,7%) las variables que más influenciaron en el modelo. Dentro de las interacciones, la que tuvo mayor influencia fue año-mes (10,9%). Los residuos no mostraron una escala excesiva y se distribuyeron normalmente.

Finalmente se demostró que la CPUE estandarizada de la flota anchovetera se correlaciona de manera aceptable con la biomasa ($r= 0,74$) (Fig. 2).

Discusión

En un principio se esperó que la variable año sea la más influyente en el modelo, debido a que se considera que ésta explica las variaciones anuales puras de la abundancia del recurso (HERNÁNDEZ y PERROTA 2006). Así, mientras mayor sea la influencia del año en el modelo, menor será la influencia de las demás variables explicativas. Para el caso de anchoveta peruana, son las características relacionadas al barco las que aportan más en la explicación de la variabilidad de la CPUE. Las embarcaciones pesqueras siempre

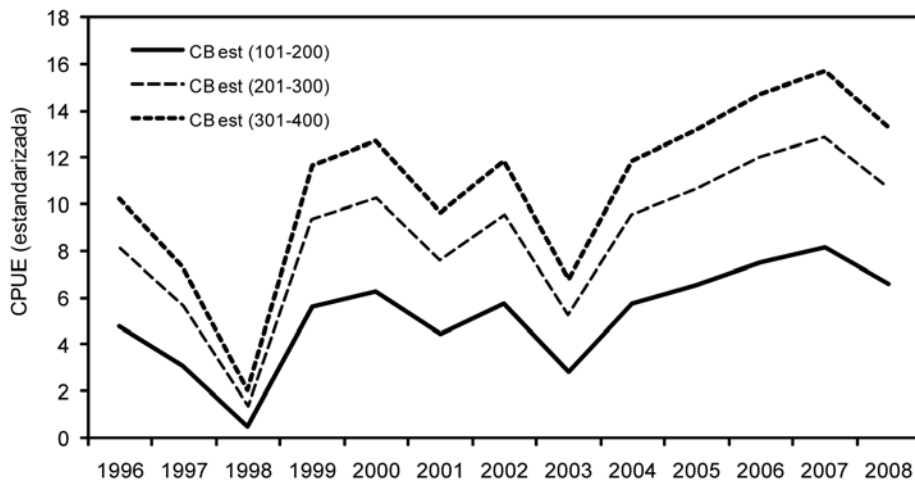


Figura 3.- Serie de la CPUE estandarizada tomando en cuenta diferentes flotas estándar: 101-200 m³ (—), 201-300 m³ (---), 301-400 m³ (-·-·-), durante el periodo de estudio.

tratan de llenar su bodega a totalidad y, debido a la alta especialización, los barcos que poseen una mayor capacidad de bodega obtendrán una mayor captura, así existiera poco recurso. Debido a esto no es recomendable el uso de una CPUE expresada en términos de esfuerzo nominal (e. g. días, barcos, viajes, etc.).

El 50% no explicado se debería a la falta de incorporación de variables ambientales como la TSM, y la profundidad a la que el cardumen se encuentre. La TSM puede representar una buena aproximación de las condiciones del ambiente, y la profundidad de la termoclina puede ejercer un efecto significativo sobre la CPUE. Sin embargo, muchos de estos efectos pueden quedar enmascarados por la modelación anual, por lo que también resulta recomendable introducir la estacionalidad en el modelo (PUNSLY 1987). Otros factores importantes que podrían explicar en gran medida la variabilidad del modelo, son los relacionados a la administración, capacidad y experiencia del personal que dirige la pesquería.

Para la estimación de la CPUE estandarizada, la elección de la flota estándar es bastante importante, sobre todo si en un futuro se pretende proporcionar valores corregidos de esfuerzo pesquero. El presente estudio plantea que la flota estándar para tratar la información del Programa Bitácoras de Pesca sea la comprendida entre 301-400 m³ de capacidad de bodega (Fig. 3). La mayoría de embarcaciones muestreadas por el programa se ubican dentro de este rango.

En términos generales, la CPUE estandarizada logró captar de manera bastante aceptable las fluctuaciones anuales en la biomasa de anchoveta. De acuerdo al

nivel de correlación entre la CPUE (t/horas de viaje) y la biomasa estimada por una fuente totalmente independiente, se puede proponer a ésta como un indicador alternativo de la biomasa de anchoveta.

Agradecimientos.- Se agradece al personal de la Universidad de Investigaciones en Dinámica Poblacional del IMARPE por sus valiosas sugerencias y a la Blga. MSc. Marilú Bouchon encargada del Programa Bitácoras de Pesca.

Referencias

- BARANOV IE. 1918. On the question of the biological basis of fisheries. *Izv.nauch.-issl. ikhtiol.Inst.* 1(1): 81-128.
- CSIRKE J. 1989. Changes in the catchability coefficient in the Peruvian anchoveta (*Engraulis ringens*) fishery. In D. Pauly, P. Muck, J. Mendo and I. Tsukayama. *ICLARM/IMARPE/GTZ*: 207-219 p.
- FAO (2008). State of world fisheries and aquaculture. FAO Fisheries and Aquaculture Department, FAO, Rome, 196p.
- HERNÁNDEZ D, PERROTA R. 2006. Influencia de las interacciones con el factor año en los índices anuales de abundancia obtenidos por modelos lineales generales utilizando datos de captura por unidad de esfuerzo. *Rev. Invest. Desarr. Pesq.* 18: 57-73.
- PUNSLY RG. 1987. Estimation of the relative annual abundance of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the eastern Pacific Ocean during 1970-1985. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. Bull.* 19: 265-306.
- ROSE GA, KULKA DW. 1999. Hyper aggregation of fish and fisheries: how catch-per-unit-increased as the northern cod (*Gadus morhua*) declined. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56 (Suppl. 1): 118 - 127.

PUBLICACIONES CIENTÍFICAS SERIADAS DEL INSTITUTO DEL MAR DEL PERU (IMARPE)

Boletín IMARPE Bol Inst Mar Perú ISSN 0458-7766 (BIMP)

Informe IMARPE Inf Inst Mar Perú ISSN 0378-7702 (IIMP)

INSTRUCCIONES A LOS AUTORES

En principio, sus páginas están abiertas a las investigaciones realizadas por el personal técnico y científico del propio Instituto del Mar del Perú (IMARPE), pero podrán aceptarse trabajos realizados en otras instituciones o laboratorios, autorizados por la Dirección Científica, previa calificación por Revisores Especializados y aceptación del Comité Editorial y del Editor. Se incluye también notas científicas, notas técnicas, reseñas bibliográficas y obituarios referidos a destacados investigadores marinos, peruanos y de otras nacionalidades.

MANUSCRITOS ORIGINALES

La solicitud para publicación de un trabajo deberá ser remitida a la sede del Instituto del Mar del Perú, dirigida al Director Científico. Los manuscritos deberán presentarse impresos en original, a una columna, y dos copias fotostáticas (incluyendo ilustraciones y tablas) en una sola cara en papel tamaño A4, a doble espacio y con márgenes amplios. Se acompañará además el disquete o CD. Los textos deberán seguir estrictamente la estructura adoptada en el último volumen de la publicación, o serán devueltos a los autores.

La primera página incluirá: (1) **TÍTULO DEL TRABAJO** (explícito, descriptivo y tan corto como sea posible), debajo, irá el título traducido al inglés; (2) **EL NOMBRE COMPLETO DEL AUTOR O LOS AUTORES** [(a) El autor debe decidir una forma definitiva de expresar su nombre, es decir no utilizar a veces los dos nombres de pila y los dos apellidos; otras veces sólo un nombre y un apellido; otras veces poner sólo iniciales para el segundo nombre y el segundo apellido; si esto cambia, en los registros y en las bases de datos, ya se trataría de autores diferentes; (b) se aconseja a los autores que generalmente utilizan sus dos apellidos, los unan mediante un guión]; también debe incluirse la dirección institucional, el domicilio y el correo electrónico, en notas al pie de página).

En las páginas siguientes, deberá ir un **RESUMEN** en español, incluyendo palabras clave y un **ABSTRACT** en inglés, incluyendo Keywords (Resúmenes en otros idiomas son opcionales). También debe incluirse el título abreviado sugerido para los encabezamientos de páginas impares. Las notas, reseñas bibliográficas, etc. no tendrán resúmenes.

Los **textos** deberán ser concisos, claros y directos, e incluirán usualmente una **INTRODUCCIÓN, MATERIAL Y MÉTODOS, RESULTADOS, DISCUSIÓN** (podría ser un solo capítulo, **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**) y **CONCLUSIONES**, además de **AGRADECIMIENTOS Y REFERENCIAS DE LITERATURA**.

Los nombres científicos deberán ser escritos en cursivas e irán acompañados por autor y familia cuando sean citados por primera vez en el texto. Los nombres científicos deben ser corroborados con cuidado.

Las medidas y sus abreviaturas deben corresponder al Sistema Internacional de Unidades (SI).

En las citas bibliográficas en el texto, los nombres de autores irán en letras **VERSALES**, seguidos por el año de publicación, p.ej. (GUEVARA-CARRASCO 2004), ESPINOZA Y ZEBALLOS (2004) o ESTRELLA et al. (2006).

En las **REFERENCIAS** se incluirán únicamente los artículos mencionados en el texto. Se ordenarán alfabéticamente por autor y cronológicamente para cada autor. Los títulos de publicaciones periódicas irán abreviados. Las referencias a libros o capítulos de libros deberán ser completas, incluyendo ciudad, editorial y paginación. En todos los casos, los nombres del autor principal y los colaboradores, en la relación de Referencias, se anotarán por el apellido y la inicial del nombre de pila, sin punto, solamente separado por coma; año de publicación; Título del artículo, Revista y número de páginas. Ejs.: DELGADO E, SÁNCHEZ S, CHANG F, VILLANUEVA P. 2001. Título artículo---Revista---Vol. (Núm.): pp.

En las referencias electrónicas, la norma general incluye también el nombre del autor, fecha de publicación en internet. Título del artículo o documento. <URL >. Fecha de acceso. Ejemplos:

-BROWNING T. 1997. Embedded visuals: student design in Web spaces. *Kairons: A Journal for Teachers of Writing in Webbed Environments* 3(1). <http://english.ttu.edu/kairons/2.1/features/browning/bridge.html>. Accessed 1997 Oct 21.

-KENNETH IA. 2000. A buddhist response to the nature of human rights. *Journal of Buddhist Ethics* 8(4). <http://www.cac.psu.edu/jbe.twocont.html>. Obtenido el 20 de febrero de 2001.

Se recomienda el tipo "arial", y su tamaño en el artículo variará de la siguiente manera:

Título en español, **14 NEGRA ALTA** (= mayúsculas) **centrado**.

Título en inglés, **12 NEGRA ALTA centrado**.

Autores: nombre, *12 cursiva blanca*; dirección 9 blanca, centrado.

RESUMEN y **CAPÍTULOS 12 negra, alta. Subcapítulo, 12 negra alta y baja** (mayúscula y minúscula), alineado a la izquierda. Texto en general 11 blanca, inicio de párrafos con sangría. Referencias de Literatura, en tipo 10 blanca.

Ilustraciones y tablas

Las fotografías, dibujos, gráficos y mapas serán considerados como **FIGURAS**, numeradas consecutivamente con guarismos arábigos. **Se recomienda remitir las ilustraciones y tablas como imágenes digitalizadas contenidas en archivos electrónicos (separadas del archivo conteniendo el texto).**

Si se tratara de dibujos, normalmente deberán ser efectuados con tinta china sobre papel Canson y montados sobre cartulina blanca. Las fotografías (a color, o blanco y negro) impresas en papel brillante (no mate) deberán ser nítidas y contrastadas, y serán montadas en cartulina blanca; no se recomienda la remisión de diapositivas. Cuando sea pertinente, la ilustración llevará una indicación del grado de aumento o reducción con respecto al original; se recomienda utilizar una barra en escala métrica e indicar el tamaño final con que deberá aparecer en la publicación (tomando en cuenta el tamaño de página del IIMP (A4). Toda ilustración deberá estar claramente identificada con nombres de autores, título del manuscrito y número de figura, anotando estos datos al reverso de la misma. Las leyendas para las ilustraciones, numeradas consecutivamente, irán en página aparte, luego del texto del artículo.

Las **TABLAS** deberán ir numeradas consecutivamente, con guarismos arábigos, e impresas en páginas aparte. Sus leyendas, numeradas consecutivamente, irán en página aparte, luego del texto del artículo.

25 sobretiros (o separatas) se entregarán gratuitamente a los autores; si se desea más sobretiros, el exceso les será cobrado.

Nota.- Debemos resaltar dos aspectos importantes:

1. **En el Sistema Internacional de Unidades (SI):** Algunos de los símbolos actuales aceptados son: **m** (metro), **cm** (centímetro), **mm** (milímetro), **km** (kilómetro), **g** (gramo), **ha** (hectárea), **mn** (milla náutica), **L** (litro), **mL** (mililitro), **W** (vatio), **kW** (kilovatio), **Hz** (hertzio), **kHz** (kilohertzio).
2. **En la escritura de cantidades:** - No debe usarse el punto decimal, sino la coma decimal. Ej. Un sol con cincuenta céntimos será S/. **1,50** (~~está mal si se escribe 1.50~~). Ver también a continuación.
 - Las cantidades de miles y millones, deben separarse por puntos, cada tres dígitos: Ejs. Oncemil quinientos soles con cincuenta céntimos será: S/. **11.500,50** (~~estará mal si se escribe 11,000.50~~)-
 - quince millones trescientos cincuenta mil y veinticinco céntimos se deberá escribir **15.350.000,25**
 - Cuando en un texto se tratan cifras con muchos ceros puede escribirse en letras. Ej. 1.000.000.000 (mejor escribir **mil millones**), o en vez de 100.000 escribir **cien mil**.

Cualquier consulta a eantonietti@imarpe.pe, o paguilar@imarpe.pe