



FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA

**INFORMES TECNICOS FIP**

FIP - IT / 96 - 10

INFORME : EVALUACION INDIRECTA DEL STOCK DE  
FINAL ANCHOVETA Y SARDINA COMUN EN LA ZONA  
CENTRO-SUR

UNIDAD : INSTITUTO DE INVESTIGACION PESQUERA  
EJECUTORA VIII REGION S.A.

**Instituto de Investigación Pesquera  
Octava Región S.A.**

**INFORME FINAL  
PROYECTO FIP N° 96-10**

**EVALUACION INDIRECTA DEL STOCK DE  
ANCHOVETA Y SARDINA COMUN  
EN LA ZONA CENTRO-SUR**

*Talcahuano, 1998.*

**TITULO DEL PROYECTO**

EVALUACION INDIRECTA DEL STOCK DE  
ANCHOVETA Y SARDINA COMUN  
EN LA ZONA CENTRO-SUR

**REQUIRENTE**

Fondo de Investigación Pesquera (FIP).

**EJECUTOR**

Instituto de Investigación Pesquera Octava Región S.A.

INSTITUTO DE INVESTIGACION PESQUERA

DEPARTAMENTO DE PESQUERÍAS  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN PESQUERA**  
**TALCAHUANO - CHILE**

**EQUIPO DE INVESTIGACION**

Luis Cubillos S.  
**Jefe de Proyecto e**  
**Investigador Responsable**

Ruben Alarcón M.  
Doris Bucarey  
Mariella Canales  
Pamela Sobarzo S.  
Lidia Vilugrón A.  
**Co-Investigadores**

Aldo Hernández  
Aquiles Sepúlveda O.  
Flor Véjar  
**Colaboradores**

**Instituto de Investigación Pesquera**  
Casilla 350, Talcahuano, Chile  
Fax: 56-41-583939  
Tel.: 56-41-584820 y 583741  
e-mail: [inpesca@arauco.reuna.cl](mailto:inpesca@arauco.reuna.cl)

## 1. RESUMEN EJECUTIVO

Este informe presentan los resultados del proyecto FIP 96-10 "Evaluación indirecta de los stocks de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur". El objetivo del estudio es realizar una evaluación indirecta del stock de anchoveta y sardina común en el litoral de las regiones V a VIII, planteándose los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar la pesquería de anchoveta y sardina común desarrollada en la zona centro-sur, Regiones V a VIII,
- Desarrollar un método de evaluación indirecta para los stocks de anchoveta y sardina común de la V a VIII Regiones, acorde a las características de la pesquería y de los recursos,
- Estimar la abundancia (en número) y la biomasa (en peso) de los stocks de anchoveta y sardina común en las Regiones V a VIII y sus respectivas varianzas asociadas, y
- Determinar el estado de situación de los stocks de anchoveta y sardina común, la tasa de explotación anual y los excedentes productivos anuales de los recursos en estudio.

Los resultados que se comunica en este informe se refiere al cumplimiento de la totalidad de los objetivos específicos. El informe se ha subdividido en capítulos con el objeto de facilitar la lectura, edición y temática involucrada.

### *1. Caracterización de la pesquería de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur*

#### *1.1. Capturas, esfuerzo y captura por unidad de esfuerzo*

Se analiza la evolución mensual de las capturas, del esfuerzo y de la captura por unidad de esfuerzo (cpue) de la flota que ha operado en la pesquería de sardina común (*Strangomera bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) de la zona centro-sur de Chile en el período comprendido entre enero de 1990 y julio de 1997. Con el objeto de utilizar los cambios en la tasa de captura (cpue) como índice de la abundancia relativa de estos recursos, se realiza una estandarización mediante el uso de un modelo lineal generalizado que incorpora la capacidad de bodega promedio, y como fuentes de variación fija el año, los meses y un factor denominado

"período" que da cuenta de la época invernal y estival. La estandarización utiliza el concepto de poder de pesca relativo, considerando a las embarcaciones del estrato 40-59 m<sup>3</sup> de capacidad de bodega como categoría patrón.

La estacionalidad de la pesquería se refleja en las capturas, en el tamaño de la flota que opera, en el esfuerzo de pesca y en la captura por unidad de esfuerzo, ocurriendo los mayores valores de estas variables durante la época estival (noviembre a abril). Interanualmente, el esfuerzo de pesca no presenta tendencias ni cambios significativos, pero sí la captura por unidad de esfuerzo lo que podría ser consecuencia de cambios tanto en la disponibilidad como en la abundancia de ambos recursos. Los cambios en la CPUE indican una tendencia decreciente desde comienzos de 1991 hasta fines de 1995. En 1996, ocurre una recuperación a niveles similares a los observados a comienzos de 1991, para nuevamente acusar una tendencia decreciente hasta mediados de 1997.

### 1.2. *Distribución espacio-temporal de la operación de la flota industrial*

Se analiza la distribución espacial de la flota industrial que orienta su esfuerzo de pesca hacia los recursos *Strangomera bentincki* y *Engraulis ringens* en el período comprendido entre octubre de 1996 y julio de 1997. En dicho período, la flota operó entre el norte de Carranza (35°S) y el sur de Corral (40°S) conformando 13 zonas de pesca, de las cuales entre 2 y 6 fueron visitadas mensualmente. La zona en que se registró el mayor número de viajes se localizó al noroeste de Corral (39°19'54"S; 73°41'53"W), representando un superficie de 1467 mn<sup>2</sup>. El centro de masa de las zonas de pesca identificadas presentan una alta estabilidad temporal, con desplazamientos temporales de muy baja escala y no superan las 14,6 mn de desplazamiento longitudinal y cerca de 7,2 mn en latitud. Los más altos rendimientos por unidad de área (>50ton/mn<sup>2</sup>) se registraron en las zonas de pesca ubicadas al sur de la Isla Mocha, particularmente en Corral.

### 1.3. *Aspectos Reproductivos*

Se determina la época de desove de sardina común y anchoveta y se estima la talla de primera madurez sexual utilizando indicadores reproductivos que cubren el período 1990-1997. Los indicadores reproductivos utilizados para determinar la época de desove son el índice

gonadosomático (IGS), el índice gonádico (IG), y la frecuencia temporal de hembras maduras e hidratadas (EMS III y IV, respectivamente). El período de mayor actividad reproductiva en la sardina común se extiende entre junio y septiembre, siendo la época de desove principal a fines del invierno (agosto). En el caso de la anchoveta, la mayor actividad reproductiva comienza en julio y se extiende hasta noviembre, siendo la época de desove a comienzos de primavera (septiembre). Además, en la sardina común es evidente la ocurrencia de un período reproductivo secundario al término del verano (febrero-marzo). La talla de primera madurez sexual se estimó en 10 cm para la sardina común y en 11,7 cm para la anchoveta en base al criterio del 50% de la fracción de hembras maduras.

#### 1.4. Estructura de tallas

Se analiza la estructura de tallas de sardina común y anchoveta en las capturas de la flota de cerco de la zona centro-sur en el período comprendido entre 1990 y 1997, con el objeto de determinar la época de reclutamiento y patrones estacionales del tamaño de grupos de peces que están siendo removidos por la pesca. En la sardina común se identifica una época de reclutamiento principal que se manifiesta en noviembre de cada año con la presencia de un grupo compuesto por ejemplares de tamaño modal de 6 a 7 cm de longitud total en las capturas. Estos ejemplares de alrededor de cuatro meses de edad provienen del período reproductivo principal que ocurre a fines del invierno (julio-agosto). Una vez ocurrido el reclutamiento, estos ejemplares son sucesivamente capturados por la flota, principalmente durante todo el período estival. En algunos años, y aparte del reclutamiento principal, se observa la ocurrencia de un reclutamiento en junio-julio, probablemente debido a la ocurrencia de un desove secundario a comienzos del período invernal (marzo-abril). La estructura de tamaños en las capturas de anchoveta es menos regular que el comportamiento y evolución de la estructura de tallas de sardina común. No obstante, se reconoce la presencia de una cohorte que ingresa a las capturas en los meses de mayo y junio.

#### 1.5. Relación longitud-peso

Se analiza la consistencia de la relación longitud-peso de sardina común y anchoveta a través del análisis de las constantes "a" y "b" en el período 1990-1997. Existe un alto grado de asociación entre las constantes de las relaciones longitud-peso, lo que impide utilizar los cambios en la

constante "a" como factor de condición ya que incrementos en esta constante están acompañados por incrementos en el coeficiente "b". Si se acepta la isometría para estas especies, entonces la relación longitud-peso para sardina común es  $P = 0,009L^3$  y  $P = 0,007L^3$  para la anchoveta, donde P es el peso total (gr) y L la longitud total (cm). Sin embargo, la hipótesis de isometría sólo se cumple en la sardina común, rechazándose en el caso de la anchoveta (alometría positiva,  $b=3,1$ ).

### 1.6. Crecimiento

Se estudia el crecimiento en longitud de sardina común y anchoveta mediante el análisis de datos mensuales de frecuencia de tallas que cubren el período 1990-1997. Las frecuencias de tallas se separaron en clases de edad mediante el programa MIX, cuyas tallas medias se ordenaron en el eje del tiempo para identificar el crecimiento de las cohortes. El crecimiento de sardina común y de anchoveta presenta oscilaciones estacionales en la tasa de crecimiento, siendo más pronunciadas en la sardina común. La tasa de crecimiento más baja ocurre en el período invernal especies, lo que se atribuye a las condiciones ambientales más la condición reproductiva de los peces, los cuales canalizarían más energía a la reproducción que al crecimiento. Los parámetros del modelo de von Bertalanffy que describen el crecimiento de sardina común son:  $L_{\infty} = 18,3$  cm;  $K=0,725$  año<sup>-1</sup>,  $t_0 = -0,356$  años,  $C=0,925$ ; y  $WP=0,365$  ( $r^2=0,959$ ;  $n=143$ ;  $p<0,05$ ); mientras que para el crecimiento de la anchoveta son:  $L_{\infty} = 20,52$  cm;  $K=0,486$  año<sup>-1</sup>,  $t_0 = -0,120$  años,  $C=0,826$ ; y  $WP=0,316$  ( $r^2=0,938$ ;  $n=97$ ;  $P<0,05$ ). La variabilidad interanual del crecimiento de cohortes distintas es muy baja en ambas especies, lo que conlleva a plantear que esta regularidad interanual en el crecimiento es el resultado de una estrategia adaptativa de estos pelágicos pequeños al sistema de surgencia costera estacional de la zona centro-sur de Chile, que consistiría en aprovechar la época de surgencias para crecer y la transición invierno-primavera para reproducirse.

### 1.7. Mortalidad natural

Se determina la tasa de mortalidad natural de sardina común y anchoveta con modelos empíricos y se evalúa la precisión de las estimaciones utilizando un bootstrap paramétrico, el cual es evaluado numéricamente mediante una aproximación Monte Carlo. Los modelos usados son: Pauly (1980), Rickhter y Efanov (1976), Taylor (1959), Alverson y Carney (1975), y Hoening

(1983). La tasa de mortalidad natural no presenta diferencias significativas entre los métodos, ni entre especies ya que los límites de confianza de 90% se sobreponen. La distribución de la tasa de mortalidad natural se distribuye log-normal, de tal manera que la mediana es el mejor estimador de tendencia central. Sin embargo, el promedio no fue muy diferente de la mediana lo que permite estimar un solo valor de  $M$  a través de un promedio ponderado por el inverso de la varianza. La tasa de mortalidad natural se estima en  $0,96 \text{ año}^{-1}$  [0,714; 1,284] para la sardina común y  $0,69 \text{ año}^{-1}$  [0,476;0,992] para la anchoveta.

## *2. Revisión de evaluaciones de stock pretéritas y desarrollo de un método de evaluación indirecta.*

### *2.1. Evaluaciones previas de sardina común y anchoveta*

Se revisa los principales métodos utilizados para evaluar indirectamente a los stocks de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur, reconociéndose los siguientes: a) Análisis de Población Virtual con pseudocohortes mensuales; (b) Análisis Secuencial de la Población (ASP) sintonizado, y (c) ASP calibrado bajo el esquema ADAPT. El primero tiene la ventaja de incorporar en la evaluación los procesos estacionales biológicos (i.e. crecimiento) como aquellos asociados al régimen operacional de la flota (i.e. capturas, esfuerzo). Sin embargo, la mayor desventaja de este método se encuentra en la débil etapa analítica y predictiva asociada a un problema de tratamiento y manipulación de los datos básicos. Los métodos (b) y (c) son edad-estructurados y se han sido aplicado considerando una base anual, escala de tiempo que no favorece a la interpretación adecuada de la dinámica del stock. Por otra parte, la propiedad de convergencia se ve seriamente comprometida ya que el número de grupos de edad en las capturas de sardina común es de sólo 4 (grupos de edad 0 al 3). Además, el comportamiento estacional de la pesquería es un componente que puede generar grandes errores en las cantidades estimadas ya que el supuesto de distribución uniforme de las capturas dentro del ciclo anual no se cumple, ni tampoco el supuesto de distribución uniforme de la mortalidad por pesca sobre el grupo de edad cero. La dinámica se ve seriamente mal interpretada con evaluaciones anuales ya que el grupo de edad cero recluta a fines de año (noviembre) mientras que la estimación anual con el ASP supone la

abundancia estimada a comienzos de año, es decir la abundancia del grupo de edad 0, al primero de enero, debería ser importante durante el resto del año, pero en realidad es el grupo de edad 1 el que sustenta la pesquería a lo largo del año.

## 2.2. *Desarrollo y validación de un método de evaluación indirecta.*

Se desarrolla un procedimiento metodológico para evaluar los stocks de sardina común y anchoveta en una escala de tiempo mensual utilizando conceptos y modelos estándar para el análisis y evaluación de pesquerías. La aproximación internaliza los procesos estacionales y las características propias de la pesquería, *i.e.* crecimiento estacional de los individuos, época de reclutamiento, corto ciclo de vida y la estacionalidad del régimen operacional. El método estima simultáneamente la abundancia sobreviviente de todas las clases anuales presentes en el período 1990-1997, reconstruye la abundancia, biomasa y mortalidad por pesca por mes, controlando el proceso de estimación con datos de esfuerzo y captura por unidad de esfuerzo. La eficiencia del método se evalúa utilizando una población simulada tipo sardina común, considerando dos procedimientos de estimación: "estimación controlada" por los datos de esfuerzo y "estimación controlada" por la captura por unidad de esfuerzo. Los resultados indican que el método es capaz de reconstruir la biomasa, la abundancia, y la tasa de mortalidad por pesca. La validación favorece el uso de una función objetivo que considera el esfuerzo de pesca para controlar la estimación de los parámetros desconocidos que permiten reconstruir la abundancia de las clases anuales.

## 3. *Evaluación indirecta y situación del stock de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur.*

### 3.1 *Evaluación indirecta.*

Se realiza una evaluación indirecta del stock de sardina común y anchoveta de la zona centro-sur reconstruyendo la abundancia mensual de las clases anuales presentes en el período comprendido entre julio de 1990 y julio de 1997. El modelo de evaluación supone que el reclutamiento ocurre

a la forma de un pulso, cuya abundancia posteriormente disminuye por pesca y mortalidad natural. La estimación de la abundancia sobreviviente de cada una de las cohortes se controla minimizando una suma de diferencias al cuadrado entre datos observados y estimados del esfuerzo de pesca y de la captura por unidad de esfuerzo estándar. Se utilizó el algoritmo Newton para la minimización no lineal. La biomasa de sardina común y anchoveta manifiesta un comportamiento estacional con valores máximos en primavera-verano y mínimos en invierno. Interanualmente, la biomasa promedio anual de sardina presenta una disminución sostenida desde niveles de 1 millones de ton en 1991 hasta alcanzar cerca de 400 mil ton en 1995. En 1996 y 1997 la biomasa promedio se recupera a niveles por sobre el millón de toneladas. En el caso de la anchoveta, la biomasa promedio anual fue del orden de 350 mil ton entre 1991 y 1992, se incrementó a 680 mil ton en 1994 y luego comenzó a disminuir hasta alcanzar cerca de 500 mil ton en 1997 (primer semestre). La tasa de explotación en el primer semestre de 1997 se estima en 27,9% para la sardina común y en 31,7% para la anchoveta, siendo éstas las más altas en el período de estudio.

### 3.2 *Situación actual del recurso.*

Se compara la mortalidad por pesca actual, en el período 1990-1997, con mortalidades por pesca de referencia asociadas a puntos biológicos de referencia, así como la magnitud de las capturas actuales respecto de los excedentes productivos anuales. Desde el punto de vista de la intensidad de pesca la mortalidad por pesca actual es inferior a la tasa de mortalidad por pesca  $F_{0,1}$  y  $F_{40\%SPR(F=0)}$  y sólo en el primer semestre de 1997 la tasa de mortalidad por pesca se acerca a estos puntos biológicos de referencia, lo que indica que no hay riesgos de sobreexplotación por reclutamiento en estas pesquerías. No obstante, la forma de la curva de rendimiento sugiere que la intensidad de pesca está concentrada sobre la fracción juvenil, ya que la mayor intensidad de pesca ocurre en primavera-verano cuando ocurre el reclutamiento. Si la intensidad de pesca se incrementa significativamente, el problema de la sobreexplotación por crecimiento podría generar una disminución en el tamaño del stock desovante, y los efectos de la sobreexplotación por reclutamiento podrían manifestarse. En relación con los excedentes productivos, éstos son positivos durante el segundosemestre de cada año, en ambos recursos. Considerando la escala anual (calendario), los excedentes productivos están mejor relacionados con las capturas anuales

del año siguiente. Se observa que la pesquería está operando en niveles muy cercanos a los excedentes productivos, de tal manera que la situación de la pesquería de sardina común y anchoveta se puede considerar como de explotación plena.

## 2. INDICE GENERAL

1. RESUMEN EJECUTIVO.....	4
2. INDICE GENERAL.....	12
5. ANTECEDENTES.....	14
6. OBJETIVO GENERAL.....	14
7. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	14
8. METODOLOGÍA.....	15
CAPITULO 1.....	16
<i>CARACTERIZACIÓN DE LA PESQUERÍA DE ANCHOVETA Y SARDINA COMÚN EN LA ZONA CENTRO-SUR</i> .....	16
1.1. CAPTURAS, ESFUERZO Y CAPTURA POR UNIDAD DE ESFUERZO.....	17
<i>Capturas, esfuerzo y captura por unidad de esfuerzo</i> .....	18
<i>en la pesquería de sardina común y anchoveta</i> .....	18
<i>de la zona centro-sur de Chile</i> .....	18
1.2. DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA OPERACIÓN DE LA FLOTA INDUSTRIAL.....	38
<i>Distribución espacio-temporal de la</i> .....	39
<i>operación de la flota industrial (1996-1997)</i> .....	39
1.3. ASPECTOS REPRODUCTIVOS.....	58
<i>Epoca reproductiva y talla de primera madurez</i> .....	59
<i>sexual de sardina común y anchoveta en</i> .....	59
<i>la zona centro-sur de Chile</i> .....	59
1.4. ESTRUCTURA DE TALLAS.....	76
<i>Estructura de tallas de sardina común y</i> .....	77
<i>anchoveta en las capturas de la zona centro-sur</i> .....	77
<i>de Chile (1990-1997)</i> .....	77
1.5. RELACIÓN LONGITUD-PESO.....	106
<i>Relación longitud-peso de la sardina común y</i> .....	107
<i>Anchoveta de la zona centro-sur de Chile</i> .....	107
1.6. CRECIMIENTO.....	115
<i>Crecimiento de sardina común y anchoveta</i> .....	116
<i>en la zona centro-sur de Chile, 1990-1997</i> .....	116
1.7. MORTALIDAD NATURAL.....	140
<i>Estimación de la tasa de mortalidad natural de</i> .....	141
<i>sardina común y anchoveta</i> .....	141
<i>con modelos empíricos</i> .....	141
CAPITULO 2:.....	158
<i>REVISIÓN DE EVALUACIONES DE STOCK PRETÉRITAS Y DESARROLLO DE UN MÉTODO DE EVALUACIÓN INDIRECTA</i> .....	158
2.1. EVALUACIONES PREVIAS DE SARDINA COMÚN Y ANCHOVETA.....	159
<i>Revisión de los métodos y evaluaciones pretéritas</i> .....	160
<i>del stock de sardina común y anchoveta</i> .....	160

<i>de la zona centro-sur de Chile</i> .....	160
2.2. DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UN MÉTODO DE EVALUACIÓN INDIRECTA.....	173
<i>Un método de evaluación indirecta para sardina</i> .....	174
<i>común y anchoveta de la zona centro-sur</i> .....	174
<i>de Chile: Planteamiento y validación</i> .....	174
<b>CAPITULO 3:</b> .....	<b>189</b>
<b><i>EVALUACIÓN INDIRECTA Y SITUACIÓN DEL STOCK DE ANCHOVETA Y SARDINA COMÚN EN LA ZONA CENTRO-SUR.</i></b> .....	<b>189</b>
3.1 EVALUACIÓN INDIRECTA.....	190
<i>Evaluación indirecta del stock de sardina común y</i> .....	191
<i>anchoveta de la zona centro-sur de Chile</i> .....	191
3.2 SITUACIÓN ACTUAL DEL RECURSO.....	223
<i>Situación actual del stock de anchoveta</i> .....	224
<i>y de sardina común en la zona</i> .....	224
<i>centro-sur de Chile (1990-1997)</i> .....	224
<b>CAPITULO 4:</b> .....	<b>240</b>
<b><i>SINTÉSIS Y PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE ANCHOVETA Y SARDINA COMÚN EN LA ZONA CENTRO-SUR.</i></b> .....	<b>240</b>
<i>Síntesis y perspectivas de investigación para</i> .....	241
<i>la evaluación de anchoveta y sardina común</i> .....	241
<i>en la zona centro-sur</i> .....	241
<b>ANEXO</b> .....	<b>249</b>
<b><i>ELABORACIÓN DEL MODELO DE EVALUACIÓN EN LENGUAJE COMPUTACIONAL, DEBIDAMENTE VALIDADO Y ESTADÍSTICAMENTE FUNDADO</i></b> .....	<b>249</b>
<i>Elaboración del modelo de evaluación</i> .....	250
<i>en lenguaje computacional</i> .....	250

## 5. ANTECEDENTES

Las pesquerías de anchoveta y sardina común que se desarrolla en la zona centro-sur se caracterizan por una actividad extractiva conjunta de la flota artesanal e industrial, estas pesquerías actualmente se encuentran en un régimen indirecto de control de acceso, dado que estos recursos son considerados fauna acompañante de una especie en plena explotación.

El Consejo de Investigación Pesquera decidió incluir el presente proyecto en el Programa de Investigación 1997 en sesión N° 41 del 18 de enero de 1996, con el objeto de conocer el estado de situación de la población de sardina común y anchoveta en el litoral de la V a IX Regiones.

## 6. OBJETIVO GENERAL

Realizar una evaluación indirecta del stock de anchoveta y sardina común en el litoral de las regiones V a VIII.

## 7. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 6.1. Caracterizar la pesquería de anchoveta y sardina común desarrollada en la zona centro-sur, Regiones V a VIII.
- 6.2. Desarrollar un método de evaluación indirecta para los stocks de anchoveta y sardina común de la V a VIII Regiones, acorde a las características de la pesquería y de los recursos.
- 6.3. Estimar la abundancia (en número) y la biomasa (en peso) de los stocks de anchoveta y sardina común en las Regiones V a VIII y sus respectivas varianzas asociadas.
- 6.4. Determinar el estado de situación de los stocks de anchoveta y sardina común, la tasa de explotación actual y los excedentes productivos anuales de los recursos en estudio.

## 8. Metodología

Con el objeto de facilitar la elaboración, lectura y análisis del presente informe, se considera desarrollar los objetivos específicos a la forma de capítulos. Estos capítulos abarcan todos los aspectos comprometidos en la oferta técnica y son los siguientes:

Capítulo 1: Caracterización de la pesquería de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur de Chile.

Capítulo 2. Desarrollo de un método de evaluación indirecta para sardina común y anchoveta.

Capítulo 3. Evaluación indirecta y situación del stock de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur.

Se agrega un capítulo final, donde se realizará una síntesis de los capítulos en forma integrada y se plantea la dirección que debe llevar la investigación con el objeto de desarrollar una mejor comprensión de la dinámica de los stocks de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur, así como las implicancias para la evaluación de stock y el manejo de la pesquería.

## CAPITULO 1

*Caracterización de la pesquería de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur*

1.1. *Capturas, esfuerzo y  
captura por unidad de  
esfuerzo*

# Capturas, esfuerzo y captura por unidad de esfuerzo en la pesquería de sardina común y anchoveta de la zona centro-sur de Chile

Luis Cubillos, Mariella Canales, Aldo Hernández

## Resumen Ejecutivo

Se analiza la evolución mensual de las capturas, del esfuerzo y de la captura por unidad de esfuerzo (cpue) de la flota que ha operado en la pesquería de sardina común (*Strangomera bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) de la zona centro-sur de Chile en el período comprendido entre enero de 1990 y julio de 1997. Con el objeto de utilizar los cambios en la tasa de captura (cpue) como índice de la abundancia relativa de estos recursos, se realiza una estandarización mediante el uso de un modelo lineal generalizado que incorpora la capacidad de bodega promedio, y como fuentes de variación fija el año, los meses y un factor denominado "período" que da cuenta de la época invernal y estival. La estandarización utiliza el concepto de poder de pesca relativo, considerando a las embarcaciones del estrato 40-59 m<sup>3</sup> de capacidad de bodega como categoría patrón.

La estacionalidad de la pesquería se refleja en las capturas, en el tamaño de la flota que opera, en el esfuerzo de pesca y en la captura por unidad de esfuerzo, ocurriendo los mayores valores de estas variables durante la época estival (noviembre a abril). Interanualmente, el esfuerzo de pesca no presenta tendencias ni cambios significativos, pero sí la captura por unidad de esfuerzo lo que podría ser consecuencia de cambios tanto en la disponibilidad como en la abundancia de ambos recursos. Los cambios en la CPUE indican una tendencia decreciente desde comienzos de 1991 hasta fines de 1995. En 1996, ocurre una recuperación a niveles similares a los observados a comienzos de 1991, para nuevamente acusar una tendencia decreciente hasta mediados de 1997.

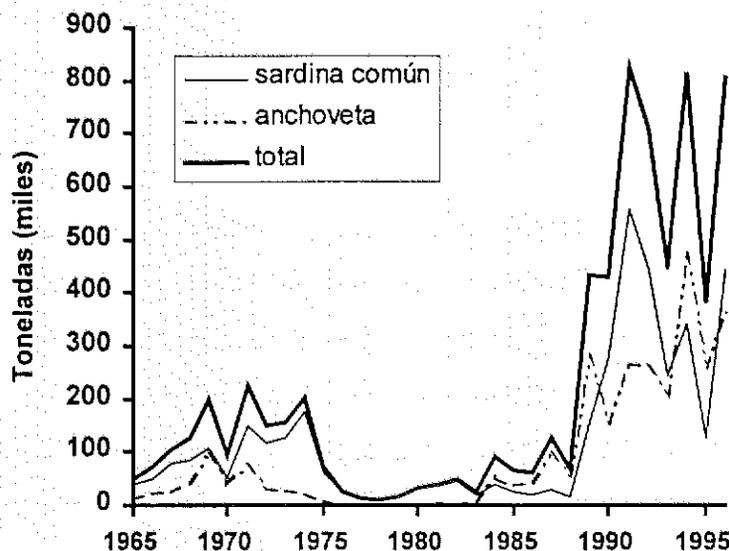
**Introducción**

En el área frente a Talcahuano se desarrolla una importante actividad pesquera industrial y artesanal sobre peces pelágicos, desembarcándose principalmente jurel, *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols), y secundariamente sardina común, *Strangomera bentincki* Norman (1936), y anchoveta, *Engraulis ringens* Jenyns (1842). No obstante la importancia de *T. s. murphyi*, cuyas capturas han sido crecientes

desde comienzos de la década de los años 80 hasta la actualidad, desde un nivel inferior a las 200 mil toneladas antes de 1980 hasta alcanzar 3,8 millones de toneladas en 1995, los desembarques de *S. bentincki* y *E. ringens* han presentado siempre un comportamiento fluctuante (Figura 1). En

1989, por primera vez el desembarque de estas dos especies supera los niveles máximos registrados en la historia de la pesquería, manteniéndose en la década de los años 90 por sobre las 400 mil toneladas anuales y lográndose desembarques máximos en 1991, 1992, 1994 y 1996 (Figura 1).

El propósito de este estudio es analizar el comportamiento de las capturas y el régimen operacional de la flota, estandarizar el esfuerzo de pesca y caracterizar los cambios estacionales e interanuales en la abundancia relativa de *S. bentincki* y *E. ringens* ocurridos durante el período 1990-1997, utilizando como índice de abundancia la captura por unidad de esfuerzo (CPUE).



**Figura 1.** Evolución del desembarque anual de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur de Chile (Fuente: SAG (1965-1977) y SERNAPESCA (1978-1996).

## Materiales y Métodos

### Area de estudio.

El área de estudio corresponde a aquella donde opera preferentemente la flota artesanal e industrial que dirige su esfuerzo de pesca hacia *S. bentincki* y *E. ringens*, cuya extensión se puede considerar entre los 34°50'S y 38°30'S (Cubillos & Arancibia, 1993a,b).

### Información.

Se utiliza información de capturas mensuales en peso (toneladas) desembarcadas por la flota sardinera-anchovetera en puertos de la Octava Región, así como la actividad de cada embarcación participante en la pesquería. Esta información fue obtenida de los registros diarios que llevan las empresas pesqueras de la V y VIII Región, la que fue recopilada directamente por personal del Instituto de Investigación Pesquera (INPESCA). Esta información fue digitada y procesada, utilizando planillas electrónicas y programas computacionales que han permitido conformar una base de datos *ad hoc*.

En los registros de las empresas pesqueras, se detalla la operación y descarga de cada embarcación, permitiendo conocer la captura total, por especie y el esfuerzo de pesca desarrollado en términos de viajes con pesca. Otra medida de esfuerzo, tales como viajes totales o días fuera de puerto, sólo es posible obtenerla para las embarcaciones de la flota industrial (i.e., capacidad de bodega  $\geq 100 \text{ m}^3$ ), excluyendo las naves artesanales o de pequeños armadores que sólo venden la pesca a la industria. Así, la cuantificación de viajes con pesca fue la única medida disponible para evaluar el tiempo de operación de la flota total que actúa sobre *S. bentincki* y *E. ringens*.

En este estudio se utiliza el concepto de captura y no de desembarque. Las capturas utilizadas se basan en los registros que llevan las empresas pesqueras por embarcaciones y no en la estadística oficial de desembarque que publica el Servicio Nacional de Pesca. Las capturas por especie se

determinan utilizando la proporción relativa en peso de cada especie, cuya información es obtenida rutinariamente por personal del INPESCA a partir de muestreos diarios de proporción de especie y de frecuencia de tamaños en las capturas de estos clupeiformes en los principales puertos de la Octava Región, (Talcahuano, San Vicente, Coronel, Lota y Tomé).

**Esfuerzo de pesca.**

El esfuerzo nominal de pesca se define como el conjunto de "medios" utilizados por cada unidad de pesca para obtener una captura dada en un período de tiempo determinado. Esto implica, además, que el esfuerzo de pesca que desarrolla una embarcación está definido por el producto entre poder de pesca absoluto de ésta y el tiempo de operación (Caballero *et al.*, 1992). Por lo tanto, el esfuerzo de pesca total de la flota corresponde a la suma del esfuerzo desarrollado por cada embarcación en un período de tiempo más largo.

No obstante, en vista que la tasa de captura (captura por tiempo de operación) de cada unidad de pesca puede variar con las fluctuaciones de la abundancia, la disponibilidad del recurso, y además por el poder de pesca absoluto de cada embarcación, el esfuerzo de pesca nominal se estandariza con el objeto de eliminar sesgos debido a la probable distribución diferencial del esfuerzo de pesca entre embarcaciones.

Como el poder de pesca absoluto de cada embarcación normalmente es imposible de determinar, se utilizó el concepto de poder de pesca relativo (PPR) que se define como la razón entre las tasas de captura de cada unidad de pesca respecto de otra(s) considerada(s) como patrón (Kimura, 1981), *i.e.*

1)... 
$$PPR_i = \frac{R_i}{R^*}$$

donde  $PPR_i$  es el poder de pesca relativo del barco  $i$ ,  $R_i$  es la tasa de captura del barco " $i$ ", y  $R^*$  es la tasa de captura del barco patrón o estándar (captura por tiempo de operación).

De esta manera, el esfuerzo de pesca estándar ( $E^*_{it}$ ) del barco  $i$  durante el período de tiempo  $t$  (mes), corresponde al producto entre el esfuerzo de pesca nominal ( $E_{it}$ ) y el poder de pesca relativo del barco  $i$ , *i.e.*,

$$2)... \quad E^*_{it} = E_{it} PPR_i$$

### **Análisis de las tasas de captura anuales.**

Los factores que condicionan el poder de pesca son de naturaleza variada, tal como las características físicas de cada unidad de pesca, de los artes de pesca, de la tripulación, del comportamiento, disponibilidad y vulnerabilidad del stock, así como a los cambios asociados al hidroclima (Yáñez & Maritano, 1983). Sin embargo, usualmente son las características físicas de las embarcaciones las que mejor se relacionan con el poder de pesca (Caballero *et al.*, 1992).

De acuerdo con Shimada & Schaefer (1956), usualmente la capacidad de bodega ( $CB$ ,  $m^3$ ) de una flota heterogénea se utiliza para categorizar por tamaños, ya que es una variable que normalmente se correlaciona significativamente con otras variables geométricas y funcionales de las embarcaciones. En este estudio, se analizó la incidencia de la capacidad de bodega sobre las tasas de captura anuales de cada embarcación utilizando el siguiente modelo de regresión

$$3)... \quad \text{Ln}(R_i) = \text{Ln}\left(\frac{C_i}{VCP_i}\right) = \text{Ln}(a) + b\text{Ln}(CB_i) + \varepsilon$$

donde el subíndice "i" denota la  $i$ -ésima embarcación,  $R$  es la tasa de captura anual (captura por tiempo de operación),  $C$  es la captura anual,  $VCP$  son los viajes con pesca acumulados en el período de tiempo,  $a$  y  $b$  son constantes de regresión;  $CB$  es la capacidad de bodega de la  $i$ -ésima embarcación; y  $\varepsilon$  es una variable error con promedio cero y varianza constante.

No obstante, debido a los cambios estacionales propios en esta pesquería (Cubillos *et al.*, en revisión), tanto en lo que a la composición de la flota concierne como a la estacionalidad de los rendimientos, del esfuerzo de pesca y de las capturas, se utilizó modelos lineales generalizados para analizar las tasas de captura (Allen & Punsley, 1984; Hilborn & Walters, 1992). Para ello, las embarcaciones fueron agrupadas en estratos de capacidad de bodega (Tabla 1) entre los cuales se evaluó la representatividad a lo largo de la serie de tiempo en base a número de naves, capturas y esfuerzo.

**Tabla 1.** Estratos de Capacidad de Bodega utilizados en el análisis de la captura y rendimiento de pesca.

Rango de CB	Marca de Clase	Estrato
0-19	10	1
20-39	30	2
40-59	50	3
60-79	70	4
80-99	90	5
100-159	130	6
160-219	190	7
220-279	250	8
280-339	310	9
340-399	370	10
400-499	450	11
500-599	550	12
600-699	650	13
>700	750	14

Para determinar el esfuerzo de pesca estándar aplicado a los recursos sardina común y anchoveta en el área de Talcahuano se utilizó un modelo logaritimizado que consideró como variable dependiente a la tasade captura por estrato de capacidad de bodega entre 1990 y 1997, y como variables independientes a la capacidad de bodega promedio por estrato de embarcaciones (CB), el año, el mes, el "período" (invernal o estival), y las interacciones entre ellas (Tabla 2).

**Tabla 2.** Variables de entrada al modelo aditivo logaritimizado para el análisis de las tasas de captura (=Ln(cpue)).

Variable	Simbología	Interacciones
Ln(CB)	B	B
Año	C	B*C
Período	D	B*C*D
Mes	E	B*C*D*E
		C
		C*D
		C*D*E
		D
		D*E
		E

La evaluación de las interacciones que aportaron significativamente se realizó mediante una regresión paso a paso (stepwise) utilizando  $\alpha=0,05$ . Los efectos año, mes y período no fueron logaritimizados, ya que sólo se consideran como indicadores de cambio entre un período de tiempo y otro. Al

respecto, los años fueron numerados consecutivamente desde 1990=1 a 1997=8, el mismo procedimiento se aplicó para los meses del año (enero=1, febrero=2,..., etc.) y para el período (abril-septiembre=1; octubre-marzo=2).

### **Elección del estrato patrón.**

Con el objeto de seleccionar el estrato patrón se consideró los siguientes requisitos: (i) participación permanente en la pesquería, al menos desde 1990, (ii) cobertura espacial durante el desempeño de las operaciones de pesca, (iii) características tecnológicas similares entre ellas; y (iv) representatividad en la pesquería, tanto en número como en la magnitud de las capturas obtenidas.

### **Aspectos operacionales de la flota.**

La operación de la flota se analizó teniendo en cuenta el número de embarcaciones por tipo de flota que opera por mes y año, estructura de la flota, en términos de la capacidad de bodega promedio. Además, se analiza las relaciones entre variables, estructurales y operacionales de la flota industrial que orientó su esfuerzo de pesca hacia los clupeiformes entre 1996 y 1997.

Resultados

Desembarque, capturas y régimen operacional.

De acuerdo con cifras oficiales del Servicio Nacional de Pesca, en el período 1990-1996 el desembarque de sardina común y anchoveta ha sido fluctuante, siendo los períodos con desembarques anuales más bajos del orden de las 380 a 400 mil toneladas en los años 1990, 1993 y 1995; mientras que los desembarques altos alrededor de las 800 mil toneladas han ocurrido en 1991, 1992, 1994 y 1996 (Figura 2).

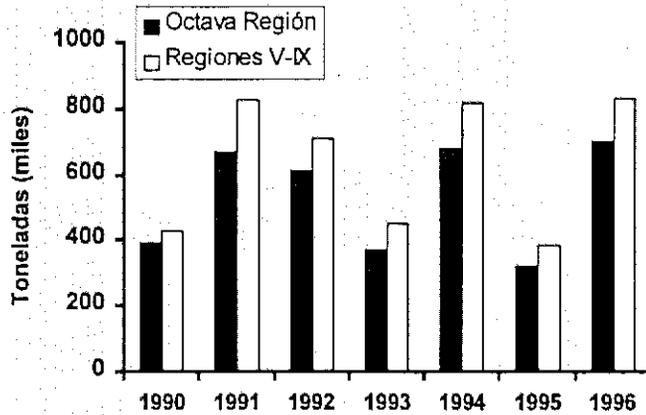


Figura 2. Desembarque total anual de sardina común y anchoveta en la Octava Región y en la zona centro-sur (Regiones V-IX) en el período 1990-1996 (Fuente: SERNAPESCA).

En 1997, el desembarque de ambos recursos en la Octava Región alcanza a 585.774 mil toneladas al 31 de julio, lo que implica una variación positiva de 17,2% en relación con igual período de 1996. Si se asume que las capturas en lo que queda del año serán iguales a las de 1996, entonces el desembarque total en 1997 podría llegar a ser del orden de 790 mil toneladas (12% más que en 1996). El mayor aporte a los desembarques en esta pesquería se debe a la sardina común. Así ha ocurrido en los períodos 1990-1994 y en 1996-1997, mientras que el desembarque de anchoveta solamente ha equiparado y superado al de sardina común en 1994 y 1995 respectivamente (Figura 3).

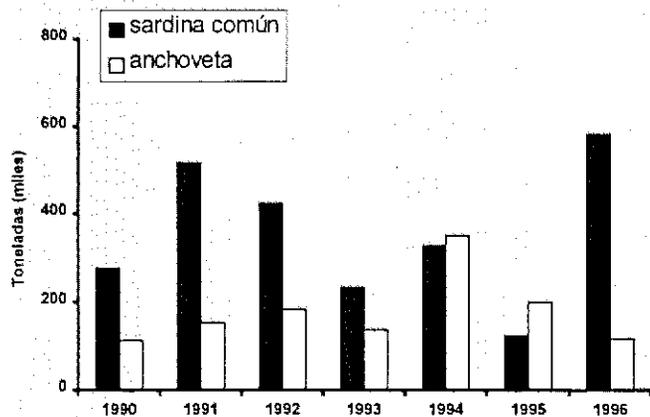
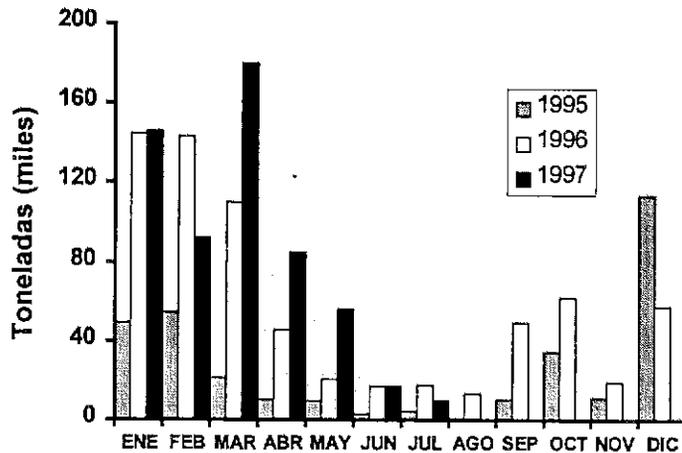


Figura 3. Desembarque anual de sardina común y anchoveta en la Octava Región en el período 1990-1996.



**Figura 4.** Evolución mensual de los desembarques de sardina común y anchoveta en la Octava Región en el período 1995-1997.

Una de las características de la pesquería de sardina común y anchoveta es la marcada estacionalidad, con las mayores capturas durante la época estival (noviembre- abril) (Figura 4). En 1997, el mayor desembarque ocurrió en marzo y a partir de este mes, hasta mayo, se mantuvo por sobre los niveles logrados en 1996 (Figura 4).

Esto se debió básicamente a las vedas implementadas para evitar la captura

de ejemplares de jurel bajo la talla mínima legal de captura de 26 cm, cuya gran disponibilidad en las zonas de pesca afectó el normal desarrollo de esa pesquería. Una fracción significativa de las naves industriales cambio redes jureleras por anchoveteras y oriento el esfuerzo de pesca hacia los pelágicos pequeños, principalmente en las zonas de pesca ubicadas en Queule y Corral (ver Aquiles et al., 1997 en este informe).

**Número de embarcaciones**

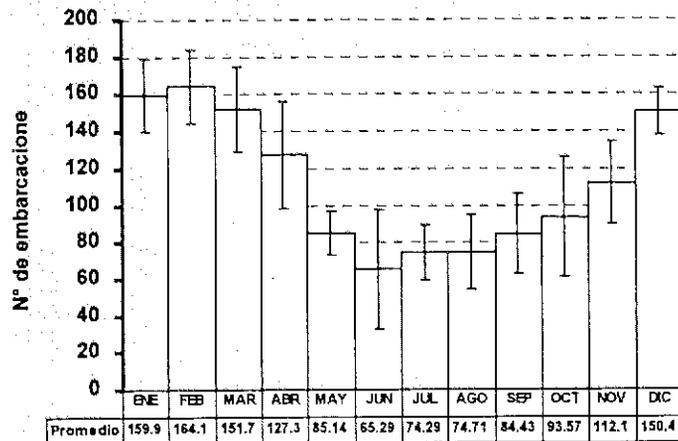
Entre 1990 y 1996, en la pesquería de sardina común y anchoveta han operado entre 223 y 261 embarcaciones por año, de las cuales entre 74% y 80% corresponde a embarcaciones menores a los 80 m<sup>3</sup> de capacidad de bodega (Tabla 3).

**Tabla 3.** Número de embarcaciones de la flota de cerco que ha operado en la pesquería de sardina común y anchoveta, con puertos base en la VIII Región.

Año	Flota < 80 m <sup>3</sup> CB	Flota ≥ 80 m <sup>3</sup> CB	TOTAL
1990	164	59	223
1991	178	60	238
1992	181	56	247
1993	207	54	261
1994	182	61	243
1995	173	59	232
1996	140	97	239

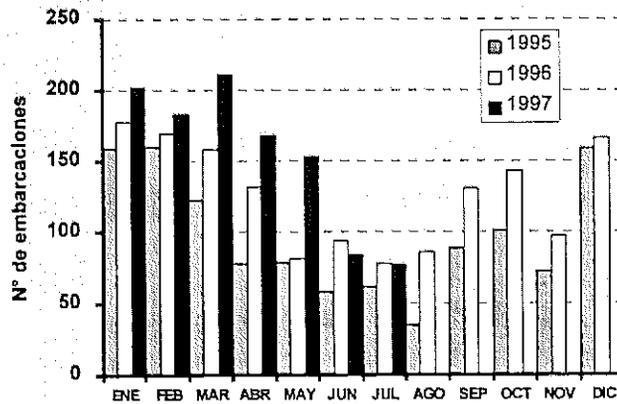
El tamaño de la flota que opera en la pesquería de sardina común y anchoveta exhibe un comportamiento estacional, con un mayor número de embarcaciones durante la época estival. Entre diciembre y abril operan en promedio más de 100 embarcaciones por mes, reduciéndose a un rango entre 65 y 85 embarcaciones operando en la pesquería durante la época invernal (Figura 5a).

a)



En 1997, el mayor número de embarcaciones que operó en la pesquería ocurrió en marzo con 211 embarcaciones, manteniéndose por sobre las 150 unidades hasta mayo del mismo año (Figura 5b). El mayor número de unidades de pesca operando en la pesquería de sardina común y anchoveta entre marzo y mayo de 1997 se debió a las vedas implementadas para la pesquería del jurel.

b)



**Figura 5.** Número de embarcaciones que opera en la pesquería de sardina común y anchoveta; a) número promedio ( $\pm 1$  desviación estándar) en el período 1990-1996; b) número de embarcaciones que ha operado por mes entre 1995 y 1997.

El análisis del régimen operacional por estratos de embarcaciones, en términos del número de barcos, capturas y esfuerzo, revelan que el estrato de capacidad de bodega de 50 m<sup>3</sup> es el que posee la mayor representividad en la serie de tiempo analizada, con una alta predominancia en número, alcanzando casi al 40% del total de embarcaciones. En cuanto a los niveles de captura y viajes con pesca (VCP), nuevamente el estrato de 50 m<sup>3</sup> es el que registra la mayor constancia en la operación entre 1990 y 1997 (Figura 6).

**Relaciones entre variables funcionales, estructurales y operacionales de la flota industrial**

Las características más relevantes de las unidades de pesca de la flota industrial que ha operado en 1996 y 1997 sobre sardina común y anchoveta, son: la capacidad de bodega (CB) y la potencia continua del motor principal (HP) como variables funcionales, el

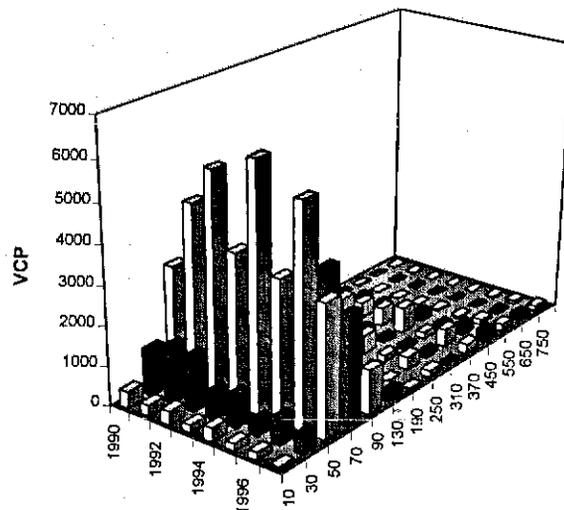
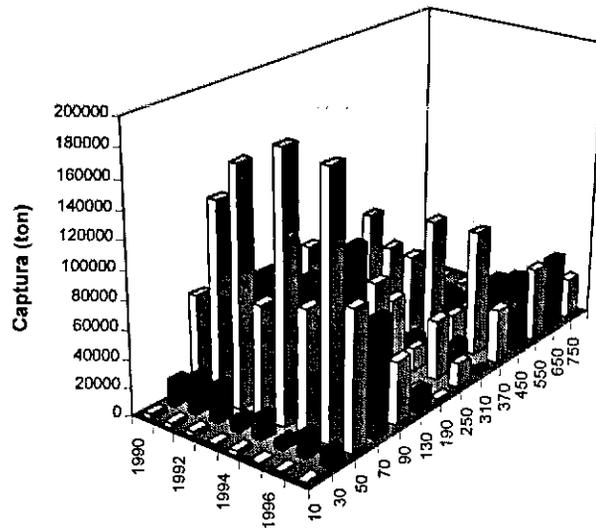
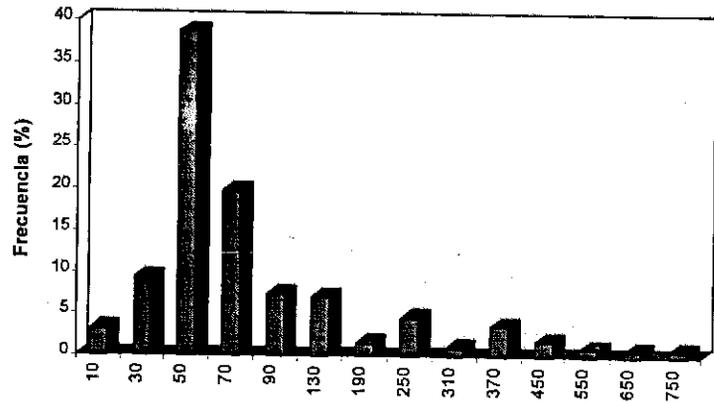


Figura 6. Frecuencia porcentual total, capturas y viajes con pesca (VCP) anuales por estratos de capacidad de bodega.

número cúbico (CUNO) y el tonelaje de registro grueso (TRG) como variables geométricas, y la longitud de la relinga superior de la red (LRS) como variable operacional (Figura 7). Estos resultados concuerdan en cierta medida con los obtenidos por Caballero *et al.* (1992), Böhm *et al.* (1992) y Arancibia *et al.* (1995), quienes analizan la flota industrial de cerco que se dedica al jurel principalmente. Las relaciones entre pares de variables revelan altas correlaciones, siendo la relación CB-LRS de tipo no lineal. Se observa que las embarcaciones mayores de 600 m<sup>3</sup> de CB tienden a mantener longitudes de relinga similares (Figura 7).

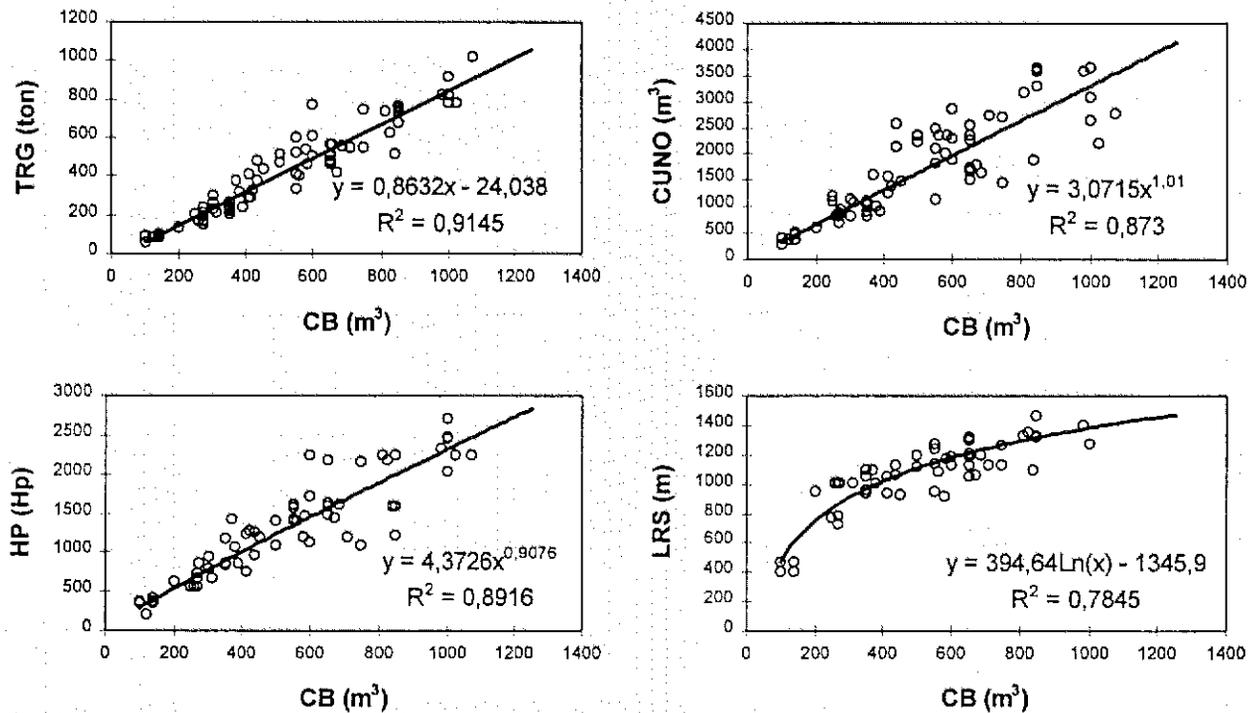


Figura 7. Principales relaciones entre la fracción de la flota industrial de cerco que ha operado más de un mes en la pesquería de sardina común y anchoveta de la zona centro-sur en 1996 y 1997.

### Análisis de las tasas de captura

Las tasas de captura anuales de cada embarcación se relacionan significativamente con la capacidad de bodega de la misma (Tabla 4, Figura 8). Se destaca que las relaciones sólo se han establecido con las embarcaciones a las cuales efectivamente se les conoce la capacidad de bodega, siendo una fracción significativa del total (Tabla 3 y 4). De acuerdo con las relaciones

encontradas, se tiene que el coeficiente de regresión es distinto de la unidad en todos los años, excepto en 1995; asimismo, solamente el intercepto de la relación en 1994 y 1996 no es significativamente diferente de cero (Tabla 4). Un análisis de covarianza para estas relaciones, considerando el año como fuente de variación, indica que al menos un año es significativamente diferente ( $P < 0,05$ ). Además, al aplicar una prueba de paralelismo se encuentran diferencias altamente significativas entre las pendientes ( $F=49,8$ ; R.C.={ $F|F > 2,57 \vee F < 0,17$ };  $\alpha=0,05$ ); mientras que una prueba de concurrencia para averiguar si las curvas se originan en un mismo punto en la ordenada revela diferencias significativas ( $F=6,47$ ; R.C.={ $F|F > 2,57 \vee F < 0,17$ };  $\alpha=0,05$ ).

**Tabla 4.** Coeficientes de las relaciones anuales entre el logaritmo del rendimiento y el logaritmo de la capacidad de bodega de la flota de cerco que operó sobre *S. bentinki* y *E. ringes* en el área de Talcahuano en el período 1990-1996.  $\ln(\text{CB})$  = logaritmo de la capacidad de bodega,  $\pm \text{LC}$  = límites de confianza de 95%,  $n$  = número de barcos,  $R^2$  = coeficiente de determinación.

AÑO	Intercepto ( $\pm \text{LC}$ )	Coeficientes de regresión		N	$R^2$	Error típico
		$\ln(\text{CB})$ ( $\pm \text{LC}$ )				
1990	-0,356 ( $\pm 0,303$ )	0,891 ( $\pm 0,073$ )		147	0,800	0,419
1991	-0,191 ( $\pm 0,282$ )	0,894 ( $\pm 0,066$ )		180	0,800	0,410
1992	+0,364 ( $\pm 0,254$ )	0,735 ( $\pm 0,060$ )		175	0,774	0,337
1993	-0,538 ( $\pm 0,377$ )	0,841 ( $\pm 0,087$ )		178	0,673	0,507
1994	+0,037 ( $\pm 0,241$ )	0,807 ( $\pm 0,055$ )		179	0,828	0,335
1995	-0,849 ( $\pm 0,308$ )	0,980 ( $\pm 0,069$ )		169	0,824	0,419
1996	+0,063 ( $\pm 0,212$ )	0,842 ( $\pm 0,046$ )		203	0,864	0,333

Aún cuando la capacidad de bodega explica una fracción significativa de la variabilidad observada en las tasas de captura anuales, ciertos factores que permanecen fijos, como los meses del año, podrían generar diferencias en las tasas de captura. En este contexto, el análisis con modelos lineales generalizados debería otorgar una mejor respuesta en términos del valor promedio esperado de las tasas de captura.

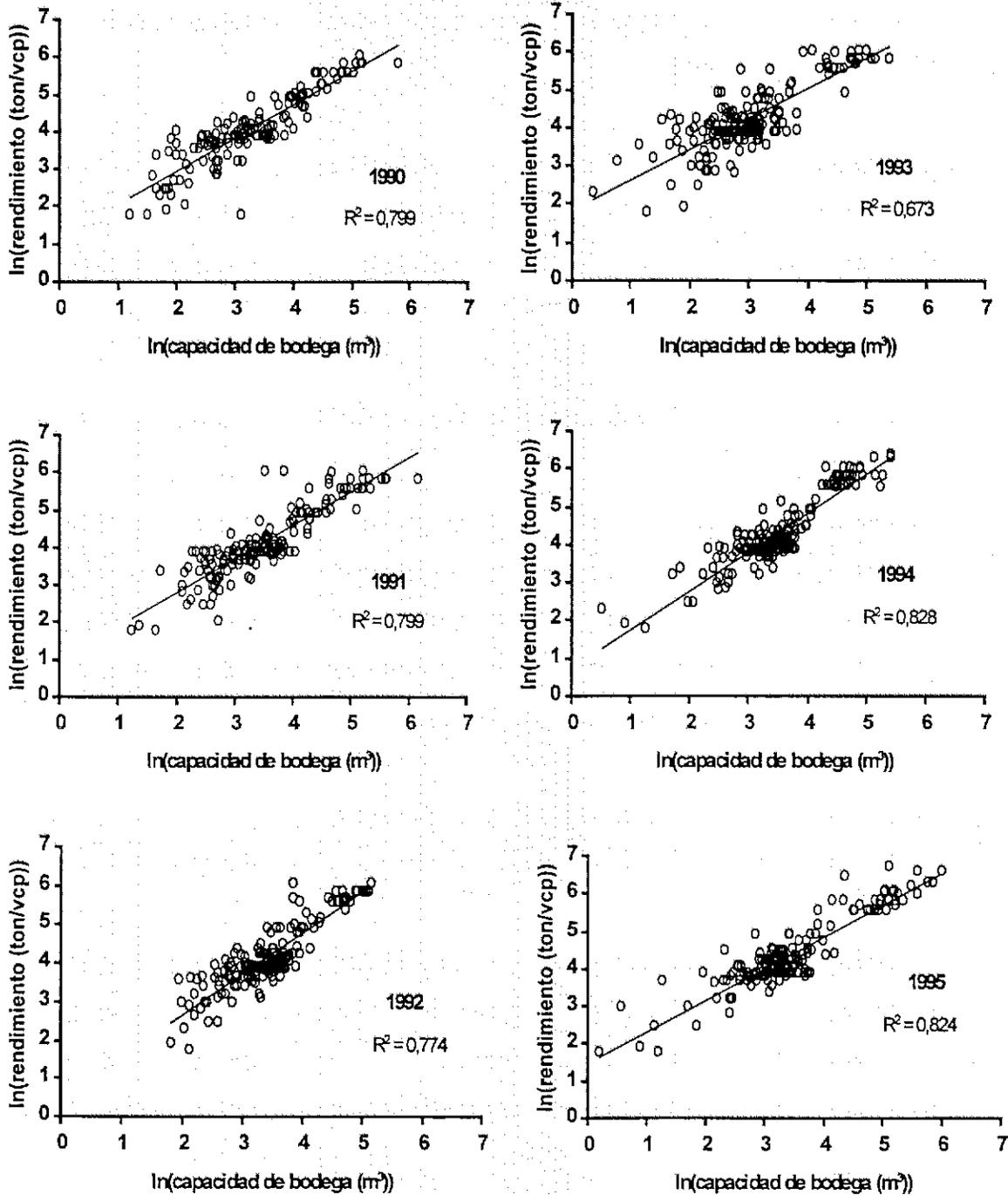


Figura 8. Relaciones entre las tasas de captura anuales y la capacidad de bodega de cada embarcación que operó en la pesquería de *S. bentincki* y *E. ringens* del área de Talcahuano, entre 1990 y 1995.

Previo a la formulación del modelo, análisis exploratorios demostraron la existencia de 20 puntos atípicos (outliers) los cuales fueron excluidos de análisis posteriores, representando una remoción del 2% de la información disponible.

Las tasas de captura logaritmizadas ( $\ln(\text{cpue})$ ) revela que de 11 efectos de entrada a la regresión paso a paso, sólo 5 resultan estadísticamente significativos. El modelo presenta un alto coeficiente de determinación ( $r^2=0,840$ ;  $p<0,001$ ) y de acuerdo a la nomenclatura mostrada en la Tabla 2, se formula según la expresión:

$$\ln(\text{cpue}) = \ln(R) = 0,220 + 0,808B + 0,001BCDE - 0,005CDE + 0,021DE - 0,078E$$

El análisis del régimen operacional de la flota revela que el estrato de embarcaciones de 40-60 m<sup>3</sup> de capacidad de bodega (CB) cumple con los requisitos impuestos para seleccionar la categoría estándar de embarcaciones en esta pesquería (Figura 6), de tal manera que el poder de pesca relativo, definido como la razón entre el rendimiento estimado del estrato de embarcaciones "i" y el rendimiento estimado del estrato estándar (CB=50), a saber:

$$\text{PPR}_i = \frac{R_i}{R^*} = \frac{\exp(0,220 + 0,808(B_i) + 0,001(B_i)CDE - 0,05CDE + 0,021DE - 0,078E)}{\exp(0,220 + 0,808(B^*) + 0,001(B^*)CDE - 0,05CDE + 0,021DE - 0,078E)}$$

Los resultados de la estandarización del esfuerzo nominal (VCP) para el total de embarcaciones revelan un aumento de los viajes con pesca, lo que resulta en una disminución de la CPUE (Figura 9). El aumento de los viajes con pesca estándar ocurre principalmente debido al mayor poder de pesca relativo de las embarcaciones mayores a 80 m<sup>3</sup> de capacidad de bodega (CB), las cuales tienen una participación más activa durante la época estival de cada año.

Al analizar independientemente las capturas, esfuerzo y CPUE entre el grupo de embarcaciones <math> < 80 \text{ m}^3 < /math> de CB y >math> > 80 \text{ m}^3 < /math> de CB, se observa que los niveles de capturas son similares entre ambas flotas; no obstante, la flota industrial realiza un número mucho menor de viajes con pesca. Esto resulta en niveles de rendimiento nominal mucho mayores para esta flota que para la flota artesanal (Figura 10). Sin embargo, al estandarizar el esfuerzo mediante la expresión de PPR propuesta en este estudio, se observan niveles de esfuerzo y rendimientos de pesca similares entre ambas flotas (Figura 11), lo que permite concluir que el mayor rendimiento nominal observado para la flota industrial responde exclusivamente al mayor tamaño de sus embarcaciones (i.e. capacidad de bodega).

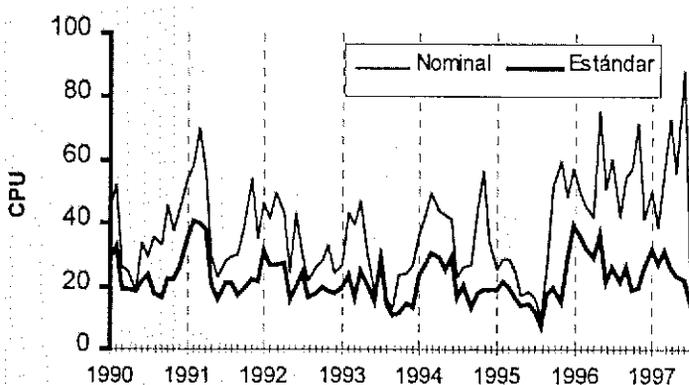
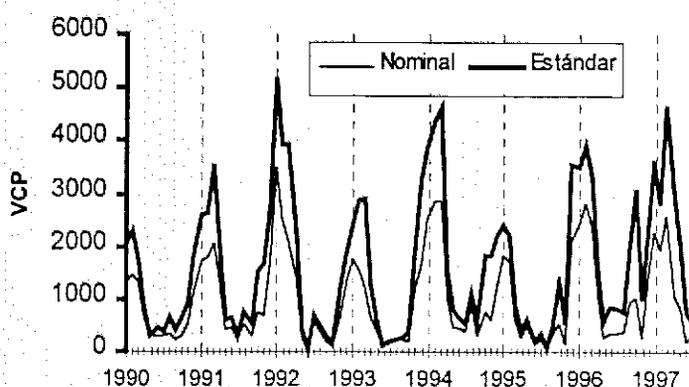
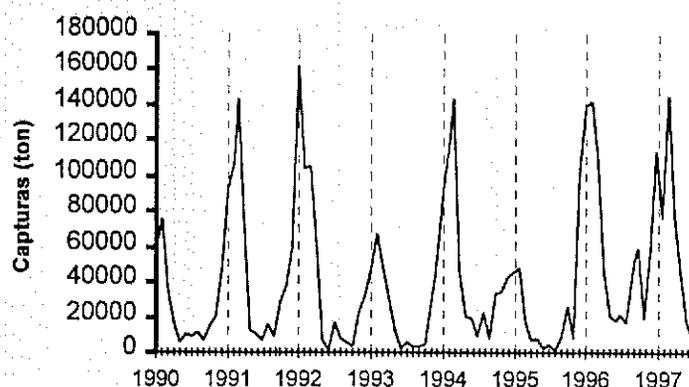


Figura 9. Capturas, esfuerzo (VCP) y tasas de captura (CPUE), nominal y estándar para la pesquería de *S. bentincki* y *E. ringens*.

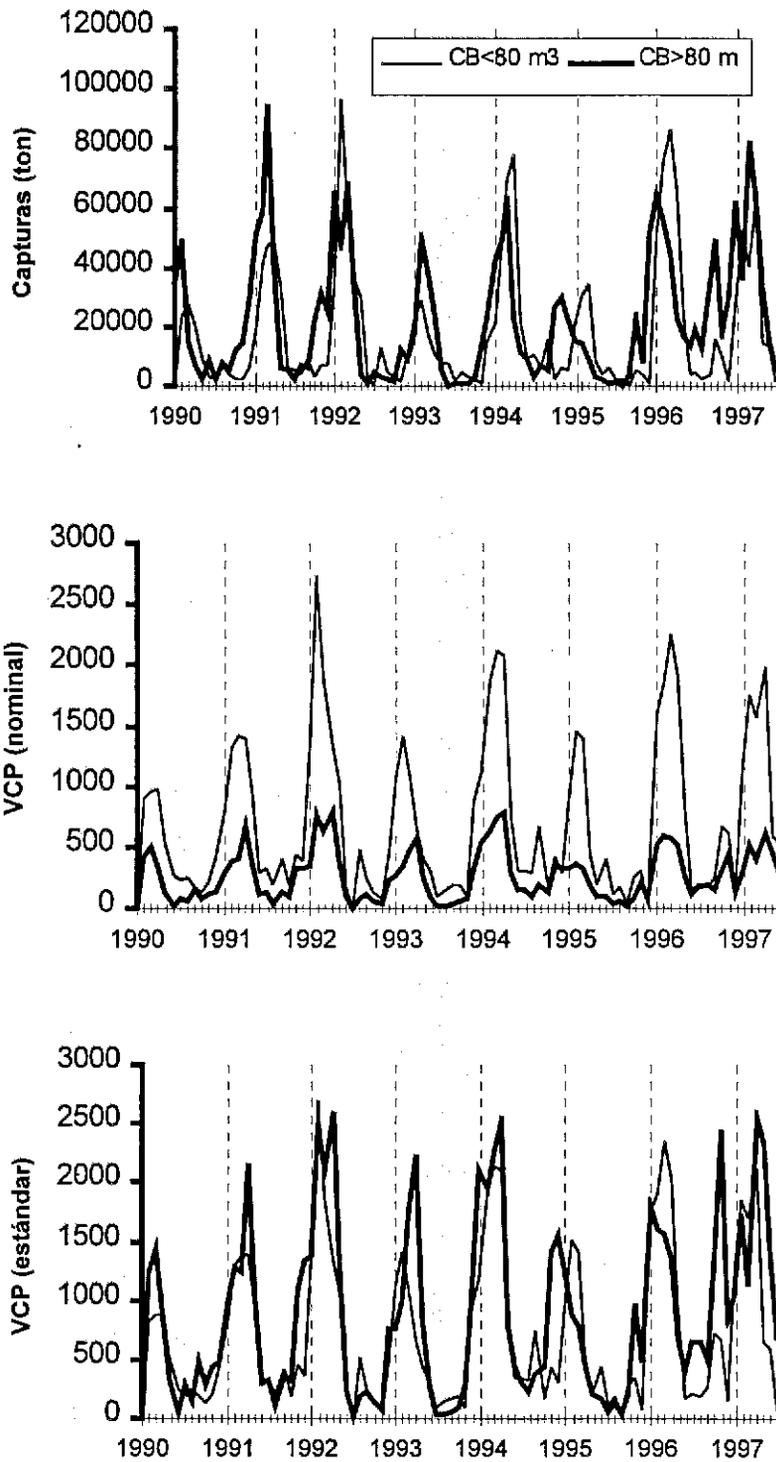
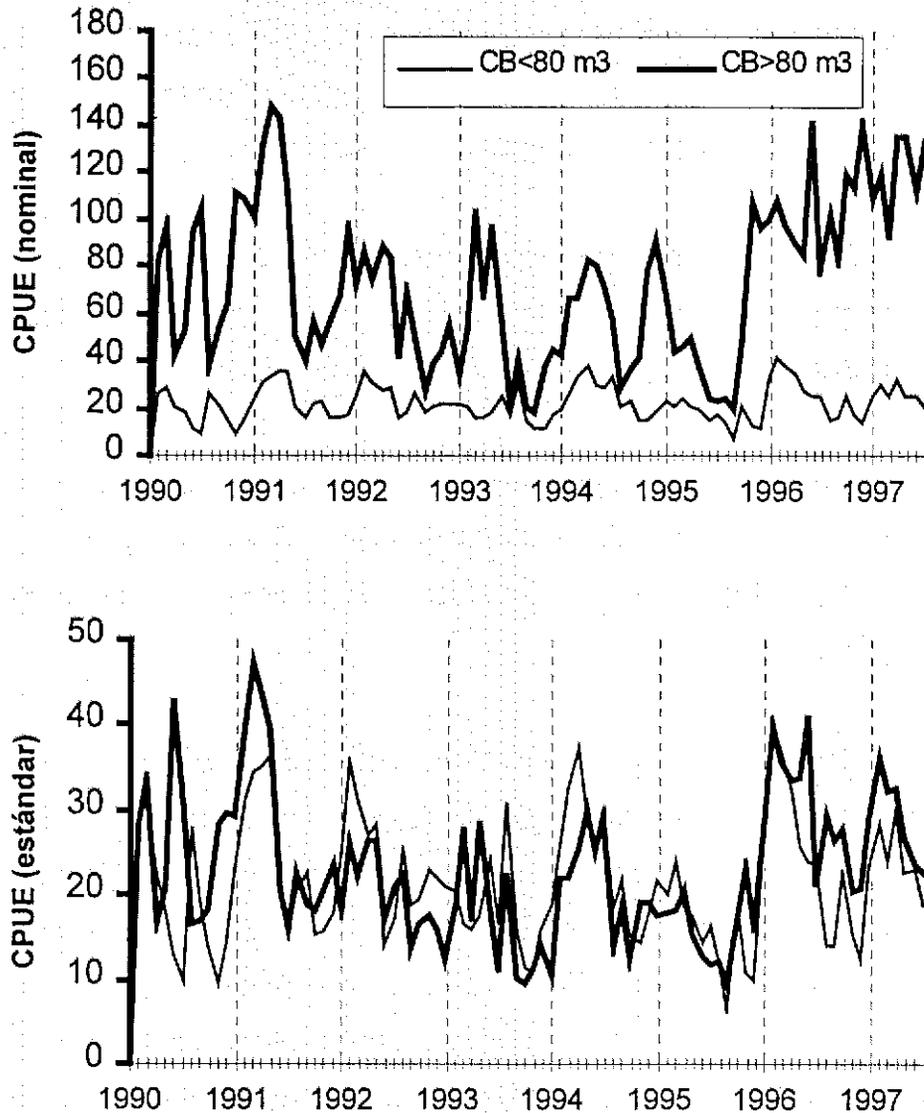


Figura 10. Capturas y esfuerzo (VCP) nominal y estándar para dos categorías de la flota de cerco que opera en la pesquería de *S. bentincki* y *E. ringens* (1990-1997).



**Figura 11.** Tasas de captura (CPUE) nominal y estándar para dos categorías de la flota de cerco que opera en la pesquería de *S. bentincki* y *E. ringens*.

### Discusión

Una gran variedad de problemas pueden encontrarse con el uso de los datos de captura y esfuerzo de pesca para estimar cambios en la abundancia de los stocks de peces (Gulland, 1974). Esos problemas se refieren a cobertura inadecuada de los datos sobre la extensión espacial de los stocks y si los datos que provienen de una pesquería que intenta mantener tasas de captura altas reflejan la abundancia del stock. De particular importancia en pesquerías pelágicas de peces que

forman agregaciones y cardúmenes es la dependencia que puede exhibir el coeficiente de capturabilidad respecto del tamaño del stock (Csirke, 1988; 1989; Patterson *et al.*, 1993). Por otra parte, varios otros factores asociados a cambios en los aspectos operacionales y tecnológicos de la pesquería, podrían estar influyendo en las tasas de captura.

En la pesquería de sardina común y anchoveta, se observa que en términos de unidades de pesca la flota más importante se encuentra bajo los 80 m<sup>3</sup> de capacidad de bodega, pero la flota constituida por embarcaciones mayores presenta un alto poder de pesca, el cual está asociado a la capacidad de bodega de las mismas. La fluctuaciones en las tasas de captura estándar de dos categorías de la flota, separadas por el límite de los 80 m<sup>3</sup>, son muy similares e indica que la remoción de los efectos a través de la estandarización podrían dar cuenta de un índice de abundancia que refleje adecuadamente los cambios en la abundancia de los recursos en la zona centro-sur de Chile.

El análisis del poder de pesca revela que depende del tamaño de la embarcación en términos de la capacidad de bodega y de la época del año. Resultados similares encuentra Caballero *et al.* (1992) para el análisis del poder de pesca en las pesquerías de *Sardinops sagax* de la zona norte (Arica-Coquimbo) y de *T. s. murphyi* de la zona centro-sur (Talcahuano). No obstante, se debe mencionar que la capacidad de bodega y los viajes con pesca fueron las únicas variables disponibles para la flota artesanal principalmente, lo que no permitió indagar en la influencia de otras variables funcionales y operacionales que podrían estar explicado el poder de pesca de las embarcaciones de la flota.

En relación con la estacionalidad de las capturas de *S. bentincki* y *E. ringens*, se está de acuerdo con Cubillos & Arancibia (1993a,b) en que dicho comportamiento se debe a tres factores principales: i) las mejores condiciones climáticas de la época estival, lo que favorece a la operación de embarcaciones menores, ii) el reclutamiento de sardina común ocurre entre noviembre y diciembre, lo que incide en un aumento de la abundancia y disponibilidad (cardúmenes y agregaciones de alta densidad en zonas costeras), y iii) reorientación en primavera del esfuerzo de pesca de algunas embarcaciones industriales, que capturan principalmente *T. s. murphyi* el resto del año (otoño-invierno).

Referencias

- Allen, R.L. & R.G. Punsley. 1984. Catch rates as indices of abundance of Yellowfin Tuna, *Thunnus albacares*, in the Eastern Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 18(4):301-379.
- Caballero, G.L.; L. Santillán, y G. Rosson. 1992. Investigación del esfuerzo pesquero en las principales pesquerías chilenas: Pesquerías Pelágicas. Convenio CORFO-IFOP (SGI-IFOP 92/16). Inst. Fom. Pesq., Santiago, Chile.
- Cubillos, L. & H. Arancibia. 1993a. Análisis de la pesquería de sardina común y anchoveta del área de Talcahuano, situación actual y perspectivas. Documentos Técnicos del Instituto de Investigación Pesquera (IIP), Talcahuano, Chile 2(2):1-19.
- Cubillos, L. & H. Arancibia. 1993b. Análisis de la pesquería de sardina común (*Strangomera bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) del área de Talcahuano, Chile. Investigaciones Marinas 21:3-21.
- Cubillos, L., M. Canales, D. Bucarey R. Alarcón, A. Hernández & L. Miranda. (en revisión). Poder de pesca, esfuerzo de pesca y cambios estacionales e interanuales en la abundancia relativa de *Strangomera bentincki* y *Engraulis ringens* en el área frente a Talcahuano, Chile (1990-1995). Investigaciones Marinas, UCV, Valparaíso (Chile).
- Gulland, J.A. 1974. Catch per unit effort as a measure of abundance. Inter.Comm. Cons. Atlan. Tunas, Coll. Vol.Sci.Pap., 3:1-5.
- Hilborn, R. & C.J. Walters. 1992. Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty. Chapman and Hall, NY, 570 p.
- Kimura, D.K. 1981. Standardized measure of relative abundance based on modelling log (c.p.u.e.), and their application to Pacific Ocean perch (*Sebastes alutus*). J. Cons. int. Explor. Mer., 39:211-218.
- Shimada, B. & M. Schaefer. 1956. A study of changes in fishing effort, abundance, and yield for yellowfin and skipjack tuna in the Eastern Tropical Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. 1, pp. 347-421.
- Yáñez, E. & L. Maritano. 1983. Análisis histórico (1971-1980) de la pesquería pelágica de la zona norte de Chile (18°20'S-24°00'S) y estimación del estado de los recursos explotados. En: Análisis de Pesquerías Chilenas, P. Arana (Ed.), Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso, pp. 161-177.

1.2. *Distribución espacio-temporal de la operación de la flota industrial*

## Distribución espacio-temporal de la operación de la flota industrial (1996-1997)

Aquiles Sepúlveda, Flor Véjar, Lidia Vilugrón y Luis Cubillos.

### Resumen ejecutivo

Se analiza la distribución espacial de la flota industrial que orienta su esfuerzo de pesca hacia los recursos *Strangomera bentincki* y *Engraulis ringens* en el período comprendido entre octubre de 1996 y julio de 1997. En dicho período, la flota operó entre el norte de Carranza (35°S) y el sur de Corral (40°S) conformando 13 zonas de pesca, de las cuales entre 2 y 6 fueron visitadas mensualmente. La zona en que se registró el mayor número de viajes se localizó al noroeste de Corral (39°19'54"S; 73°41'53"W), representando un superficie de 1467 mn<sup>2</sup>. El centro de masa de las zonas de pesca identificadas presentan una alta estabilidad temporal, con desplazamientos temporales de muy baja escala y no superan las 14,6 mn de desplazamiento longitudinal y cerca de 7,2 mn en latitud. Los más altos rendimientos por unidad de área (>50ton/mn<sup>2</sup>) se registraron en las zonas de pesca ubicadas al sur de la Isla Mocha, particularmente en Corral.

## Introducción

La distribución espacio-temporal de la flota industrial que opera sobre los recursos *Strangomera bentincki* y *Engraulis ringens* ha sido parcialmente analizada por Cubillos *et al.* (1996). En dicho estudio, se indica que durante 1995 la flota industrial operó dentro de las primeras 30 mn de la costa y entre los 33°20'S y 39°50'S, conformando 4 núcleos importantes y persistentes: (a) al sur de San Antonio (33°30'S); (b) entre los 35°20'S (sur de Constitución) y 36°40'S (Bahía de Concepción); (c) entre los 38°S y 38°50'S (frente a Tirúa); y (d) entre los 39°10'S y 39°50'S (Queule-Corral). La mayor operación de la flota estuvo más concentrada al norte entre enero y marzo de 1995; mientras que durante el cuarto trimestre (octubre-diciembre), las zonas de pesca localizadas al sur de los 37°10'S (Pta. Lavapié) fueron muy importantes.

El objetivo de este trabajo es analizar los cambios espacio-temporales de la flota en la zona centro-sur de Chile, indagar en la persistencia de las zonas de pesca y el rendimiento por unidad de área que dichas zonas de pesca tienen.

## Materiales y Métodos

### Distribución espacio-temporal

Con el objeto de analizar la variación espacio-temporal de la operación de la flota industrial, se utilizó información provenientes de las bitácoras de pesca que toda nave industrial está obligada a comunicar al Servicio Nacional de Pesca, SERNAPESCA. De cada bitácora fue analizada la información de magnitud de las capturas obtenidas, la posición geográfica de la pesca y antecedentes de operación de cada embarcación. Para analizar la información contenida en las bitácoras de pesca, se emplearon las coordenadas geográficas informadas ó bien el sistema de cuadrículas que utiliza el Instituto de Fomento Pesquero, el cuál parcela el espacio de mar en cuadrículas de 10x10 millas náuticas, considerando su centro geográfico como referencia.

Se analizó la distribución espacio-temporal de las embarcaciones que componen la flota industrial de cerco que operó sólo sobre *S. bentincki* y eventualmente sobre *E. ringens* para los meses de octubre

de 1996 y julio de 1997 entre las latitudes 35° y 40° S. El análisis consistió en definir y/o identificar gráficamente micro-zonas de pesca en la zona de estudio. Estas micro-zonas correspondieron a aquellas donde se presentó la mayor concentración de embarcaciones a la vuelta de un mes y su persistencia fue estudiada a través de todo el período de estudio. Para ello, además se analizaron las capturas, el esfuerzo de pesca nominal y los rendimientos de pesca generados en cada una de las micro-zonas.

**a) Sistema de Información geográfico y técnicas de análisis espacial utilizadas en la caracterización de la pesquería.**

Producto de la naturaleza y el volumen de información utilizada en el presente estudio, se optó como herramienta de análisis espacial de la distribución de la flota, el Sistema de Información Geográfico (SIG) ArcInfo v.3.5, para plataforma PC. Este programa fue combinado en su uso con otros módulos de despliegue y clasificación de la información ArcView v. 2.5 (incluyendo Avenue) para Windows, PcTin, ArcPlot y un ambiente de programación de macros propio (SML). Este sistema es un instrumento eficiente y adecuado para el manejo de información geográfica (mapas), relacionada e integrada automáticamente a información alfanumérica (base de datos : DBase, FoxPro). Además, posee múltiples y poderosas herramientas que facilitan el análisis, consultas, despliegue y elaboración de reportes. Las herramientas analíticas del SIG fueron empleadas para cuantificar áreas, perímetros y a través de expresiones lógicas, y procedimientos matemáticos, establecer los criterios de decisión y asignación de elementos de una determinada cobertura de puntos o polígonos. Estos fueron agrupados en diferentes niveles de información, al igual que las hojas de un libro, donde cada nivel posee información geográfica y alfanumérica, pudiendo de este modo relacionarse a través de análisis y operaciones matemáticas y estadísticas.

Dentro de las técnicas espaciales, para el análisis y despliegue de las zonas de pesca, así como de las capturas, esfuerzo y rendimiento de pesca, se ingresó al sistema, con sus correspondientes identificadores temporales y espaciales, la data de operación de las embarcaciones de la flota, definidas por las coordenadas geográficas informadas o bien por las coordenadas centrales de cada cuadrícula de 10x10 mn, indicadas en las bitácoras de pesca. La ubicación geográfica de cada uno de los barcos, fue transformada a un proyección geográfica plana (originalmente está basada en un

esferoide, con grados sexagesimales) para permitir el posterior cálculo de distancias y áreas en el SIG. Una vez transformada la posición, la data es ingresada al SIG y presentada espacialmente en un mapa de la región, identificando aquellos focos donde se congreguen el mayor número de embarcaciones. Temporalmente, se realizó un seguimiento de la duración y persistencia de las áreas de pesca.

Mediante el trazado de polígonos se determinó la cobertura y el área de la zona de pesca, se asoció y seleccionó la información relativa a captura y esfuerzo de cada embarcación. La superficie cubierta por las micro-zonas fue calculada en millas náuticas cuadradas ( $mn^2$ ) y el perímetro de éstas en millas náuticas (mn). Además, considerando la distribución espacial de las embarcaciones, se determinó el centroide de las micro-zonas de pesca. Estos fueron presentados gráficamente en un mapa resumen para todo el período, para finalmente, analizar el desplazamiento de estos centroides tanto espacial como temporalmente.

**b) Procedimientos para determinar la ubicación geográfica, actividad de las embarcaciones, identificación de zonas de pesca, dimensionamiento de extensión espacial de la pesquería, cuantificación del esfuerzo de pesca, rendimiento por unidad de área.**

Como se indicó en el punto (a), la distribución espacio-temporal de las embarcaciones y su ubicación geográfica fue determinada a partir de dos fuentes de información. Primero, a partir de las bitácoras de pesca donde normalmente se indican las coordenadas geográficas en donde se realizó actividad de pesca y/o el espacio de mar en cuadrículas de  $10 \times 10$  mn, en el cual se realizaron las faenas. En segundo lugar, por medio de los reportes de posición (QTH) que son registrados diariamente por el programa sinóptico del Instituto de Investigación Pesquera. La información relativa a los desembarques y el esfuerzo ejercido por las embarcaciones fue obtenida a través del sistema de información que mantiene a diario INPESCA con las empresas pesqueras.

La extensión espacial de la pesquería fue determinada mediante las técnicas que se indican en el punto (a) de este documento. Una vez determinados los centroides y centros geográficos de las

micro-zonas de pesca, así como su cobertura y área en  $\text{mn}^2$ , se estimó el rendimiento mensual por unidad de área.

## Resultados

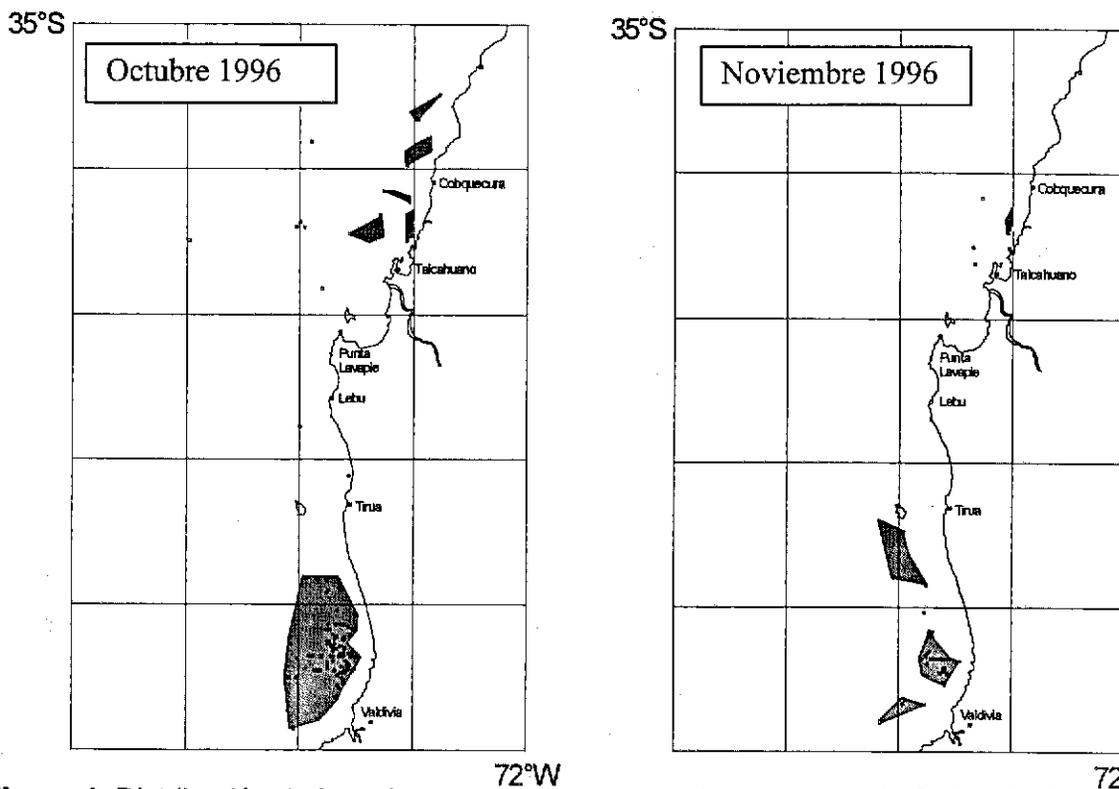
### Distribución espacio-temporal de la operación de la flota industrial.

#### a) Distribución espacial de la flota y micro-zonas de pesca.

La flota de embarcaciones que operan sobre los recursos *S. bentincki* y *E. ringens* efectuó su operación en un rango latitudinal comprendido por el área al norte de Carranza ( $35^\circ \text{ S}$ ) hasta el Sur de Corral ( $40^\circ \text{ S}$ ). A continuación, se presenta la distribución espacial de las posiciones geográficas en donde se registró operación por parte de las embarcaciones de la flota para el período octubre de 1996 a julio de 1997 (Figuras 1 a 5).

Dentro de todo el período analizado, las capturas informadas provinieron principalmente de 13 zonas de pesca y durante cada mes fueron visitadas entre 2 y 6 de estas micro-zonas de pesca (Tabla 1). Las capturas informadas por embarcaciones individuales, aisladas y distantes de estas áreas de pesca, no fueron incorporadas en los análisis de los centros de masa y tampoco fueron consideradas en los análisis de captura y esfuerzo de pesca, sin embargo sus coordenadas geográficas fueron incorporadas en las figuras mensuales.

En octubre de 1996, se determinaron principalmente 6 micro-zonas de pesca en las que la flota concentró su operación a lo largo del mes (Figura 1). La región en la cual se registró el mayor número de viajes en el mes, se localizó al noroeste de Corral ( $39^\circ 19' 54'' \text{ S}$ ;  $73^\circ 41' 53'' \text{ W}$ ) con un total de 105 viajes realizados a esa región y representando una extensa superficie respecto de las otras micro-zonas de pesca ( $1467 \text{ mn}^2$ ; Tabla 1). En noviembre de 1996, la flota mantuvo una importante concentración de viajes de pesca en zonas de menor extensión, localizadas al noroeste de Corral ( $204 \text{ mn}^2$ ) y al sur de la Isla Mocha ( $246 \text{ mn}^2$ ), reduciéndose el número total de micro-zonas de pesca a 4 (Figura 1).



**Figura 1.** Distribución de las micro-zonas de pesca en la pesquería de *S. bentincki* y *E. ringens* entre octubre y noviembre de 1996).

En diciembre, existió una menor presencia de embarcaciones al sur de la Isla Mocha; mientras que las embarcaciones que operaron al noroeste de Corral, lo hicieron circunscribiéndose a una extensión de 279 mn<sup>2</sup> (Figura 2). En esta región se redujo la incursión de embarcaciones durante enero de 1997; mientras que la mayor operación se concentró en la desembocadura del río Itata (36°18'S; 72°55'W), al noroeste de Coliumo (36°30'S; 73°00'W) y en la Bahía de Concepción (Figura 2, Tabla 1). En febrero la disposición de las localidades de pesca fue similar a la de enero, conformándose 4 zonas de pesca principales (Figura 2) y en marzo se apreció una muy baja actividad de la flota, existiendo solo 2 micro-zonas de pesca localizadas al sur de la Isla Mocha (140 mn<sup>2</sup>; 38°38'S y 73° 53'W) y al oeste de Corral (39,6 mn<sup>2</sup>; 39°19'S y 73°39'W).

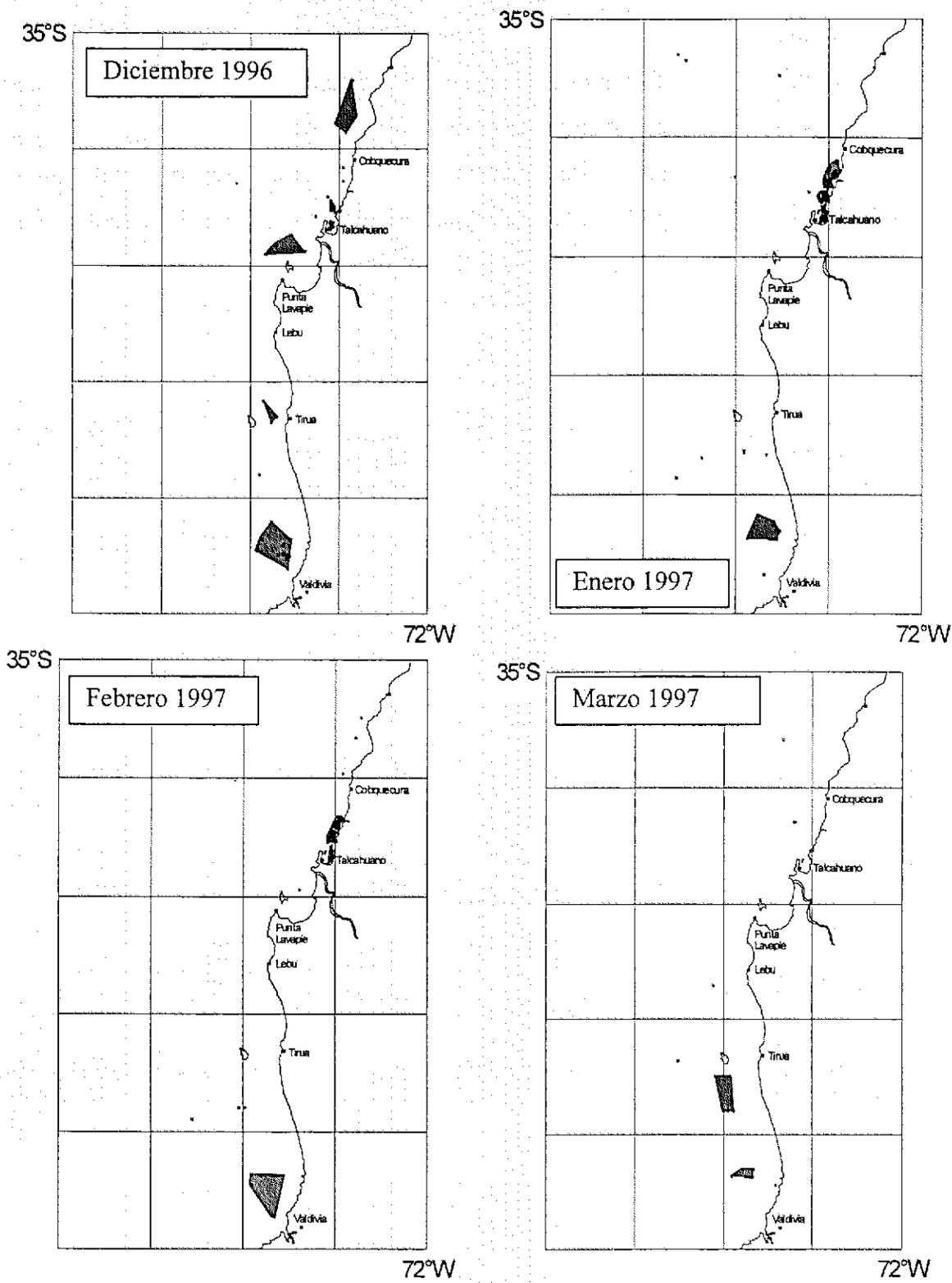
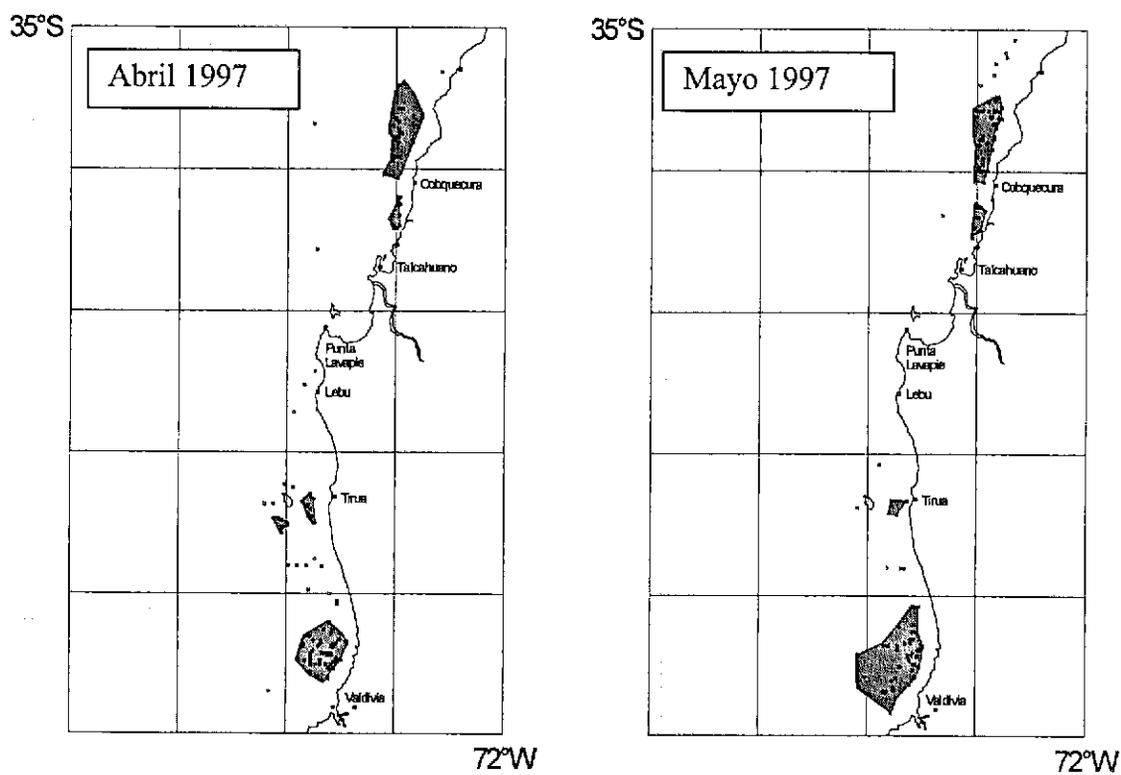


Figura 2. Distribución de las micro-zonas de pesca en la pesquería de *S. bentincki* y *E. ringens* entre diciembre de 1996 y marzo de 1997).

La actividad fue bastante mayor durante los meses de abril y mayo (Figura 3), durante los cuales se individualizaron 5 y 4 micro-zonas de pesca, respectivamente. Las micro-zonas de mayor extensión se localizaron en los extremos del rango distribucional de la actividad cerquera, oeste de Carranza y oeste de Corral, con superficies superiores a 300 mn<sup>2</sup> (Tabla 1). En junio (Figura 5), se estructuraron 4 micro-zonas de pesca pero su área fue menos extensa que en los meses anteriores (<190 mn<sup>2</sup>). La operación de las embarcaciones disminuyó marcadamente en julio, conformándose solo 2 zonas de pesca en ese mes (Figura 4).



**Figura 3.** Distribución de las micro-zonas de pesca en la pesquería de *S. bentincki* y *E. ringens* (abril y mayo de 1997).

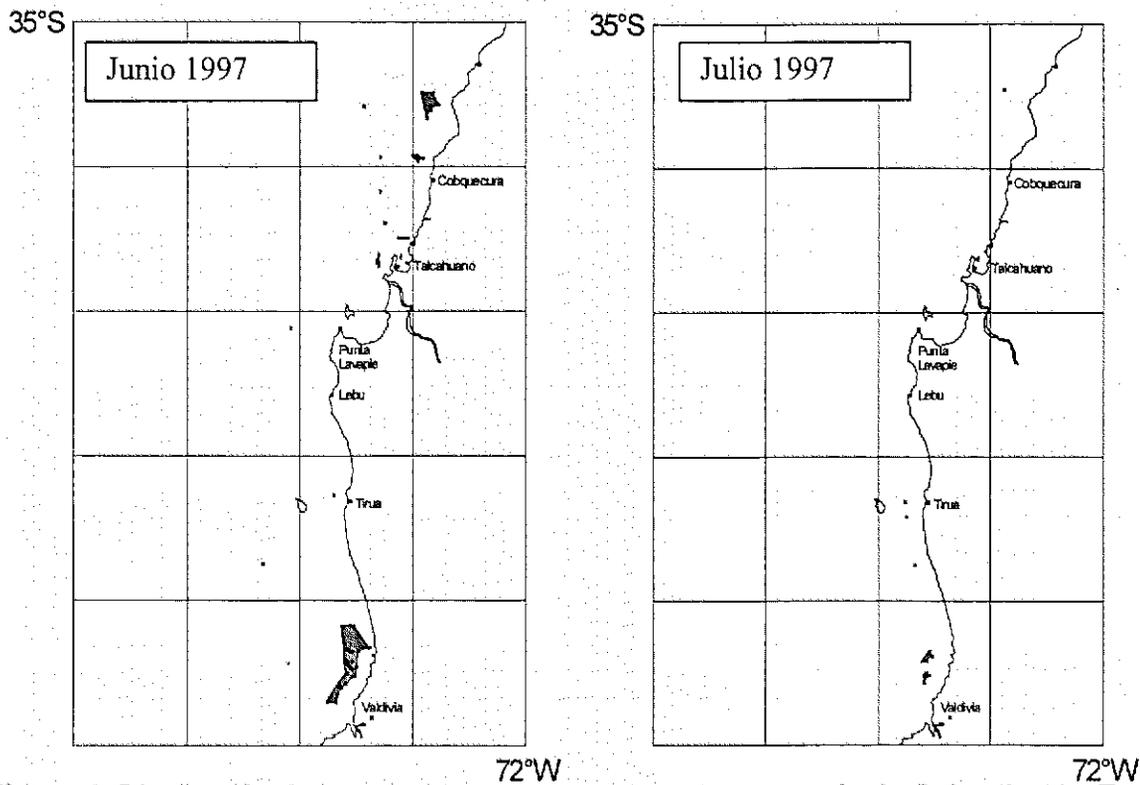


Figura 4. Distribución de las micro-zonas de pesca en la pesquería de *S. bentincki* y *E. ringens* (junio-julio de 1997).

Tabla 1. Localización, área (mn<sup>2</sup>) y perímetro (mn) de las micro-zonas de pesca en la pesquería de la *S. bentincki* y *E. ringens*.

		OCTUBRE							
MICRO-ZONA	LOCALIDAD	LONGITUD		LATITUD		AREA (mn <sup>2</sup> )	PERIMETRO (mn)		
1	Norte de Carranza	72	53	32,28	35	35	24,36	39,27	36,22
3	Sur de Carranza	72	55	36,84	35	53	32,28	73,69	38,34
4	Norte de Itata	73	4	22,08	36	11	38,76	17,98	26,43
5	Desembocadura Itata	72	59	29,04	36	24	8,64	32,89	27,96
6	Noroeste de Coliumo	73	20	0,24	36	25	46,56	86,58	41,38
12	Oeste de Corral	73	41	53,52	39	19	53,76	1467,44	162,95
		NOVIEMBRE							
MICRO-ZONA	LOCALIDAD	LONGITUD		LATITUD		AREA (mn <sup>2</sup> )	PERIMETRO (mn)		
5	Desembocadura Itata	72	59	29,4	36	20	3,12	15,51	21,89
11	Sur Isla Mocha	73	54	46,44	38	40	15,6	245,53	75,97
12	Oeste de Corral	73	31	54,84	39	22	57,36	204,93	62,71
13	Sur de Corral	73	52	58,44	39	43	1,2	77,22	47,04
		DICIEMBRE							
MICRO-ZONA	LOCALIDAD	LONGITUD		LATITUD		AREA (mn <sup>2</sup> )	PERIMETRO (mn)		
2	Oeste de Carranza	72	52	30	35	40	56,28	167,00	63,01
6	Noroeste de Coliumo	73	1	21,72	36	30	28,8	11,65	15,32
7	Bahía de Concepción	73	2	1,68	36	40	1,56	6,30	11,55
9	Golfo de Arauco	73	32	39,48	36	50	52,08	122,32	52,54
10	Este Isla Mocha	73	41	7,08	38	16	26,76	26,95	29,02
12	Oeste de Corral	73	37	40,08	39	24	19,44	278,95	67,63

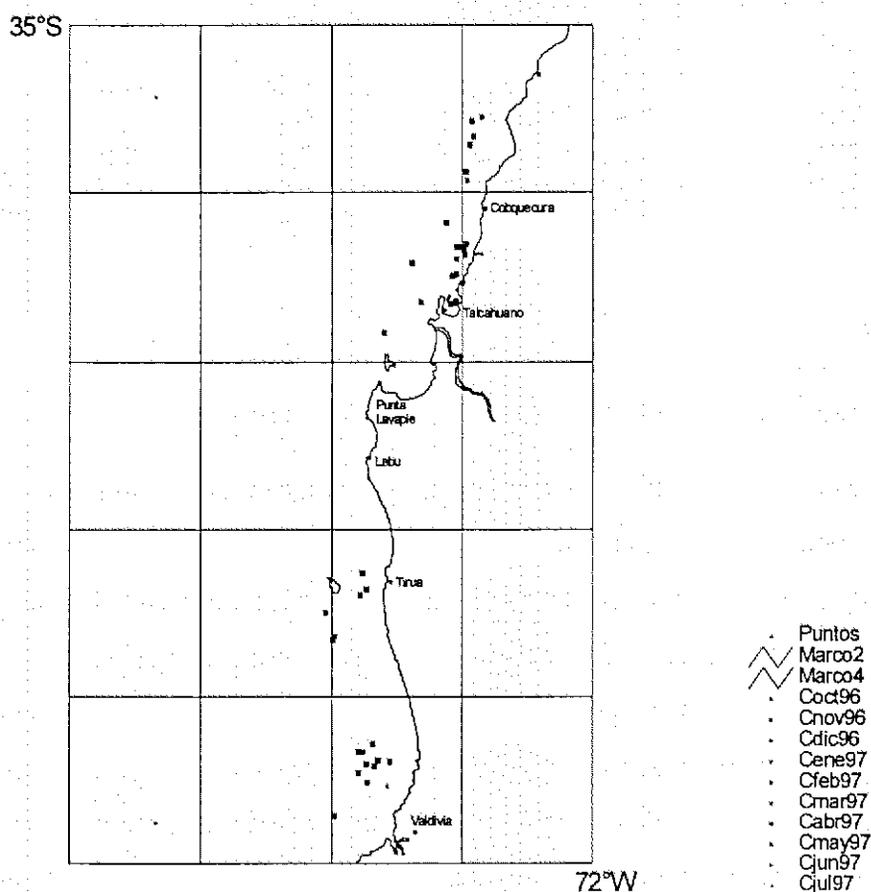
**Tabla 1.** Localización, área (mn<sup>2</sup>) y perímetro (mn) de las micro-zonas de pesca en la pesquería de la *S. bentincki* y *E. ringens*. Continuación de la tabla anterior.

		ENERO								
MICRO-ZONA	LOCALIDAD	LONGITUD			LATITUD			AREA (mn <sup>2</sup> )	PERIMETRO (mn)	
5	Desembocadura Itata	72	55	5,16	36	18	56,16	71,86	37,42	
6	Noroeste de Columo	73	0	37,44	36	30	7,56	27,45	20,19	
7	Bahía de Concepción	72	59	54,6	36	39	38,88	17,48	21,79	
12	Oeste de Corral	73	35	0,6	39	17	10,32	151,10	50,08	
		FEBRERO								
MICRO-ZONA	LOCALIDAD	LONGITUD			LATITUD			AREA (mn <sup>2</sup> )	PERIMETRO (mn)	
5	Desembocadura Itata	72	55	42,24	36	22	54,12	21,62	18,66	
6	Noroeste de Columo	72	59	31,92	36	29	29,76	22,88	19,57	
7	Bahía de Concepción	72	59	43,8	36	38	58,2	8,85	17,21	
12	Oeste de Corral	73	37	25,32	39	30	34,2	243,72	66,73	
		MARZO								
MICRO-ZONA	LOCALIDAD	LONGITUD			LATITUD			AREA (mn <sup>2</sup> )	PERIMETRO (mn)	
11	Sur Isla Mocha	73	53	42,36	38	38	52,8	140,94	52,70	
12	Oeste de Corral	73	39	47,16	39	19	59,52	39,62	30,12	
		ABRIL								
MICRO-ZONA	LOCALIDAD	LONGITUD			LATITUD			AREA (mn <sup>2</sup> )	PERIMETRO (mn)	
2	Oeste de Carranza	72	54	6,48	35	43	59,52	397,54	96,40	
5	Desembocadura Itata	72	57	39,24	36	19	54,84	42,65	32,61	
10	Este Isla Mocha	73	42	3,24	38	24	7,92	44,82	30,28	
11	Sur Isla Mocha	73	58	1,92	38	30	40,68	23,12	20,28	
12	Oeste de Corral	73	33	55,08	39	24	48,24	369,99	72,42	
		MAYO								
MICRO-ZONA	LOCALIDAD	LONGITUD			LATITUD			AREA (mn <sup>2</sup> )	PERIMETRO (mn)	
2	Oeste de Carranza	72	54	27	35	43	35,76	308,58	86,57	
5	Desembocadura Itata	72	56	24,72	36	20	58,2	53,25	34,80	
10	Este Isla Mocha	73	38	55,32	38	22	13,08	34,23	24,80	
12	Oeste de Corral	73	41	38,4	39	27	10,8	758,96	119,54	
		JUNIO								
MICRO-ZONA	LOCALIDAD	LONGITUD			LATITUD			AREA (mn <sup>2</sup> )	PERIMETRO (mn)	
1	Norte de Carranza	72	49	4,8	35	34	14,52	42,22	28,98	
3	Sur de Carranza	72	55	9,12	35	56	46,68	5,18	10,49	
8	Oeste de Talcahuano	73	15	28,8	36	39	40,68	2,90	10,25	
12	Oeste de Corral	73	26	19,68	39	23	3,84	186,87	84,99	
		JULIO								
MICRO-ZONA	LOCALIDAD	LONGITUD			LATITUD			AREA (mn <sup>2</sup> )	PERIMETRO (mn)	
12	Oeste de Corral	73	26	57,12	39	23	23,64	6,56	12,10	
13	Sur de Corral	73	27	48,6	39	31	40,08	3,42	10,28	

**b) Desplazamiento temporal de los centros de masa de las micro-zonas de pesca.**

Una vez identificadas y dimensionadas cada una de las micro-zonas de pesca, se determinó a través del SIG el centro de masa de las micro-zonas y se analizó el desplazamiento temporal de éste en escala mensual. Las coordenadas geográficas de los centros de masa correspondientes se presentan en la Tabla 1 y su localización se puede apreciar en la Figura 5. Además de existir una alta estabilidad temporal en la ocurrencia de zonas de pesca de los recursos *S. bentincki* y *E. ringens*, se observa que los centros de masa de las micro-zonas tienen desplazamientos

temporales de muy baja escala y no superan las 14,6 mn de desplazamiento en longitud y 7,2 mn en latitud (Tabla 2). Dentro de las localidades más frecuentadas, en la desembocadura del río Itata (micro-zona 5), las máximas distancias en que se desplazaron los centros de masa fueron de 2,2 mn longitudinales y 3,0 mn latitudinales (Tabla 2). En el área al oeste de Corral (micro-zona 12), área en la cual las micro-zonas de pesca fueron mucho más extensas, los centros de masa tuvieron un desplazamiento máximo de 8,9 mn en longitud y de 7,2 mn en latitud.



**Figura 5.** Localización de los centros de masa de las micro-zonas de pesca de la *S. bentincki* y *E. ringens*

**Tabla 2.** Caracterización de los centros de masa promedio por micro-zonas de pesca (período: octubre 1996 - julio 1997). Se indica la máxima distancia (mn) observada entre los centros de masa mensuales con respecto al centro de masa del período.

MICRO-ZONA	LONGITUD	LATITUD	Desviación Estandar Longitud (mn)	Desviación estándar Latitud (mn)	Máxima distancia del centro de masa promedio	
					Longitud (mn)	Latitud (mn)
1	72°51'18"	35°34'49"	3,2	0,8	2,2	0,6
2	72°53'41"	35°42'51"	1,0	1,7	-1,2	-1,9
3	72°55'23"	35°55'10"	0,3	2,3	0,2	-1,6
4	73°04'22"	36°11'39"	-	-	-	-
5	72°57'18"	36°21'09"	1,9	2,0	2,2	3,0
6	73°05'23"	36°28'58"	9,8	2,2	14,6	-3,2
7	73°00'33"	36°39'33"	1,3	0,5	1,5	-0,6
8	73°15'29"	36°39'41"	-	-	-	-
9	73°32'39"	36°50'52"	-	-	-	-
10	73°40'42"	38°20'56"	1,6	4,0	-1,8	-4,5
11	73°55'30"	38°36'36"	2,3	5,2	2,5	-5,9
12	73°35'15"	39°23'20"	5,6	3,8	-8,9	7,2
13	73°40'23"	39°37'21"	17,8	8,0	12,6	5,7

### c) Capturas y rendimiento de la flota en las micro-zonas de pesca

La información de capturas obtenidas por la pesquería industrial de *S. bentincki* y *E. ringens* e informada en las bitácoras de pesca fue a su vez contrastada con los desembarques que el Instituto de Investigación Pesquera registra diariamente desde las empresas pesqueras. La Tabla 3 resume la información mensual de captura y esfuerzo considerada en el análisis de la conformación de las micro-zonas de pesca e indica a su vez, el valor porcentual que representó de la descarga total. Cabe señalar que las diferencias existentes no se deben a la ausencia de bitácoras de pesca, ya que estas dan cuenta satisfactoriamente de la captura total; sin embargo, una alta proporción de las bitácoras no informa de manera detallada las zonas de operación y el origen de sus capturas, lo que obligó a excluir estos datos de los análisis.

De los totales en el desembarque, las capturas analizadas representan más de un 30% del total mensual a excepción de los meses de enero-marzo de 1997, meses que se encuentran bajamente

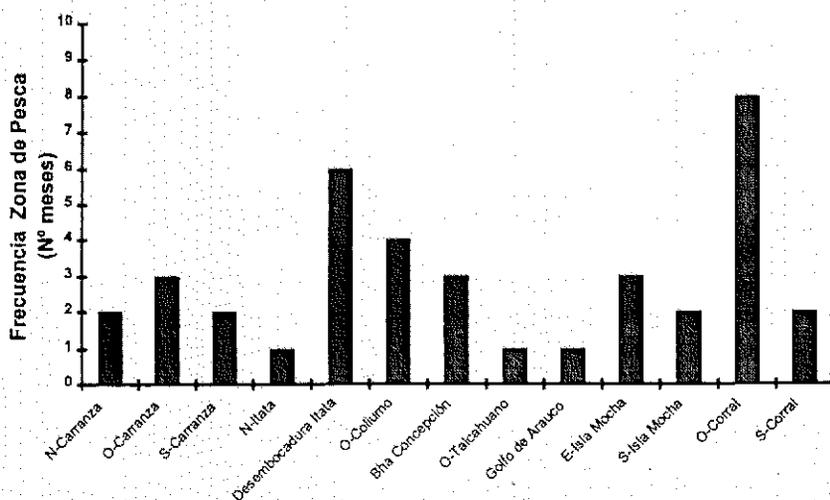
informados Tabla 3. En cuanto a los viajes con pesca considerados en el análisis, estos representan en la mayoría de los meses más de un 30% del total de viajes con pesca registrados.

**Tabla 3.** Representatividad porcentual de la información de capturas y esfuerzo informadas mediante bitácoras de pesca por la flota industrial de *S. bentincki* y *E. ringens*.

MES	DESEMB. BITACORAS DE PESCA INDUSTRIAL	DESEMB. INDUSTRIAL (\$)	DIFERENCIA PORCENTUAL	VCP FLOTA INDUSTRIAL Y ARTESANAL (\$)	VCP FLOTA INDUSTRIAL (\$)	VCP BITACORAS DE PESCA INDUSTRIAL	DIFERENCIA PORCENTUAL
Oct-96	21203	46666	45%	1083	282	147	52%
Nov-96	10397	16834	62%	270	96	63	66%
Dic-96	9272	22717	41%	1422	88	39	44%
Ene-97	3923	59482	7%	2542	242	73	30%
Feb-97	1712	33533	5%	2328	165	56	34%
Mar-97	0	80717	0%	3039	338	0	0%
Abr-97	25518	65366	39%	1132	317	126	40%
May-97	16088	37912	42%	971	231	114	49%
Jun-97	6381	15830	40%	194	101	41	41%
Jul-97	1217	4137	30%	345	46	8	17%

(§) estadísticas del Instituto de Investigación Pesquera

En la Tabla A1 (anexo) se indica los principales indicadores de la pesquería, agregando la información de capturas y rendimiento por micro-zonas de pesca. La persistencia temporal de las microzonas de pesca en el período octubre de 1996-julio de 1997 se puede apreciar en la Figura 6, donde se observa que las zonas más visitadas en dicho período fueron el sector frente a la desembocadura del río Itata, por el norte, y al oeste de Corral, por el sur. La flota industrial prácticamente no opera frente al Golfo de Arauco ni al oeste de Talcahuano.



**Figura 6.** Número de meses durante los cuales la flota industrial operó en cada una de las zonas de pesca identificadas.

Frente a la desembocadura del río Itata, las mayores capturas ocurrieron en enero, febrero y abril de 1997, meses en los cuales se registró el mayor número de viajes totales y con pesca (Figura 7). El rendimiento de pesca, expresado como la captura por la capacidad de bodega desplazada, alcanzó niveles de entre 40 y 45% en enero y abril, mientras que la captura por unidad de área fue del orden de 37,8 ton/mn<sup>2</sup> en febrero de 1997 (Figura 7).

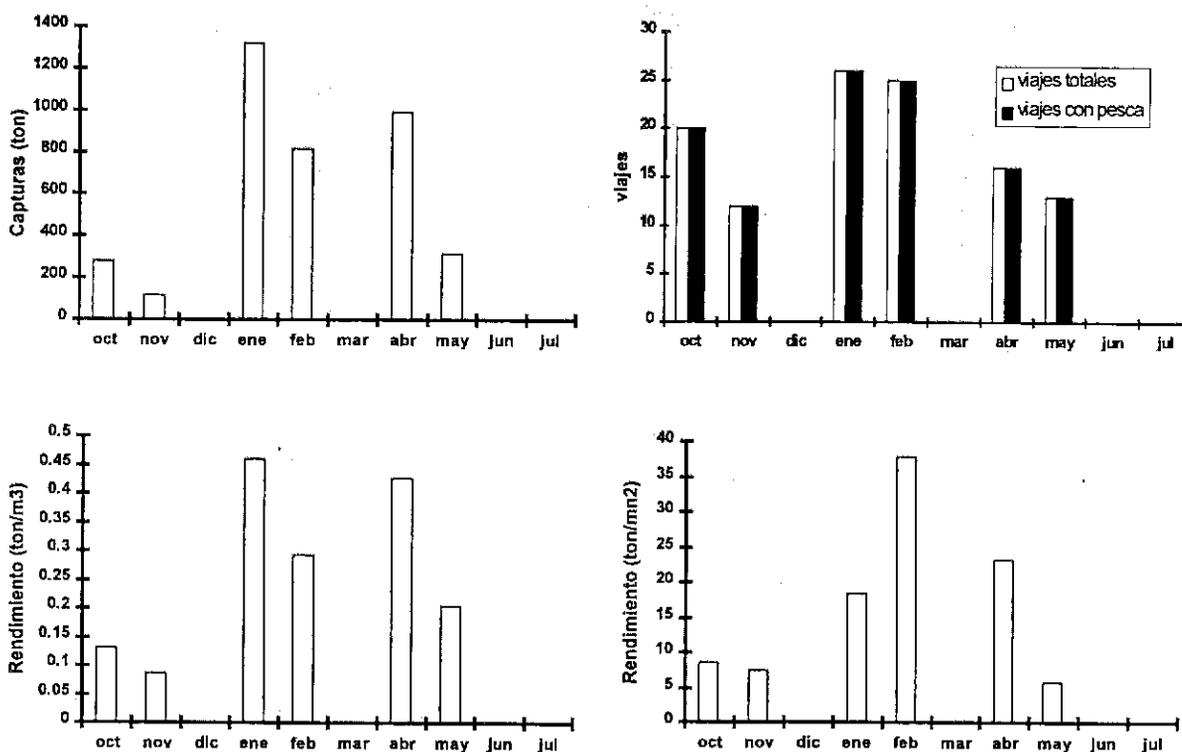
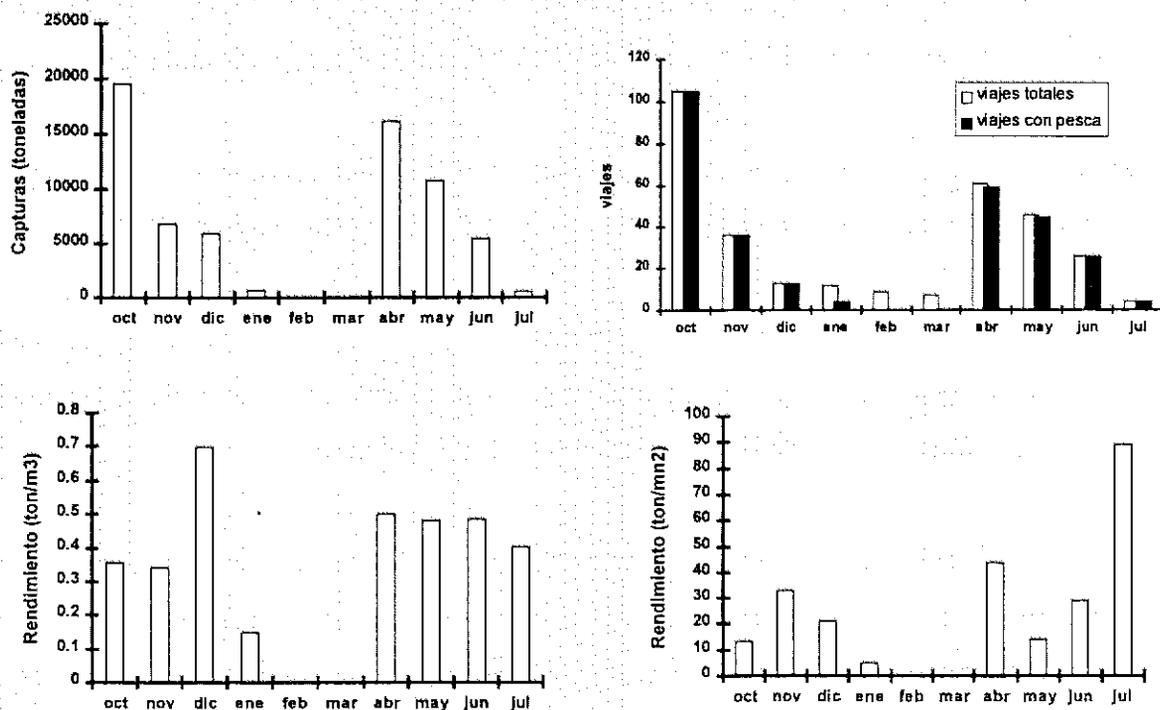


Figura 7. Principales indicadores de la operación de la flota industrial en la zona de pesca frente a la desembocadura del río Itata entre octubre de 1996 y julio de 1997.

En la zona de pesca al oeste de Corral, las mayores capturas ocurrieron en octubre de 1996 y entre abril y mayo de 1997, situación que se corresponde con el número de viajes totales y con pesca a dicha zona (Figura 8). El rendimiento de pesca, en términos de la captura por la capacidad de bodega desplazada de la flota, se mantuvo por sobre el 30%, excepto en enero de 1997 (Figura 8). Sin embargo, la captura por unidad de área indica niveles por sobre 10 ton/mn<sup>2</sup>, alcanzando un máximo de casi 90 ton/mn<sup>2</sup>, en julio de 1997 (Figura 8).



**Figura 8.** Principales indicadores de la operación de la flota industrial en la zona de pesca al oeste de Corral entre octubre de 1996 y julio de 1997.

Las máximas capturas fueron obtenidas en la región al noroeste de Corral, obteniéndose capturas totales superiores a las 5 mil ton en los meses de octubre de 1996 y abril-mayo de 1997 (Tabla 4, Figura 9). Capturas acumuladas superiores a 1 mil ton, pero inferiores a 5 mil ton, fueron registradas en las áreas localizadas al sur de la Isla Mocha.

En las otras áreas de pesca, las capturas acumuladas se mantuvieron por niveles inferiores a las 1 mil ton. La única excepción la constituyó el área al oeste de Carranza durante los meses de abril y mayo de 1997, ya que las capturas en esa región superaron las 2 mil ton.

Las capturas medias por embarcación fueron superiores a 200 ton sólo en las regiones localizadas al sur de la Punta Lavapié, siendo éstas máximas en las regiones al este de la Isla Mocha (651,3 ton) y al oeste de Corral (456,3 ton) en el mes de diciembre de 1996 (Figura 9).

Similar al comportamiento de las capturas, el mayor número de viajes con pesca fue desarrollado en el área frente a Corral (Figura 9). En los meses de octubre de 1996 y abril de 1997, se generaron en esa región 105 y 59 viajes con pesca (VCP, Tabla 4), respectivamente.

En las regiones al norte de Punta Lavapié se registró una menor cantidad de viajes con pesca, observándose un máximo al oeste de Carranza (51 VCP) en el mes de mayo de 1997.

Este esfuerzo fue similar a los 45 viajes con pesca que efectuaron las embarcaciones al oeste de Corral; sin embargo, si se observan las capturas, frente a Carranza éstas representaron sólo el 57% de las obtenidas en el sector de Corral (mayo de 1997, Tabla 4).

Se puede inferir que esto se debe principalmente al hecho que al oeste de Corral operaron embarcaciones de mayor capacidad de bodega (CB promedio = 487,1 m<sup>3</sup>) que las que operaron frente a Carranza (CB promedio = 250,8 m<sup>3</sup>). Sin embargo, los rendimientos de pesca en la región de Corral fueron superiores a los obtenidos en la región de Carranza (Tabla 4).

Al norte del Golfo de Arauco los valores más altos en rendimiento se registraron en el mes de enero, al noroeste de Coliumo (43 ton/mn<sup>2</sup>) y en la bahía de Concepción (40 ton/mn<sup>2</sup>); sin embargo en otras regiones los rendimientos fueron menores. Mientras que al sur del Punta Lavapié, las micro-zonas de pesca próximas a la Isla Mocha, y particularmente al oeste de Corral, muestran los máximos niveles de rendimiento (superiores a 50 ton/mn<sup>2</sup>). En esta última región se obtuvieron rendimientos de hasta 185 ton/ ton/mn<sup>2</sup> en el mes de julio de 1997, no obstante este valor se debe al bajo número de viajes realizados en esa zona (Tabla 4).

Referencias

Cubillos, L., R. Gili, R. Alarcón, L. Vilugrón, A. Hernández, L. Miranda & H. Arancibia. 1996. Informe final proyecto FIP N° 94-11: "Evaluación de la pesquería y del stock de sardina común en la zona centro-sur".

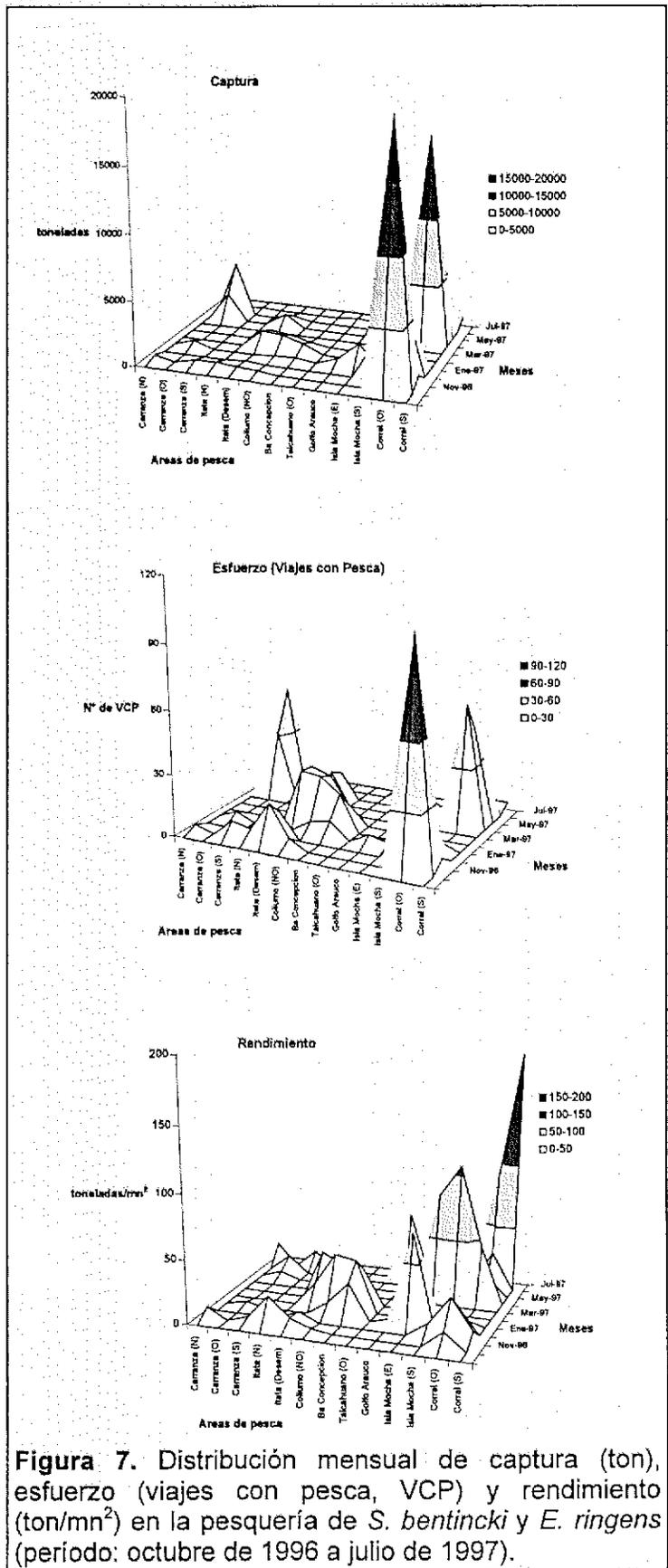


Figura 7. Distribución mensual de captura (ton), esfuerzo (viajes con pesca, VCP) y rendimiento (ton/mn<sup>2</sup>) en la pesquería de *S. bentincki* y *E. ringens* (período: octubre de 1996 a julio de 1997).

**Tabla 4. Captura (ton), esfuerzo (viajes totales VT y con pesca VCP) y rendimiento de las micro-zonas de pesca en la pesquería de la *S. bentincki* y *E. ringens* (período: octubre 1996 - julio 1997).**

MICRO-ZONA	LOCALIDAD	CAPTURA TOTAL (ton)	ESFUERZO		PROMEDIO (ton)	CB-ACUM (m <sup>3</sup> )	CB-PROM (m <sup>3</sup> )	RENDIMIENTO			
			VT	VCP				CVCP	C/CB-ACUM	C/CB-PROM	C/Area (ton/mn <sup>2</sup> )
<b>OCTUBRE</b>											
1	Norte de Carranza	344,5	114,8	3	114,8	900	300,0	114,8	0,383	1,1	8,77
3	Sur de Carranza	377,5	47,2	8	47,2	1540	192,5	47,2	0,245	2,0	5,12
4	Norte de Itata	415,0	69,2	6	69,2	2110	351,7	69,2	0,197	1,2	23,08
5	Desembocadura Itata	219,2	14,0	20	14,0	2120	106,0	14,0	0,132	2,6	8,49
6	Oeste de Coliumo	192,3	38,5	5	38,5	500	100,0	38,5	0,385	1,9	2,22
12	Oeste de Corral	19594,5	186,6	105	186,6	54741	521,3	186,6	0,358	37,6	13,35
<b>NOVIEMBRE</b>											
5	Desembocadura Itata	115,0	9,6	12	9,6	1320	110,0	9,6	0,087	1,0	7,42
11	Sur Isla Mocha	2747,5	274,7	10	274,7	5240	524,0	274,7	0,524	5,2	11,19
12	Oeste de Corral	6778,8	188,3	36	188,3	19747	548,5	188,3	0,343	12,4	33,08
13	Sur de Corral	754,4	150,9	5	150,9	2480	496,0	150,9	0,304	1,5	9,77
<b>DICIEMBRE</b>											
2	Oeste de Carranza	528,8	132,2	4	132,2	1291,38	322,8	132,2	0,410	1,6	3,17
6	Noroeste de Coliumo	127,7	21,3	6	21,3	325	54,2	21,3	0,393	2,4	10,96
7	Bahía de Concepción	175,3	21,9	8	21,9	360	45,0	21,9	0,487	3,9	27,80
9	Golfo de Arauco	554,0	110,8	5	110,8	1660	332,0	110,8	0,334	1,7	4,53
10	Este Isla Mocha	1994,0	651,3	3	651,3	2130	710,0	651,3	0,917	2,8	72,51
12	Oeste de Corral	5932,5	456,3	13	456,3	8490	653,1	456,3	0,699	9,1	21,27
<b>ENERO</b>											
5	Desembocadura Itata	1320,8	50,8	26	50,8	2880	110,8	50,8	0,459	11,9	18,38
6	Noroeste de Coliumo	1182,4	47,3	25	47,3	2335	93,4	47,3	0,506	12,7	43,07
7	Bahía de Concepción	697,2	38,7	18	38,7	865	48,1	38,7	0,806	14,5	39,89
12	Oeste de Corral	722,2	60,2	12	60,2	4859,66	405,0	180,6	0,149	1,8	4,78

Tabla 4. continuación

MICRO-ZONA	LOCALIDAD	FEBRERO				RENDIMIENTO					
		CAPTURA TOTAL (ton)	PROMEDIO (ton)	ESFUERZO VT	VCP	CB-ACUM (m <sup>3</sup> )	CB-PROM (m <sup>3</sup> )	C/CVCP	C/CB-ACUM	C/CB-PROM	C/Area (ton/mn <sup>2</sup> )
5	Desembocadura Itata	817.2	32.7	25	25	2780	111.2	32.7	0.294	7.3	37.80
6	Noroeste de Coliumo	649.8	29.5	22	22	2400	109.1	29.5	0.271	6.0	28.40
7	Bahía de Concepción	245.5	27.3	9	9	405	45.0	27.3	0.606	5.5	27.73
12	Oeste de Corral	0.0	0.0	9	0	5850	650.0	0.0	0.000	0.0	0
<b>MARZO</b>											
MICRO-ZONA	LOCALIDAD	CAPTURA TOTAL (ton)	PROMEDIO (ton)	ESFUERZO VT	VCP	CB-ACUM (m <sup>3</sup> )	CB-PROM (m <sup>3</sup> )	RENDIMIENTO C/CVCP	C/CB-ACUM	C/CB-PROM	C/Area (ton/mn <sup>2</sup> )
11	Sur Isla Mocha	0.0	0.0	5	0	3250	650.0	0.000	0.000	0.0	0
12	Oeste de Corral	0.0	0.0	7	0	4550	650.0	0.000	0.000	0.0	0
<b>ABRIL</b>											
MICRO-ZONA	LOCALIDAD	CAPTURA TOTAL (ton)	PROMEDIO (ton)	ESFUERZO VT	VCP	CB-ACUM (m <sup>3</sup> )	CB-PROM (m <sup>3</sup> )	RENDIMIENTO C/CVCP	C/CB-ACUM	C/CB-PROM	C/Area (ton/mn <sup>2</sup> )
2	Oeste de Carranza	2098.7	67.7	31	31	6433	207.5	67.7	0.326	10.1	5.28
5	Desembocadura Itata	989.5	61.8	16	16	2320	145.0	61.8	0.426	6.8	23.20
10	Este Isla Mocha	3698.0	284.5	13	13	8032	617.8	284.5	0.460	6.0	82.50
11	Sur Isla Mocha	2475.2	353.6	7	7	3846	549.4	353.6	0.644	4.5	107.06
12	Oeste de Corral	16257.2	266.5	61	59	32353	530.4	275.5	0.502	30.7	43.94
<b>MAYO</b>											
MICRO-ZONA	LOCALIDAD	CAPTURA TOTAL (ton)	PROMEDIO (ton)	ESFUERZO VT	VCP	CB-ACUM (m <sup>3</sup> )	CB-PROM (m <sup>3</sup> )	RENDIMIENTO C/CVCP	C/CB-ACUM	C/CB-PROM	C/Area (ton/mn <sup>2</sup> )
2	Oeste de Carranza	4122.5	80.8	51	51	12790	250.8	80.8	0.322	16.4	13.36
5	Desembocadura Itata	313.8	24.1	13	13	1540	118.5	24.1	0.204	2.6	5.89
10	Este Isla Mocha	837.3	167.5	5	5	2295	459.0	167.5	0.365	1.8	24.46
12	Oeste de Corral	10814.1	235.1	46	45	22406	487.1	240.3	0.483	22.2	14.25
<b>JUNIO</b>											
MICRO-ZONA	LOCALIDAD	CAPTURA TOTAL (ton)	PROMEDIO (ton)	ESFUERZO VT	VCP	CB-ACUM (m <sup>3</sup> )	CB-PROM (m <sup>3</sup> )	RENDIMIENTO C/CVCP	C/CB-ACUM	C/CB-PROM	C/Area (ton/mn <sup>2</sup> )
1	Norte de Carranza	715.1	119.2	6	6	1860	310.0	119.2	0.384	2.3	16.94
3	Sur de Carranza	72.9	14.6	5	3	750	150.0	24.3	0.097	0.5	14.06
8	Oeste de Talcahuano	154.8	22.1	7	6	820	117.1	25.8	0.189	1.3	53.36
12	Oeste de Corral	5438.7	209.2	26	26	11164	429.4	209.2	0.487	12.7	29.10
<b>JULIO</b>											
MICRO-ZONA	LOCALIDAD	CAPTURA TOTAL (ton)	PROMEDIO (ton)	ESFUERZO VT	VCP	CB-ACUM (m <sup>3</sup> )	CB-PROM (m <sup>3</sup> )	RENDIMIENTO C/CVCP	C/CB-ACUM	C/CB-PROM	C/Area (ton/mn <sup>2</sup> )
12	Oeste de Corral	585.8	146.5	4	4	1461	365.3	146.5	0.401	1.6	89.30
13	Sur de Corral	631.6	157.9	4	4	1400	350.0	157.9	0.451	1.8	184.85

### 1.3. *Aspectos Reproductivos*

# **Epoca reproductiva y talla de primera madurez sexual de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur de Chile.**

**Ruben Alarcón, Doris Bucarey, Mariella Canales, y L. Cubillos**

## **Resumen Ejecutivo**

Se determina la época de desove de sardina común y anchoveta y se estima la talla de primera madurez sexual utilizando indicadores reproductivos que cubren el período 1990-1997. Los indicadores reproductivos utilizados para determinar la época de desove son el índice gonadosomático (IGS), el índice gonádico (IG), y la frecuencia temporal de hembras maduras e hidratadas (EMS III y IV, respectivamente). El período de mayor actividad reproductiva en la sardina común se extiende entre junio y septiembre, siendo la época de desove principal a fines del invierno (agosto). En el caso de la anchoveta, la mayor actividad reproductiva comienza en julio y se extiende hasta noviembre, siendo la época de desove a comienzos de primavera (septiembre). Además, en la sardina común es evidente la ocurrencia de un período reproductivo secundario al término del verano (febrero-marzo). La talla de primera madurez sexual se estimó en 10 cm para la sardina común y en 11,7 cm para la anchoveta en base al criterio del 50% de la fracción de hembras maduras.

## Introducción

En Chile, la sardina común (*Strangomera bentincki*, Norman 1936) y anchoveta (*Engraulis ringens*, Jenyns 1842) se distribuyen desde Coquimbo (29°S) hasta Chiloé (42°S), en el caso de la primera (Serra *et al.*, 1979; Arrizaga, 1981; Serra, 1983); y a lo largo de las costas de Perú y Chile, en el caso de la segunda (Serra, 1983; Cubillos & Arancibia, 1993a,b).

Ambas especies constituyen importantes recursos pesqueros y conforman varias unidades de pesquerías a lo largo de su distribución. En el la zona centro-sur de Chile, se desarrolla una importante actividad pesquera artesanal e industrial que se sustenta en la captura de estas especies, razón por la cual varios son los estudios biológicos y pesqueros que han abordado distintos investigadores (Aguayo & Soto, 1978; Serra, 1978; Arrizaga, 1981; Arrizaga & Veloso, 1982; Fonseca *et al.*, 1986; Yáñez *et al.*, 1990; Cubillos & Arancibia, 1993a,b,c; Cubillos *et al.*, 1994, 1996; Arancibia *et al.*, 1994).

Desde el punto de vista de la biología reproductiva, ambas especies se caracterizan por ser desovantes parciales, lo que implica que en un determinado período de tiempo es posible encontrar ejemplares en diferentes estados de madurez sexual (Arancibia *et al.*, 1994). Varios estudios indican que la máxima actividad reproductiva de la sardina común ocurre desde junio a septiembre; y desde junio a diciembre en la anchoveta (Cubillos & Arancibia, 1993c; Cubillos *et al.*, 1994; Arancibia *et al.*, 1994). Sin embargo, también se comunica la ocurrencia de un pico secundarios de actividad reproductiva hacia el término del verano (febrero-marzo) (Cubillos *et al.*, 1994). Por otra parte, la talla de primera madurez sexual ha sido estimada para sardina común en 11 cm de longitud total, correspondiendo a ejemplares de 1 año de edad (Arancibia *et al.*, 1994).

No obstante los antecedentes relativos a la época y talla de primera madurez sexual aparecen bien documentados, siempre resulta conveniente revisar los indicadores reproductivos con el objeto de detectar cambios en los patrones globales que se tiene de la actividad reproductiva. Esto es particularmente importante en pesquerías pelágicas que se caracterizan por una alta variabilidad. En atención a ello, en este estudio se revisa y actualiza los antecedentes relativos a la época

reproductiva y talla de primera madurez sexual de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur de Chile utilizando información colectada entre 1990 y 1997.

### Materiales y Métodos

La información básica proviene de muestreos biológico-específicos que realiza regularmente el Instituto de Investigación Pesquera (INPESCA) en el marco de un programa de vigilancia biológico-pesquera de la pesquería de sardina común y anchoveta en la Octava Región. El diseño de muestreo para obtener indicadores biológicos globales consiste en obtener muestras aleatorias de la bodega o descarga de varias embarcaciones al mes. Estas muestras son llevadas al laboratorio, donde se procede a medir cada ejemplar en su longitud y peso total, se extraen las gónadas y se clasifican por sexos, siendo las gónadas de las hembras pesadas con una balanza de precisión de 0,01 gr. Además, cada ejemplar hembra se clasifica en un estado de madurez sexual utilizando una escala de madurez sexual de 5 puntos para desovantes parciales, adaptada de Holden & Raitt (1975) (Tabla 1).

**Tabla 1.** Escala empírica de madurez sexual para hembras de especies desovantes parciales (adaptada de Holden & Raitt, 1975).

FASE	ESTADO	ASPECTO GENERAL
I	Inmaduro	Ovarios ocupan cerca de 1/3 de la longitud de la cavidad abdominal, rosáceos, traslúcidos, ovocitos invisibles a simple vista.
II	Virgen madurando y en recuperación	Ovarios ocupan casi la mitad de la longitud la cavidad abdominal. Color rosado y ovocitos invisibles a simple vista.
III	Maduro	Los ovarios cubren cerca de 2/3 de la cavidad abdominal. Color rosado a amarillento. Aspecto granular, ovocitos visibles. Los ovocitos son grandes e idénticos a simple vista. Se observan vasos sanguíneos superficiales.
IV	Hidratado	Los ovarios ocupan toda la cavidad abdominal. Color anaranjado opaco a rosado, casi transparentes, con vasos sanguíneos superficiales poco visibles. Al presionar fluyen ovocitos hidratados, transparentes, del doble de tamaño que los ovocitos de una gónada madura.
V	En regeneración	Ovarios flácidos, distendidos, contraídos a la mitad de la cavidad abdominal. Las paredes son delgadas, flojas y lumen grande. Los ovarios pueden contener aún restos de ovocitos opacos, maduros y en desintegración, oscurecidos o traslúcidos, muy sanguinolientos. Este ovario pasa a la etapa II de esta escala.

## Epoca de desove

La época de desove se determinó según los siguientes indicadores: (i) evolución mensual del índice gonadosomático promedio de las hembras; (ii) evolución mensual del índice gonádico; y (iii) frecuencia mensual de hembras maduras. Se reconoce actividad reproductiva cuando estos índices alcanzan valores máximos dentro de un ciclo anual.

El índice gonadosomático (IGS), se define según la expresión:

1)...

$$IGS = \frac{PO}{PT - PO} 100$$

donde PO es el peso del ovario (gr) y PT el peso total del pez (gr). El IGS promedio consiste en el promedio de los IGS individuales de cada pez en una muestra.

El índice gonádico (IG), se define según la siguiente expresión:

2)...

$$IG = \frac{PO}{LT^3} 10000$$

donde PO ha sido definido previamente, mientras que LT es la longitud total del pez.

La frecuencia de hembras maduras se determina de acuerdo a la proporción total de hembras en estado de madurez III y IV respecto del total de estados de madurez que aparecen en una muestra.

El análisis permitirá hacer emerger una señal anual que indique la(s) época(s) de máxima actividad reproductiva, tanto de sardina común como de anchoveta.

### Primera madurez sexual

El análisis de la talla de primera madurez sexual se ha determinado para la sardina común por Cubillos & Arancibia (1993) y Arancibia *et al.* (1994) en base a los siguientes criterios: (i) criterio del máximo incremento porcentual del índice gonadosomático de las hembras entre clases de tamaño consecutivas de 0,5 cm (Finucane & Collins, 1984); y (ii) criterio del 50% de la fracción de hembras maduras (Balbontín & Fisher, 1981), utilizando la siguiente ecuación logística:

$$3)... \quad P_{LT} = \frac{100}{1 + e^{(a+b*LT)}}$$

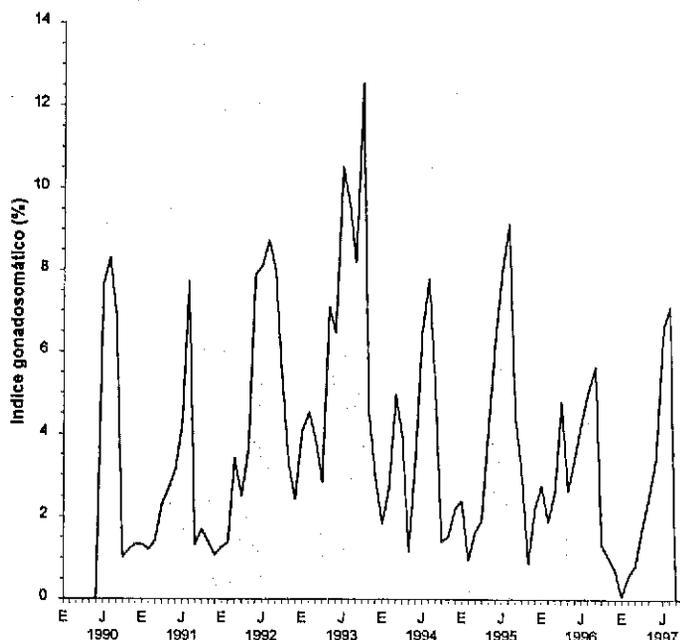
donde  $P_{LT}$  es la proporción de hembras sexualmente maduras a la longitud total  $LT$ ,  $a$  y  $b$  son constantes. El ajuste de la función de madurez se realizó mediante un ajuste no lineal con el paquete computacional SYSTAT.

La talla de primera madurez sexual se estima con información proveniente de los meses de agosto a octubre del período 1994-1996 en el caso de la sardina común; y entre agosto y noviembre de igual período de tiempo en el caso de la anchoveta. A su vez, se estima los intervalos de confianza del 95% para la talla de primera madurez sexual utilizando el programa MATSIM desarrollado por Roa *et al.* (en revisión).

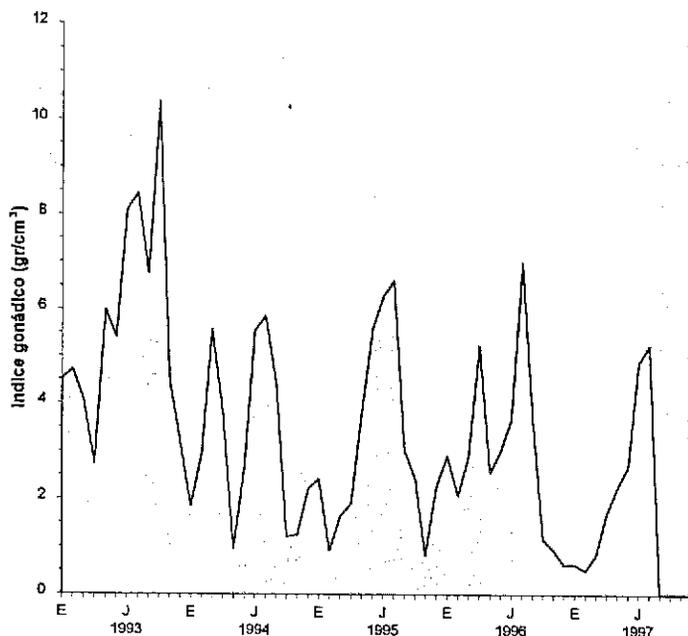
**Resultados**

**Epoca de desove**

La evolución mensual del índice gonadosomático promedio de las hembras de sardina común (IGS), indica la presencia de una época reproductiva principal entre junio y septiembre de cada año, con un máximo en agosto. Sin embargo, en 1993 la actividad reproductiva presenta dos máximos, uno en julio y otro en octubre. En 1996, el máximo reproductivo ocurrió en septiembre (Figura 1).



**Figura 1.** Evolución mensual del índice gonadosomático (IGS, %) promedio mensual de las hembras de sardina común entre junio de 1990 y agosto de 1997.



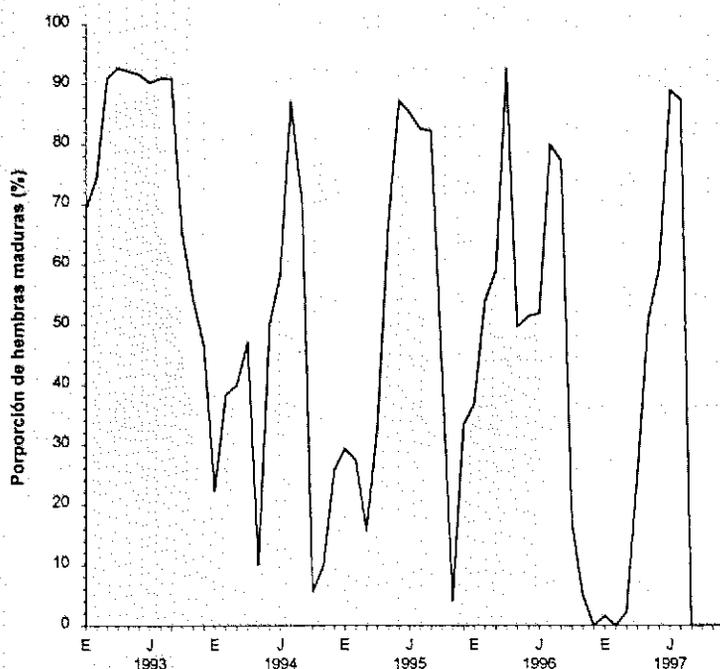
**Figura 2.** Evolución mensual del índice gonádico (IG, gr/cm³) promedio mensual de las hembras de sardina común entre enero de 1993 y agosto de 1997.

Además, se puede observar la presencia de períodos reproductivos secundarios que ocurrieron entre marzo y mayo en 1993 y 1994. En 1995 y 1996, estos períodos secundarios habrían tenido lugar entre enero y marzo (Figura 1). En 1997 se registra sólo la presencia de un período reproductivo principal cuyo máximo podría tener lugar en agosto.

La evolución mensual del índice gonádico (IG, Figura 2) presenta un comportamiento similar al observado

en el IGS, al menos en el período en que los registros son contemporáneos (enero de 1993 a agosto de 1997). De la misma manera que en el caso antes señalado, el IG indica la presencia de épocas reproductivas principales y secundarias en los mismos períodos descritos en cuanto a la evolución del IGS (Figura 1 y 2, respectivamente).

La evolución mensual de la proporción de hembras maduras (Figura 3) presenta rangos más amplios, particularmente en 1993 donde se encontró más de un 50% de hembras maduras entre enero y noviembre. En 1994 se encontró que entre julio y septiembre las hembras maduras constituyen más del 50% de los ejemplares muestreados. En 1995, la proporción de hembras maduras sobrepasan el 50% entre mayo y septiembre. A diferencia de lo anterior, en 1996, la proporción de hembras maduras presentan dos picos que superan el 50%, entre febrero y abril y junio-septiembre, respectivamente. Por otro lado, en 1997 se encuentra que entre junio y agosto las hembras maduras conforman más de la mitad de los ejemplares analizados (Figura 3).



**Figura 3.** Evolución mensual de la proporción de hembras maduras (%) de sardina común entre enero de 1993 y agosto de 1997.

De acuerdo a lo expuesto, la sardina común presentaría dos época de desove, una época reproductiva principal entre junio y septiembre, con máximo en agosto; y una época reproductiva secundaria entre marzo y mayo, no obstante, esta última no siempre es evidente.

En relación con la época de desove de anchoveta, la evolución mensual del índice gonadosomático indica que ésta tiene lugar entre julio y marzo, con máximos que ocurren entre octubre y diciembre de cada año (Figura 4). Sólo en 1994 el máximo reproductivo poblacional habría tenido lugar en septiembre. Además, a pesar de la falta de registros en noviembre y diciembre de 1996, en estos meses parece haber ocurrido el máximo reproductivo de esta especie en el período señalado.

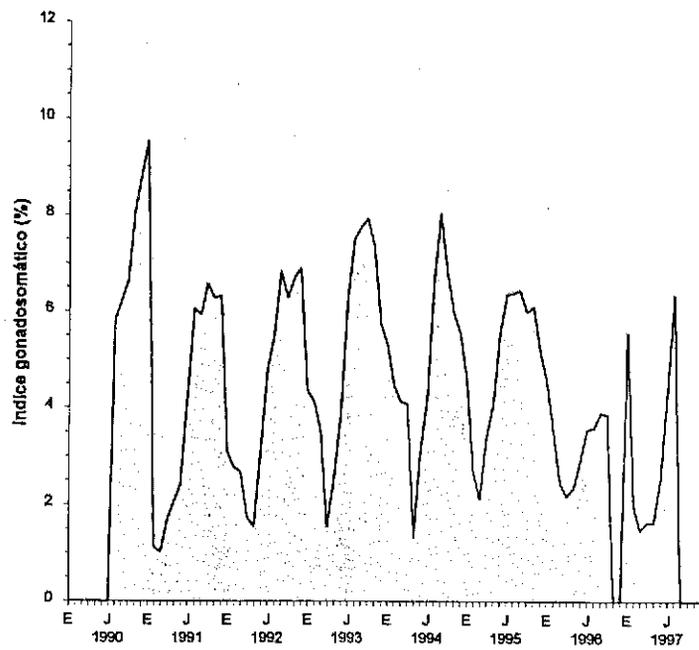


Figura 4. Evolución mensual del índice gonadosomático (IGS, %) promedio mensual de las hembras de anchoveta entre agosto de 1990 y agosto de 1997.

A diferencia de lo observado en cuanto a la evolución mensual del IGS de sardina común, en el caso de la anchoveta no es evidente la presencia de un período reproductivo secundario. No obstante, resulta importante destacar que la época reproductiva principal de la anchoveta es más prolongada que de la sardina. Por otro lado, la evolución mensual del índice gonádico presenta una evolución temporal similar al registrado por el IGS, al menos en el período en que la data es coincidente.

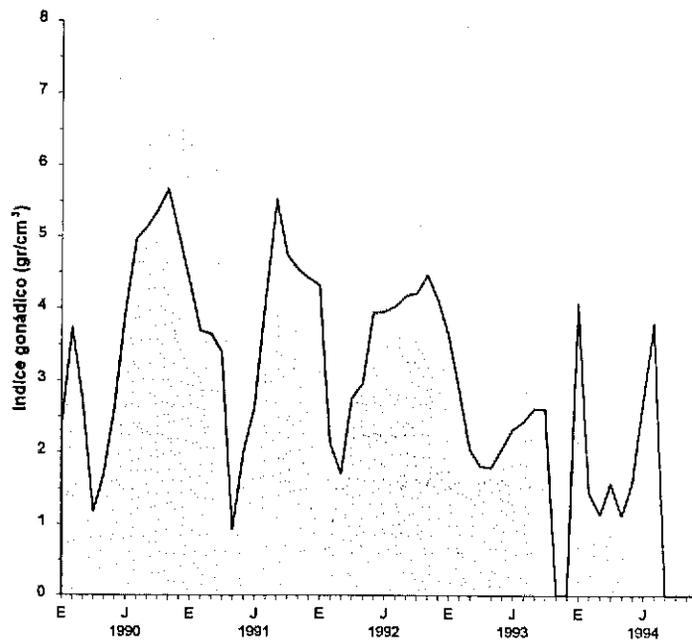


Figura 5. Evolución mensual del índice gonádico (IG,  $gr/cm^3$ ) promedio mensual de las hembras de anchoveta entre enero de 1993 y agosto de 1997.

De la misma manera, se puede observar concordancia en los máximos reproductivos (Figura 5).

En cuanto a la evolución temporal de la proporción de hembras maduras de anchoveta (Figura 6), de forma similar a lo observado en sardina común, ésta presenta rangos más amplios que los registrados por el IGS e IG, a excepción del período de desove observado en 1994 (Figura 6).

**Primera madurez sexual**

**Criterio del máximo incremento relativo del IGS**

El índice gonadosomático promedio de las hembras de sardina común, agrupadas en clases de longitud cada 0,5 cm presenta un crecimiento sostenido desde los 9 cm de longitud total (LT) hasta los 13,5 cm LT (Figura 7). Sin embargo, incrementos substanciales se observan entre las clases de talla de 9,0 a 9,5 cm LT y 9,5 - 10, cm LT (Figura 7).

El índice gonadosomático promedio de las hembras de sardina común,

agrupadas en clases de longitud cada 0,5 cm presenta un crecimiento sostenido desde los 9 cm de

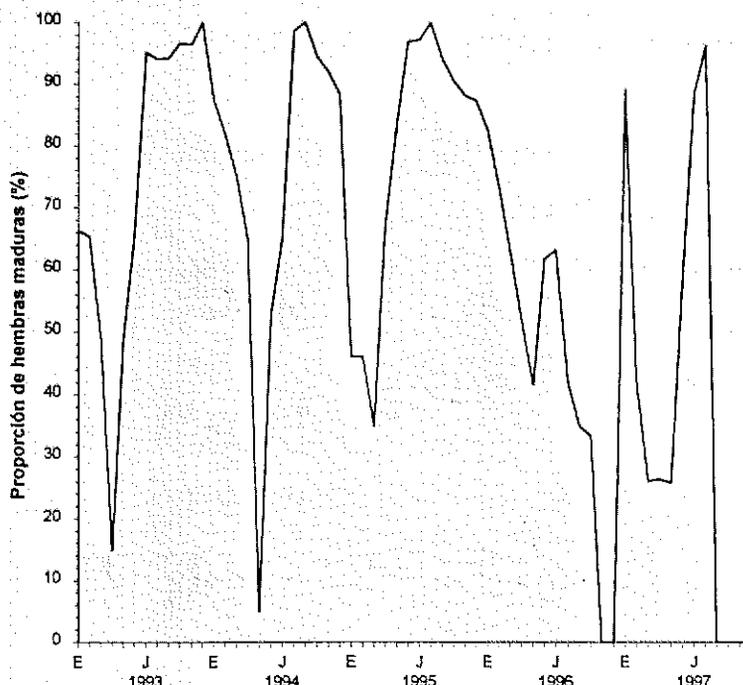


Figura 6. Evolución mensual de la proporción de hembras maduras (%) de anchoveta entre enero de 1993 y agosto de 1997.

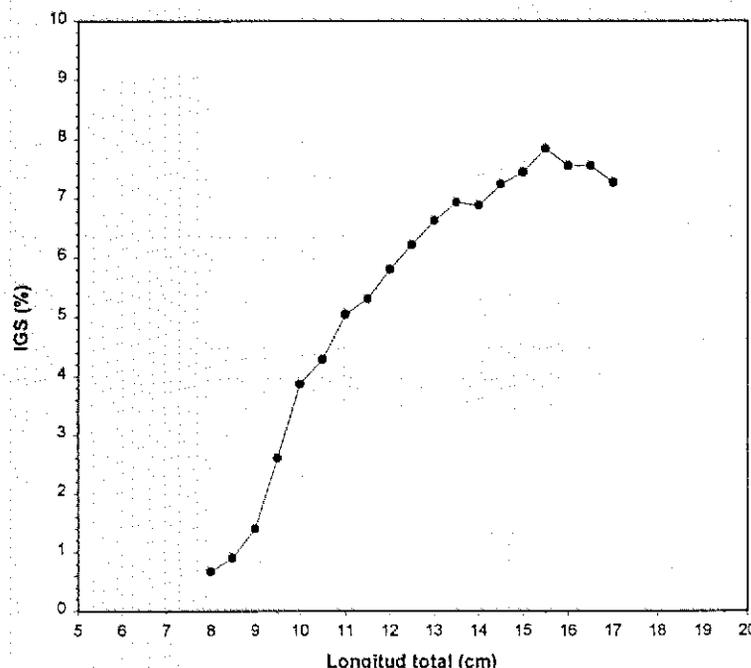
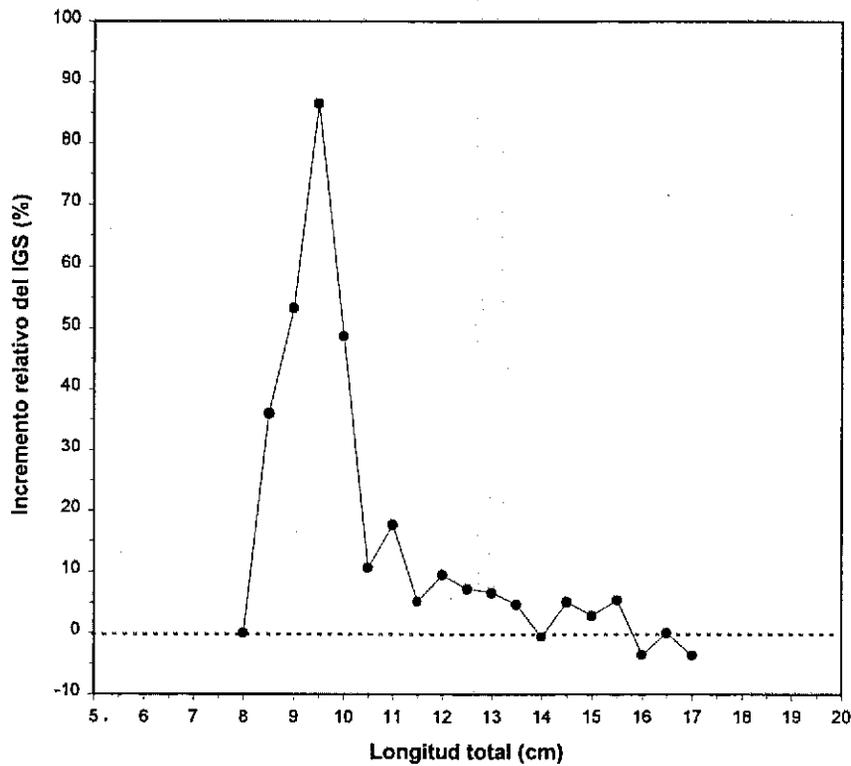


Figura 7. Índice gonadosomático (IGS, %) promedio por clase de longitud de sardina común.

longitud total (LT) hasta los 13,5 cm LT (Figura 7). Sin embargo, incrementos substanciales se observan entre las clases de talla de 9,0 a 9,5 cm LT y 9,5 - 10, cm LT (Figura 7).

El análisis del incremento porcentual máximo del índice gonadosomático en sardina común, revela que el máximo crecimiento de las magnitudes promedio del IGS se encuentra en a los 9,5 cm LT, correspondiendo a la talla de primera madurez sexual en base a este criterio (Figura 8).



**Figura 8.** Incremento relativo del índice gonadosomático (IGS, %) promedio por clase de longitud de sardina común.

En el caso de anchoveta, el índice gonadosomático promedio por clase de longitud presenta un crecimiento lento en las primeras clases de tamaño, esto es, entre 8,0 y 10,0 cm de longitud total, momento a partir del cual el IGS promedio inicia un incremento sostenido hasta los 15,5 cm de LT (Figura 9). De acuerdo a lo anterior, y utilizando el mismo criterio aplicado en el caso de sardina común, la talla de primera madurez sexual de anchoveta debería encontrarse entre 10,5 y 15,5 cm de LT.

Por lo tanto, de la observación del incremento relativo del índice gonadosomático promedio por clase de longitud de anchoveta, se desprende que el crecimiento máximo del IGS se encuentra en el rango 10,0 - 10,5 cm de LT, correspondiendo entonces la talla de primera madurez sexual a 10,5 cm LT (Figura 10).

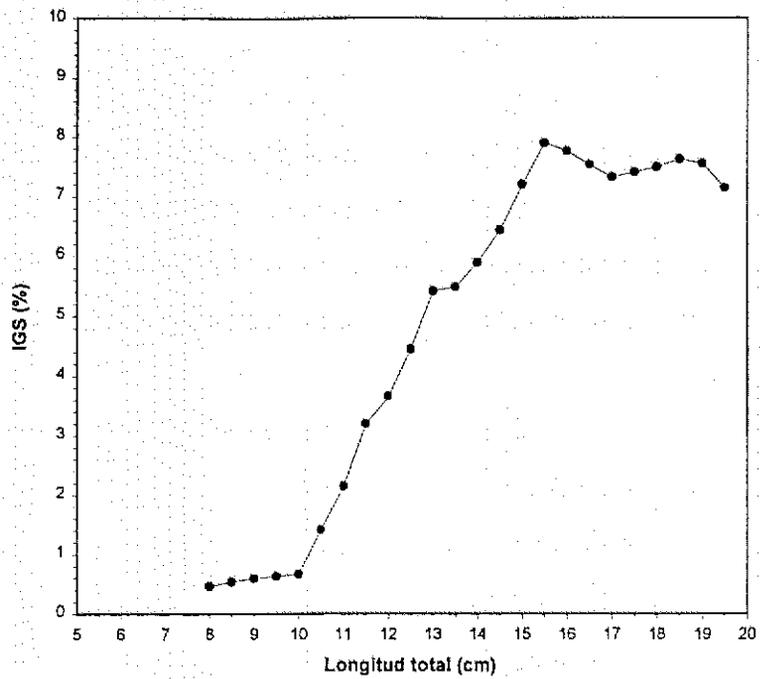


Figura 9. Índice gonadosomático (IGS, %) promedio por clase de longitud en las hembras de anchoveta.

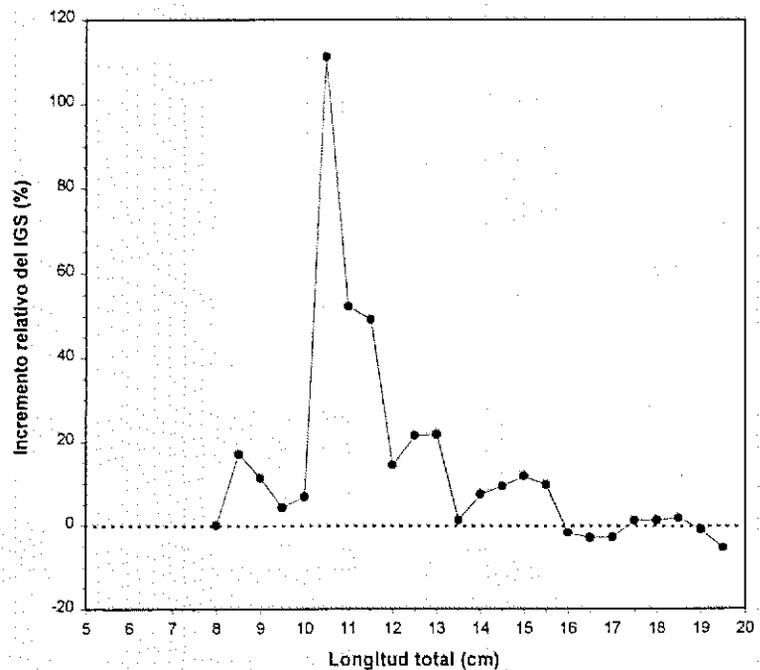
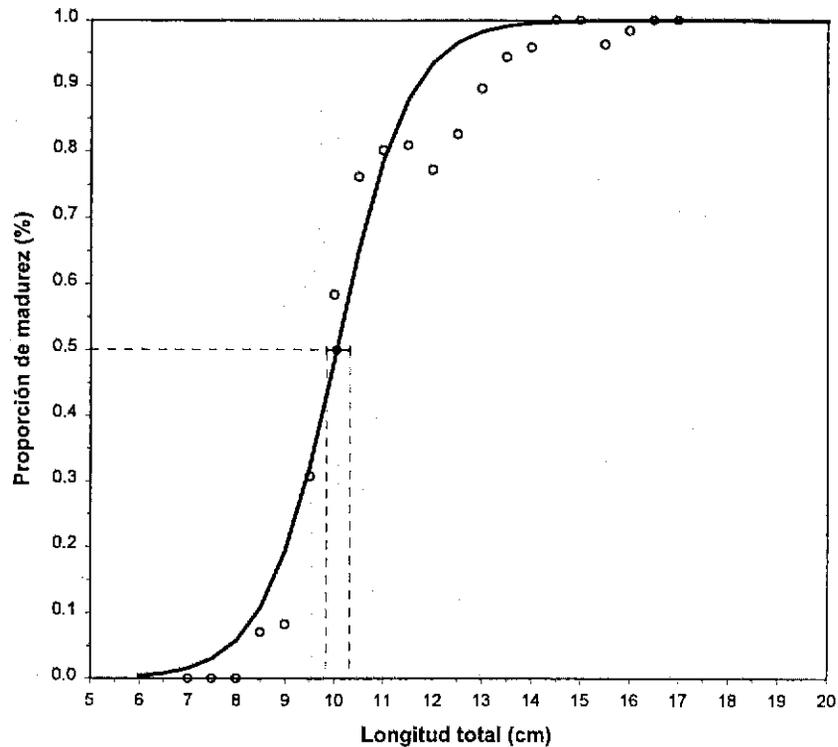


Figura 10. Incremento relativo del índice gonadosomático (IGS, %) promedio por clase de longitud de anchoveta.

**Criterio del 50% de hembras maduras**

La talla de primera madurez sexual determinada en base al criterio del 50% de hembras maduras (Coello & Arriaga, 1989; Alarcón & Arancibia, 1993; Arancibia *et al.*, 1994) implica separar a las hembras de acuerdo a sus respectivos estados de madurez macroscópicos, correspondiendo las hembras maduras a aquellas que presentan los estados III, IV y IV (Arancibia *et al.*, 1994).

En el caso de sardina común, la talla de primera madurez sexual corresponde a 10 cm de longitud total (Figura 11). El intervalo de confianza del 95% de la talla de madurez arrojó como límite inferior 9,8 cm LT, y como límite superior 10,3 cm LT (Tabla 2).

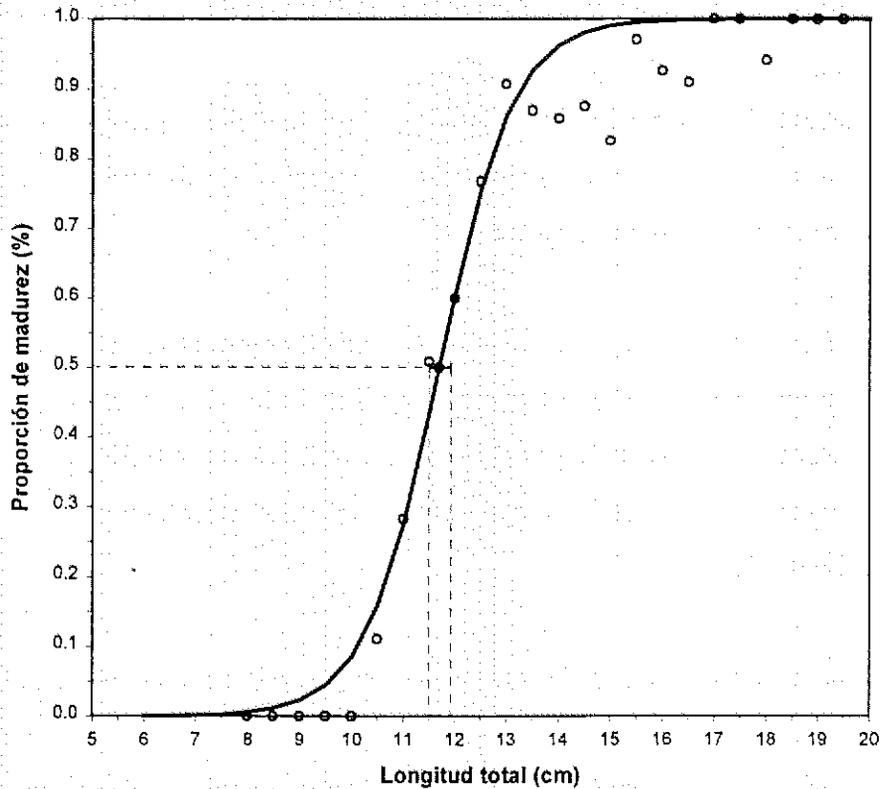


**Figura 11.** Talla de primera madurez sexual de sardina común en base al criterio del 50% de hembras maduras.

**Tabla 2.** Talla media de madurez sexual de sardina común y anchoveta e intervalos de confianza del 95% a distintas proporciones de hembras maduras.

	sardina común	Anchoveta
Estimado	10,0	11,7
Lím. Inferior	9,8	11,5
Lím. Superior	10,3	11,9

En relación con la talla de primera madurez sexual de anchoveta en base al criterio del 50% de hembras maduras, ésta corresponde a 11,7 cm LT (Figura 12). El límite inferior y superior del intervalo de confianza de 95% corresponde a 11,5 y 11,9 cm de longitud total, respectivamente (Tabla 2).



**Figura 12.** Talla de primera madurez sexual de anchoveta en base al criterio del 50% de hembras maduras.

### Discusión

Siguiendo a Balbontín & Fischer (1981), una mayor fracción de los estados de madurez sexual "en maduración", "maduro" e "hidratado" refleja un aumento de la actividad ovarica, con el desarrollo de los ovocitos, y preparación de éstos previo al desove. En el caso de la sardina común y anchoveta, la evolución temporal de la frecuencia de los estados de madurez III y IV ha permitido corroborar las tendencias mostradas por el índice gonadosomático y gonádico, tanto en sardina común y anchoveta, para establecer que la época de desove. En la sardina común, la

época de desove ocurre a fines del invierno (agosto), lo que concuerda con lo comunicado por otros autores, entre ellos Arrizaga (1981), Mujica & Rojas (1984), Arancibia *et al.* (1994). En el caso de la anchoveta, la época de desove tiende a ocurrir más hacia inicios de primavera (septiembre), extendiéndose hasta noviembre.

No obstante lo anterior, debido a que ambas especies son desovantes parciales, es probable que la extensión del período de desove en cada año sea dependiente de las condiciones ambientales y de la estructura demográfica del stock. En este contexto, es altamente necesario comenzar a investigar la influencia de factores bióticos y abióticos sobre el ciclo reproductivo de estos pelágicos pequeños, no sólo en lo que respecta a la ocurrencia de actividad ovarica sino también sobre los efectos en la extensión e intensidad.

En la sardina común destaca la ocurrencia de una actividad reproductiva secundaria, principalmente al término del verano (febrero-marzo). En el caso de la anchoveta este período de actividad reproductiva secundaria no es evidente en los indicadores reproductivos analizados, pero estudios ictioplantónicos revelan que al término del verano también ocurre un desove secundario (Sepúlveda, 1990).

La talla de primera madurez sexual de la sardina común como de la anchoveta, en base al criterio del máximo incremento del índice gonadosomático y al criterio del 50% de hembras maduras, son diferentes. En efecto, se encontró que la talla de primera madurez sexual estimada en base al incremento del IGS fue menor que la estimada en función de la fracción de hembras maduras. Por otro lado, la talla de primera madurez sexual de sardina común determinada en base al criterio del 50% de hembras maduras, es inferior a la informada anteriormente por Arancibia *et al.* (1994) utilizando muestras obtenidas entre agosto y octubre de 1991 y el mismo criterio de estimación del parámetro poblacional. Estos autores indican una talla de madurez sexual de 11 cm LT. Sin embargo, Mujica & Rojas (1984) informaron 10 cm de longitud total. Aunque 1 cm de diferencia parece no ser significativo, las implicancias biológicas y pesqueras de una disminución de la talla media de madurez sexual de sardina común debe ser analizada con mayor detención.

Cabe señalar que el estudio realizado por Arancibia *et al.* (1994) estuvo particularmente dirigido a estimar la talla de madurez sexual de sardina común. En cambio, los resultados aquí entregados se basan en la asociación de muestreos realizados en distintos períodos. A pesar de lo anterior, parece razonable pensar en una talla de madurez sexual de 10 cm LT para sardina común, sobre todo porque muestras de ejemplares de 8,5 hasta 9,5 cm están mejor representados en este estudio que en el trabajo de Arancibia *et al.* (1994).

En el caso de anchoveta, la talla de primera madurez sexual estimada por los dos criterios aquí utilizados son inferiores a lo informado anteriormente por Cubillos & Arancibia (1993) de 12 cm LT. No obstante, estos autores señalan que para el período por ellos evaluado, la composición de tallas del recurso estaba constituida por una fuerte fracción de ejemplares mayores a 11 cm LT, de acuerdo a lo cual la talla de primera madurez por ellos estimada podría estar sobreestimada.

Se destaca que los indicadores analizados en este estudio son de carácter global, resumidores de la actividad gonádica promedio en un período de tiempo dado. La clasificación de las gónadas de las hembras en los distintos estados macroscópicos de madurez sexual puede contener errores debido a la subjetividad en el reconocimiento de los distintos estados, sobre todo cuando las muestras se encuentran en mal estado. En este contexto, es importante hacer notar que aunque los objetivos han sido logrados, la mejor alternativa para solucionar la incógnita de la talla de madurez sexual de sardina común como de anchoveta, sería incorporar criterios histológicos.

### Referencias

- Aguayo, H.M. & S.B. Soto. 1978. Edad y crecimiento de la sardina común (*Clupea (Strangomera) bentincki*) en Coquimbo y Talcahuano. Invest. Pesq. (Chile), 27:1-55.
- Alarcón, R. & H. Arancibia. 1993. Talla de primera madurez sexual y fecundidad parcial en la merluza común, *Merluccius gayi* (Guichenot, 1848). Ciencia y Tecnología del Mar, CONA. 16: 33-45.
- Arancibia, H., L. Cubillos, J. Remmaggi & R. Alarcón. 1994. Determinación de la talla de primera madurez sexual y fecundidad parcial en la sardina común, *Strangomera bentincki* (Norman, 1936), del área de Talcahuano, Chile. Biol. Pesq. 23:11-17

- Arrizaga, A. 1981. Nuevos antecedentes biológicos para la sardina común, común *Clupea (Strangomera) bentincki* Norman 1936. Bol.Soc.Biol. Concepción, 52:5-66.
- Arrizaga, A. & C. Veloso. 1982. Estimación de mortalidades (M, F y Z) y del coeficiente de capturabilidad (q) en la sardina común, *Clupea (Strangomera) bentincki* Norman 1936, de Talcahuano-Chile. Monogr. Biol., 2:39-49.
- Balbontín, F. & W. Fisher. 1981. Ciclo sexual y fecundidad de la merluza *Merluccius gayi*, en la costa de Chile. Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 17(3):285-334.
- Coello, S. & L. Arriaga. 1989. Aspectos reproductivos de la sardina del sur (*Sardinops sagax*) en aguas ecuatorianas. En: Memorias del Simposio Internacional de los Recursos Vivos y las Pesquerías en el Pacífico Sudeste. Viña del Mar, mayo de 1988. Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS). Revista de la Comisión Permanente del Pacífico Sur (Número Especial), 1989: 229-233.
- Cubillos, L. & H. Arancibia. 1993a. Análisis de la pesquería de sardina común y anchoveta del área de Talcahuano, situación actual y perspectivas. Documentos Técnicos del Instituto de Investigación Pesquera (IIP), Talcahuano, Chile 2(2):1-19.
- Cubillos, L. & H. Arancibia. 1993b. Análisis de la pesquería de sardina común (*Strangomera bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) del área de Talcahuano, Chile. Investigaciones Marinas 21:3-21.
- Cubillos, L. & H. Arancibia. 1993c. On the seasonal growth of common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) off Talcahuano, Chile. Revista de Biología Marina 28(1):43-49.
- Cubillos, L.; H. Arancibia, S. Núñez, R. Alarcón, G. Valenzuela, L. Vilugrón, y D. Arcos. 1994. Evaluación indirecta del stock de sardina común en la VIII Región. Informe Final, Fondo de Investigación Pesquera/Instituto de Investigación Pesquera. Documentos Técnicos del Instituto de Investigación Pesquera (IIP), Talcahuano, Chile 2(2), 19 p.
- Cubillos, L., R. Gili, R. Alarcón, L. Vilugrón, A. Hernández, L. Miranda & H. Arancibia. 1996. Informe final proyecto FIP N° 94-11: "Evaluación de la pesquería y del stock de sardina común en la zona centro-sur".
- Cubillos, L., M. Canales, D. Bucarey, R. Alarcón, A. Hernández & L. Miranda. (en revisión). Poder de pesca, esfuerzo de pesca y cambios estacionales e interanuales en la abundancia relativa de *Strangomera bentincki* y *Engraulis ringens* en el área frente a Talcahuano, Chile (1990-1995).
- Finucane, J.H. & L.A. Collins. 1984. Reproductive biology of cero, *Scomberomorus regalis*, from the coastal waters of south Florida. Northeast Gulf Sci., 7(1):101-107.

- Fonseca, T.R., E. Yáñez & O. Barra. 1986. Relación entre la temperatura superficial del mar y capturas comerciales en el área de Talcahuano entre 1965 y 1976. In: La Pesca en Chile, P. Arana (De.), Escuela de Ciencias del mar, UCV, Valparaíso, pp. 243-248.
- Holden, M.J. & D.F.S. Raitt. 1975. Manual de ciencia pesquera. Parte 2: Métodos para investigar los recursos y su aplicación. Doc. Téc. FAO. Pesca (115), Rev. 1:211 p.
- Mujica, A. & O. Rojas. 1984. Fecundidad y estructura poblacional de sardina común (*Clupea bentincki*, Norman) (Clupeiformes-Clupeidae). Invest. Pesq. (Chile), 31:59-69.
- Roa, R., B. Ernst & F. Tapia. 1997 (En revisión). Estimation of size at sexual maturity: evaluation of analytical and resampling procedure. Fish. Bull..
- Sepulveda, A. 1990. Variabilidad temporal del ictioplancton en el área de surgencia costera de Chile central: procesos ambientales y biológicos asociados. Tesis de Magister en Ciencias, mención Oceanografía. Escuela de Graduados, Universidad de Concepción, 85 p.
- Serra, J.R. 1978. La pesquería de sardina común (*Clupea (Strangomera) bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) de Talcahuano: análisis de su desarrollo y situación actual. Invest. Pesq. (Chile), 29: 1-21.
- Serra, J.R. 1983. Changes in the abundance of pelagic resources along the Chilean coast. En: Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources. G.D. Sharp & J. Csirke (Eds.). FAO Fish. Rep. N° 291, Vol 2, p. 255-284.
- Yáñez, E.; M.A. Barbieri & A. Montecinos. 1990. Relaciones entre las variaciones del medio ambiente y las fluctuaciones de los principales recursos pelágicos explotados en la zona de Talcahuano, Chile. In: Perspectivas de la Actividad Pesquera en Chile, M.A. Barbieri (De.), Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso, pp. 49-62.

## 1.4. *Estructura de tallas*

**Estructura de tallas de sardina común y  
anchoveta en las capturas de la zona centro-sur  
de Chile (1990-1997)**

**Mariella Canales, Doris Bucarey, Lidia Vilugrón, Luis Cubillos**

**Resumen Ejecutivo**

Se analiza la estructura de tallas de sardina común y anchoveta en las capturas de la flota de cerco de la zona centro-sur en el período comprendido entre 1990 y 1997, con el objeto de determinar la época de reclutamiento y patrones estacionales del tamaño de grupos de peces que están siendo removidos por la pesca. En la sardina común se identifica una época de reclutamiento principal que se manifiesta en noviembre de cada año con la presencia de un grupo compuesto por ejemplares de tamaño modal de 6 a 7 cm de longitud total en las capturas. Estos ejemplares de alrededor de cuatro meses de edad provienen del período reproductivo principal que ocurre a fines del invierno (julio-agosto). Una vez ocurrido el reclutamiento, estos ejemplares son sucesivamente capturados por la flota, principalmente durante todo el período estival. En algunos años, y aparte del reclutamiento principal, se observa la ocurrencia de un reclutamiento en junio-julio, probablemente debido a la ocurrencia de un desove secundario a comienzos del período invernal (marzo-abril). La estructura de tamaños en las capturas de anchoveta es menos regular que el comportamiento y evolución de la estructura de tallas de sardina común. No obstante, se reconoce la presencia de una cohorte que ingresa a las capturas en los meses de mayo y junio.

## Introducción

La sardina común (*Strangomera bentincki*, Norman 1936) y anchoveta (*Engraulis ringens*, Jenyns 1842) sustentan una importante actividad pesquera, tanto artesanal como industrial, en la zona centro-sur de Chile. Actualmente, constituyen el segundo recurso pesquero que se desembarca en los puertos de la Quinta y Octava Región. Esta importancia para el sector pesquero ha incidido en el desarrollo de varias investigaciones de carácter biológico-pesquero con el objeto de comprender la dinámica poblacional de estos recursos y las causas que inciden en los cambios de la abundancia.

Desde el punto de vista biológico-pesquero, el análisis de la distribución de frecuencia de tallas de un recurso que está siendo vulnerado por un arte particular de pesca y por una flota pesquera es uno de los aspectos más importantes. Con el objeto de detectar los cambios biológicos que están ocurriendo en la pesquería de sardina común y anchoveta que se desarrolla en la zona centro-sur de Chile, el Instituto de Investigación Pesquera implementó en 1990 un programa de vigilancia biológico-pesquera para ambos recursos. Dicho programa ha permitido generar información básica y relevante para un sinnúmero de análisis de carácter biológico-pesqueros (Cubillos & Arancibia, 1993a,b,c; Cubillos *et al.*, 1994).

Este estudio pretende caracterizar los patrones y cambios que se han presentado en la estructura de tallas de sardina común y anchoveta en las capturas de la flota de cerco de la zona centro-sur de Chile en el período 1990-1997. El énfasis del análisis estará en la caracterización de patrones estacionales de tamaños y grupos de peces que están siendo capturados sucesivamente en el tiempo, así como en hacer emerger la ocurrencia del reclutamiento de ambas especies en la zona centro-sur de Chile.

**Materiales y Métodos**

Con el objeto de caracterizar la evolución de la estructura de tamaños de sardina común y anchoveta en las capturas, se analizó distribuciones de frecuencia de tallas mensuales que cubren el período comprendido entre julio de 1990 a julio de 1997 en el caso de la sardina común, y desde enero de 1991 a julio de 1997 en el caso de la anchoveta.

Esta información proviene de los muestreos de vigilancia biológico-pesquera que el Instituto lleva sobre estos recursos, los cuales han sido documentados en Cubillos & Arancibia (1993a,b,c) Cubillos *et al.*, 1996). El tamaño de muestra mensual se indica en las Tablas 1, y se refiere a muestreos realizados principalmente en los puertos de la Octava Región.

**Tabla 1.** Tamaño de las muestras de frecuencias de tallas de sardina común y anchoveta, obtenidas mensualmente en la pesquería de cerco de la zona de Talcahuano.

a) sardina común

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1990	-	-	-	-	-	-	1.052	415	171	382	270	913	3.203
1991	2.599	2.043	2.129	1.863	783	1.785	2.520	2.595	1.803	3.110	1.994	2.225	25.449
1992	2.182	1.922	1.049	615	640	278	389	116	427	370	1.086	808	9.882
1993	973	450	340	183	472	169	1.048	966	642	839	2.183	1.129	9.394
1994	1.479	677	71	246	338	851	852	842	455	1.487	1.795	1.791	10.884
1995	1.101	963	2.757	1.024	1.994	617	1.267	1.873	1.462	3.258	2.006	5.447	23.769
1996	5.003	4.767	4.523	3.487	2.409	2.579	2.961	2.408	2.462	2.624	1.006	2.971	37.200
1997	4.610	3.831	2.427	2.036	1.970	1.633	2.325	1.627					20.459

(b) anchoveta

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1991	423	463	718	777	623	217	0	1.226	973	1.441	935	674	8.470
1992	667	1.483	1.784	1.144	1.098	579	1.987	457	377	600	797	161	11.134
1993	435	605	1.110	1.269	850	401	832	873	997	730	176	426	8.704
1994	1.123	681	894	866	1.070	560	1.111	1.364	1.185	1.106	676	1.607	12.243
1995	1.177	839	3.591	3.170	4.427	1.355	3.037	629	4.374	2.645	1.240	378	26.862
1996	127	431	860	791	728	637	776	1.193	1.990	1.932	69	37	9.571
1997	421	1.146	1.052	1.868	1.299	567	699	359					7.411

El tratamiento de la información dice relación con la determinación de la composición por tallas (proporción de cada talla) mensuales del desembarque, que se determina de acuerdo con la suma ponderada de las frecuencias de tallas obtenidas de cada embarcación muestreada en el mes. En efecto, ya que la estructura de tallas en las capturas de algunas embarcaciones que operan en ciertas áreas puede ser distinta de la estructura de tallas de otras embarcaciones que operan en otras áreas, a la frecuencia de tallas de cada embarcación muestreada se le asigna una ponderación consistente en la razón entre la captura de la embarcación muestreada y el peso de la muestra medida, i.e.

1)...

$$FP_i = \frac{C_i}{WM_i}$$

donde  $FP_i$  es el factor ponderador para las frecuencias de tallas que se estima del barco  $i$ ,  $C_i$  es la captura (toneladas) de la embarcación  $i$  muestreada y  $WM_i$  es el peso de la muestra obtenida y medida de la embarcación  $i$ . Por lo tanto, la frecuencia mensual a una determinada clase de longitud estará dada por

2)...

$$f_{jt} = \sum_{i=1}^m f_{ijt} FP_i$$

donde  $f_{jt}$  es la frecuencia ponderada de la clase de longitud  $j$  en el mes  $t$ ,  $f_{ijt}$  es la frecuencia de la clase de longitud  $j$  del barco  $i$  muestreada en el mes  $t$ ;  $FP_i$  es el ponderador para el barco  $i$ , y  $m$  es el número total de barcos muestreados.

Posteriormente, los valores de  $f_{jt}$  se relativizan dividiendo cada frecuencia de una clase de longitud por el total que da la sumatoria de las frecuencias de todas las clases de longitud.

La composición por tallas, o estructura de tallas, se presentará a la forma de una serie de tiempo mensual de 12 meses, con el objeto de caracterizar patrones estacionales del tamaño y grupos de ejemplares que están siendo capturados sucesivamente a lo largo del año. A su vez, este análisis servirá para visualizar grupos de tamaños dominantes en las capturas y la época de reclutamiento.

Los criterios para identificar grupos de peces juveniles de adultos se basa en la estimación de la tallas de primera madurez sexual estimada en 10 cm para la sardina común y en cerca de 11,7 cm de longitud total en el caso de la anchoveta (ver Alarcón *et al.*, en este informe). Para establecer la época de reclutamiento se considera como ejemplares reclutas a aquellos peces que conformen un grupo modal más pequeño y bien definido en la estructura de tallas, los cuales posteriormente deben ser capaces de exhibir una progresión modal evidente en el tiempo.

### Resultados

#### sardina común

La flota de cerco ha capturado ejemplares de sardina común comprendidos entre 3 y 19 cm de longitud total (Tabla 2), mientras que la talla promedio ha fluctuado entre 5,6 cm (noviembre de 1993) y 14,7 cm (agosto de 1990) (Tabla 3).

**Tabla 2.** Rango de tallas en las muestras de frecuencia de tamaños de sardina común obtenidas mensualmente en la pesquería de cerco de Talcahuano.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
	mín - máx	mín - máx	Mín - máx	mín - máx	mín - máx	mín - máx
1990	-	-	-	-	-	-
1991	4,0 - 18,0	5,5 - 17,5	5,0 - 17,0	5,0 - 18,0	4,5 - 15,5	5,0 - 17,0
1992	4,5 - 17,0	5,0 - 15,5	5,5 - 15,0	7,5 - 15,0	8,0 - 16,0	7,5 - 16,5
1993	4,5 - 10,5	6,0 - 11,5	6,5 - 15,5	8,5 - 16,0	4,5 - 16,0	6,0 - 15,5
1994	5,5 - 14,5	7,0 - 14,5	9,0 - 15,0	7,5 - 15,5	7,5 - 13,0	7,5 - 17,0
1995	6,0 - 14,5	8,0 - 16,0	7,5 - 15,5	6,0 - 15,5	4,5 - 16,0	5,0 - 16,5
1996	4,0 - 17,0	5,0 - 16,5	6,0 - 16,0	6,0 - 16,5	4,0 - 17,0	5,0 - 16,0
1997	4,0 - 17,0	4,5 - 16,5	5,5 - 17,0	5,5 - 18,0	5,0 - 17,5	7,5 - 17,5
	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	mín - máx	mín - máx	Mín - máx	mín - máx	mín - máx	mín - máx
1990	8,5 - 17,5	10,5 - 17,5	9,0 - 17,0	11,5 - 17,5	9,5 - 17,5	3,0 - 17,0
1991	5,0 - 16,0	5,5 - 19,0	7,0 - 16,5	4,5 - 17,5	5,0 - 17,5	3,5 - 17,5
1992	5,0 - 16,5	6,0 - 15,5	10,0 - 17,5	10,5 - 17,0	3,0 - 15,0	3,5 - 10,0
1993	4,5 - 16,0	5,0 - 15,5	4,0 - 16,0	4,0 - 14,5	3,0 - 14,5	4,5 - 12,0
1994	7,5 - 15,5	8,5 - 15,5	5,5 - 14,5	4,5 - 16,0	4,0 - 16,0	4,0 - 15,5
1995	5,0 - 16,5	5,5 - 16,5	6,0 - 15,5	7,5 - 16,0	5,0 - 16,0	4,0 - 17,0
1996	5,0 - 17,0	4,5 - 17,0	6,5 - 17,0	6,0 - 17,0	5,0 - 17,0	4,0 - 16,5
1997	8,0 - 17,0	8,5 - 17,5				

**Tabla 3.** Talla promedio (cm) de sardina común observada en las muestras mensuales de la pesquería de cerco en Talcahuano.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
1990	-	-	-	-	-	-
1991	10,2	10,0	9,2	8,7	8,3	8,8
1992	8,7	8,7	9,4	10,7	11,2	10,4
1993	8,0	8,3	10,0	12,0	10,1	11,3
1994	9,3	9,8	11,6	10,5	10,4	10,0
1995	9,1	11,7	12,6	10,5	11,7	10,8
1996	8,9	8,8	8,9	9,7	10,6	9,2
1997	8,8	9,5	11,4	11,8	11,9	12,7
	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1990	14,6	14,7	13,2	14,5	14,3	9,2
1991	9,0	12,1	10,2	11,8	11,0	7,5
1992	12,6	11,83	13,8	13,3	6,4	6,2
1993	10,1	7,6	10,4	7,5	5,6	7,2
1994	10,8	10,6	11,4	12,7	9,3	7,7
1995	12,4	13,7	12,4	13,5	13,8	8,1
1996	11,4	9,8	13,2	12,0	11,1	6,8
1997	13,1	14,1				

En la segunda mitad de 1990 las capturas de sardina común fueron sostenidas principalmente por individuos de 15 cm de longitud total (LT), observándose en septiembre y noviembre ejemplares más jóvenes con moda en 10 y 11,5 cm LT respectivamente. En diciembre, se presenta claramente el ingreso a la pesquería de individuos reclutas de 6,5 cm de LT (Figura 1).

En enero y febrero de 1991, las capturas estuvieron constituidas por un amplio rango de tallas incluyendo ejemplares reclutas, juveniles y adultos. En marzo aparece un grupo modal en los 6,5 cm de LT que estuvo presente en las capturas hasta diciembre de este mismo año, comenzando a dominarlas a partir del mes de septiembre. Durante agosto aparece un grupo modal más longevo con talla en los 16 cm de LT, el cual desapareció de las capturas en los meses sucesivos. El reclutamiento a la pesquería se observó a partir de noviembre a la talla de 6 cm de LT dominando las capturas durante el mes de diciembre (Figura 2).

En 1992 las capturas de sardina común durante el primer trimestre del año fueron sostenidas mayoritariamente por ejemplares juveniles reclutados a esta pesquería en diciembre de 1991. Este grupo mantuvo su presencia en las capturas hasta julio alcanzando tallas de 9,5 y 10,5 cm de LT. A partir de julio se observó un grupo modal de mayor tamaño en las capturas de 14 y 15 cm de LT el cual dominó hasta octubre de este mismo año. En los meses de noviembre y diciembre las capturas estuvieron sustentadas fundamentalmente por el reclutamiento de individuos de 6 y 6,5 cm de LT (Figura 3).

Al igual que en el año anterior, las capturas en los primeros meses de 1993 estuvieron conformadas principalmente por individuos juveniles reclutados en 1992, manteniéndose esta situación hasta el mes de abril. En este último mes se observó la presencia de un grupo modal secundario correspondiente a individuos con talla entre los 14 y 15 cm de LT. Durante el período mayo-julio el rango de tallas que conformó las capturas fue más amplio, dominado por talla mayores a los 10 cm de LT. A partir del mes de julio se observaron reclutas conformando las capturas, los cuales en agosto constituyeron el grupo modal principal con una talla promedio de 6,5 cm de LT. Esta situación es poco usual para la época ya que el reclutamiento de sardina común ocurre comúnmente durante la época estival, los cuales probablemente provengan del desove secundario de esta especie, el cual ocurre durante marzo-abril. En septiembre las capturas se caracterizan por un amplio rango de tallas, ausencia de un grupo modal claramente definido y la desaparición temporal del grupo modal de individuos reclutas ya que en octubre este grupo reaparece sosteniendo las capturas hasta diciembre de 1993 (Figura 4).

Durante el período enero-mayo de 1994 las capturas estuvieron conformadas por un solo grupo modal principal, el cual alcanzó en mayo una talla de 10 cm de LT. En junio un nuevo grupo modal se presentó en las capturas con moda en los 9,5 cm de LT dominando hasta octubre de ese mismo año. En noviembre vemos que este grupo pierde importancia pasando a constituir un grupo modal secundario con talla promedio en los 12 cm de LT. Además se observó el ingreso de reclutas (individuos de 6 cm de LT) a la pesquería los cuales constituyeron el grupo modal principal situación que se mantuvo hasta diciembre donde las capturas fueron sostenidas exclusivamente por individuos reclutas (Figura 5).

En los meses de enero y febrero de 1995 se observan individuos reclutados a la pesquería en noviembre y diciembre del año anterior que en febrero alcanzan los 10 cm de LT. En este mismo mes aparecieron en las capturas individuos adultos cuya moda se situó en los 13,5 cm de LT y que solo formaron parte de las capturas hasta el mes de marzo. A partir de abril se presentó un nuevo grupo modal principal cuya moda se situó en los 9,5 cm LT, el cual sostuvo las capturas hasta noviembre de este mismo año desapareciendo prácticamente de éstas en diciembre, mes en el cual de forma similar a otros años nuevamente se observó la fracción de ejemplares reclutas dominando las capturas con moda en los 7 cm de LT (Figura 6).

En 1996 claramente las capturas fueron sostenidas de enero a noviembre por los individuos reclutados el año 1995 los cuales constituyeron el grupo modal principal en las capturas hasta noviembre, alcanzando una talla de 12,5 cm de LT. Sin embargo, se presentó además, un pequeño grupo modal en los 14,5 cm de LT durante enero el cual desapareció de las capturas en los meses próximos. En agosto se observó levemente un grupo modal secundario correspondiente a individuos reclutas, el cual se situó en los 7 cm de LT y que se ausentó en los posteriores meses. En septiembre observamos la presencia de un nuevo grupo modal secundario, pero esta vez constituido por individuos más longevos cuya moda estuvo situada en los 16 cm de LT, desapareciendo posteriormente de las capturas. En noviembre se presentó el pulso de reclutas a la pesquería cobrando mayor importancia en diciembre donde constituyó el grupo modal principal de las capturas (Figura 7).

Durante los primeros tres meses de 1997 (enero-marzo) las capturas como es común a la época estuvieron sustentadas principalmente por el reclutamiento del año anterior (1996), constituyendo durante enero y febrero el principal grupo modal. En marzo, aunque aún observamos la presencia de juveniles apareció un grupo modal de mayor edad cuya talla se encuentra en los 13,5 cm de LT y que sostuvo las capturas durante los meses de junio y julio. En mayo de este mismo año aparece una fracción de ejemplares juveniles en las capturas con moda en junio en los 8,5 cm de LT (Figura 8).

**Anchoveta**

Los ejemplares más pequeños de anchoveta capturados por la flota en el período 1991-1997 han sido de 4,5 cm (agosto de 1991) y el más grande de 20,5 cm (diciembre de 1991) (Tabla 4). La talla promedio ha fluctuado entre 8,2 cm y 16,7 cm de longitud total (Tabla 5).

**Tabla 4.** Rango de tallas en las muestras de frecuencia de tamaños de anchoveta obtenidas mensualmente en la pesquería de cerco de Talcahuano.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
	mín - máx	mín - máx	mín - máx	mín - máx	mín - máx	mín - máx
1991	6,5 - 19,5	6,5 - 18,5	7,0 - 18,5	6,5 - 18,5	9,5 - 17,0	8,5 - 15,5
1992	6,5 - 19,0	8,0 - 18,5	9,0 - 19,0	6,5 - 19,0	6,5 - 18,0	5,0 - 13,0
1993	6,0 - 16,0	8,0 - 17,5	8,0 - 18,0	8,0 - 18,5	7,0 - 18,0	6,5 - 14,0
1994	7,0 - 16,0	8,5 - 17,0	9,0 - 20,0	7,0 - 19,0	6,0 - 17,0	6,5 - 19,0
1995	7,0 - 18,5	8,0 - 17,5	6,0 - 18,0	5,5 - 18,5	4,5 - 18,0	5,5 - 18,0
1996	8,0 - 18,0	8,0 - 19,0	8,0 - 18,0	8,5 - 17,0	5,0 - 17,0	8,5 - 16,5
1997	6,5 - 19,0	7,5 - 18,5	8,5 - 18,0	7,0 - 18,5	4,5 - 18,5	12,0 - 19,5
	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	mín - máx	mín - máx	mín - máx	mín - máx	mín - máx	mín - máx
1991	-	4,5 - 17,5	6,0 - 17,0	6,0 - 19,5	10,0 - 19,5	8,5 - 20,5
1992	5,0 - 17,0	6,5 - 17,0	11,5 - 17,5	11,0 - 19,0	9,0 - 19,0	14,0 - 18,0
1993	5,0 - 18,0	5,0 - 18,0	5,5 - 18,0	5,5 - 18,0	5,0 - 17,5	7,0 - 18,5
1994	7,0 - 16,0	6,5 - 18,5	6,0 - 19,0	6,0 - 19,0	5,0 - 18,0	6,0 - 18,0
1995	5,0 - 18,5	6,5 - 17,5	6,0 - 18,0	6,5 - 18,0	7,5 - 18,5	11,0 - 18,5
1996	5,0 - 17,0	6,0 - 17,0	6,5 - 17,0	6,5 - 17,0	7,0 - 12,0	9,5 - 16,0
1997	6,0 - 18,5	7,0 - 18,5				

En 1991 desde enero a abril las capturas fueron sostenidas por individuos desde 7 cm de LT hasta los 19 cm de LT. Sin embargo, a medida que transcurre el año la distribución de frecuencias de tallas en las capturas se concentró en un grupo modal principal que en mayo alcanzó una moda de 12 cm de LT observándose en las capturas hasta diciembre llegando a una talla de 15 cm de LT. En los meses de agosto y septiembre la composición de las capturas estuvo constituida además por individuos reclutas de 6,5 cm de LT los cuales desaparecen completamente en los meses de noviembre y diciembre (Figura 9).

**Tabla 5.** Talla promedio (cm) de anchoveta observada en las muestras mensuales de la pesquería de cerco en Talcahuano.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
1991	12,9	12,3	12,2	12,9	12,6	11,7
1992	11,0	12,3	13,3	13,2	12,9	8,9
1993	8,9	11,1	12,3	13,5	12,9	11,5
1994	10,2	12,6	13,0	13,7	11,4	13,5
1995	11,8	12,3	13,1	11,1	10,1	9,7
1996	15,2	13,5	12,9	13,7	9,1	13,1
1997	14,8	13,2	13,8	13,9	11,7	16,0
	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1991	-	10,0	9,7	13,8	14,9	15,3
1992	12,4	13,2	14,7	14,6	14,7	16,3
1993	13,5	12,2	12,5	12,4	13,4	11,2
1994	11,8	12,6	10,5	13,5	14,2	9,7
1995	9,7	10,8	9,9	11,8	11,5	16,7
1996	8,2	9,1	10,1	9,8	8,3	12,3
1997	14,5	14,3				

Durante el primer semestre del año 1992 la composición por talla de las capturas fue sostenida principalmente por la fracción adulta de la población, es decir, individuos mayores de 11,5 cm de LT, los cuales también están presentes en forma importante a partir de julio de este mismo año y hasta diciembre alcanzando una longitud de 16 cm de LT. En los meses de junio principalmente y julio observamos el reclutamiento de individuos juveniles cuya moda estuvo situada en los 8 cm de LT desapareciendo virtualmente de la pesquería a partir del mes septiembre (Figura 10).

Durante el año 1993, en los meses de enero y febrero las capturas fueron sostenidas por individuos juveniles cuya moda se observó en los 8,5 cm de LT permaneciendo en las capturas hasta mayo donde alcanzan una talla de 12,5 cm de LT. En los meses posteriores (junio y julio) se incorpora un nuevo grupo modal constituido por individuos más jóvenes con una talla de 11 cm LT, los cuales estuvieron presentes durante el resto del año en las capturas. En el mes de agosto se observa la presencia de reclutas a la pesquería con moda en los 6,5 cm de LT los cuales formaron parte las capturas hasta diciembre constituyendo el grupo modal principal cuya moda estuvo situada en los 9 cm de LT (Figura 11).

Las capturas del año 1994 estuvieron compuestas durante la primera mitad del año principalmente por individuos mayores a 10 cm de LT. En enero se observa claramente un grupo modal principal sustentando las capturas situado en los 10 cm de LT., este grupo se observó hasta junio alcanzando los 13,5 cm de LT. En el mes de mayo comienzan a aparecer individuos reclutas a la pesquería, los cuales estuvieron ausentes de las capturas en los meses de junio a agosto para presentarse nuevamente en septiembre.. En julio apareció un grupo modal en los 11 cm de LT el cual será el componente principal de las capturas durante los meses de octubre y noviembre. En el mes de diciembre las capturas se sustentaron principalmente en ejemplares juveniles de 7 y 10 cm de LT (Figura 12).

El primer trimestre del año 1995 se caracterizó por la presencia de individuos adultos mayores a los 11 cm de LT. Durante los meses de abril y mayo no se observa un grupo modal claramente diferenciado, presentándose un rango de talla desde los 4,5 cm de LT hasta 18,5 cm de LT. En junio se observó el pulso de reclutas a la pesquería constituido por ejemplares de 6,5 cm de LT que permanecerán en las capturas hasta noviembre. En diciembre las capturas estuvieron compuestas solo por individuos longevos cuya moda se encontró en los 17 cm de LT. Cabe señalar que este grupo no estuvo presente en las capturas de los meses anteriores (Figura 13).

En los cuatro primeros meses del año 1996, las capturas fueron sostenidas por individuos adultos y longevos, sin destacarse claramente algún grupo modal. Esta situación se mantuvo hasta mayo donde observamos la aparición en las capturas de individuos reclutas de 7 cm de LT, los cuales se encuentran ausentes en junio reapareciendo en julio y presentes hasta diciembre. Sin embargo, en el mes de noviembre un nuevo grupo juvenil sustentó las capturas cuya presencia se limitó solo a este mes. En diciembre se observaron cuatro grupo modales de similar importancia situados en 10, 12,13 y 15,5 cm de LT (Figura 14).

Durante 1997 las capturas han estado constituidas principalmente por individuos adultos los cuales en enero constituyeron el único grupo modal principal situado en los 14,5 cm de LT, este grupo permaneció en las capturas hasta junio del año en curso. En mayo se observó como es común a la época el pulso de individuos reclutas cuya moda se situó en los 7,5 cm de LT el cual desaparece virtualmente de las capturas reapareciendo levemente en julio. En este último mes las

capturas se sustentaron principalmente en un solo grupo modal principal situado en los 15 cm de LT (Figura 15).

### Discusión

Aunque el análisis de las frecuencias de tamaños se ha realizado en términos cualitativos, algunos patrones importantes emergen, entre ellos que la época de reclutamiento de sardina común ocurre en noviembre de cada año a una longitud modal que fluctúa entre 6,0 y 7,0 cm de longitud total. Si se acepta que a esa longitud, los individuos tienen una edad cercana a 120 días (Orrego, 1993), i.e. entre 4 y 5 meses de edad; entonces, dichos reclutas provienen del período reproductivo ocurrido 4 a seis meses antes, i.e. julio-agosto. Esto es consecuente con la manifestación de la máxima actividad reproductiva de la sardina común en la zona centro-sur (ver Alarcón *et al.*, en este informe).

No obstante lo anterior, en algunos años es posible también reconocer en la estructura de tallas de la sardina común, una moda de reclutamiento que tiende a presentarse en pleno invierno (julio-agosto); tal es el caso de 1993, 1995 y 1996. Estos ejemplares podrían provenir del desove secundario del recurso, que tiende a ocurrir a fines del período estival.

En el caso de la anchoveta, la estructura de tallas no muestra un patrón consistente interanualmente. Pese a ello, es posible reconocer que una moda de ejemplares reclutas tiende a presentarse entre mayo y julio de cada año a una longitud modal que fluctúa entre los 7 y los 8 cm de longitud total. Esta moda se desplaza hacia tallas mayores conforme llega la primavera hasta alcanzar cerca de los 10 a 11 cm de longitud total entre diciembre y enero. A su vez, entre diciembre y enero es posible distinguir la presencia de otros peces juveniles con longitud modal que fluctúa entre los 8 y 9 cm de longitud total. Esta cohorte secundaria se confunde con la longitud de los peces de la cohorte que ingresa en invierno (ver Cubillos *et al.*, en este informe).

Desde el punto de vista de la remoción sucesiva de un mismo grupo de peces a lo largo de un año, una vez que los juveniles de sardina común se reclutan en noviembre de cada año, la

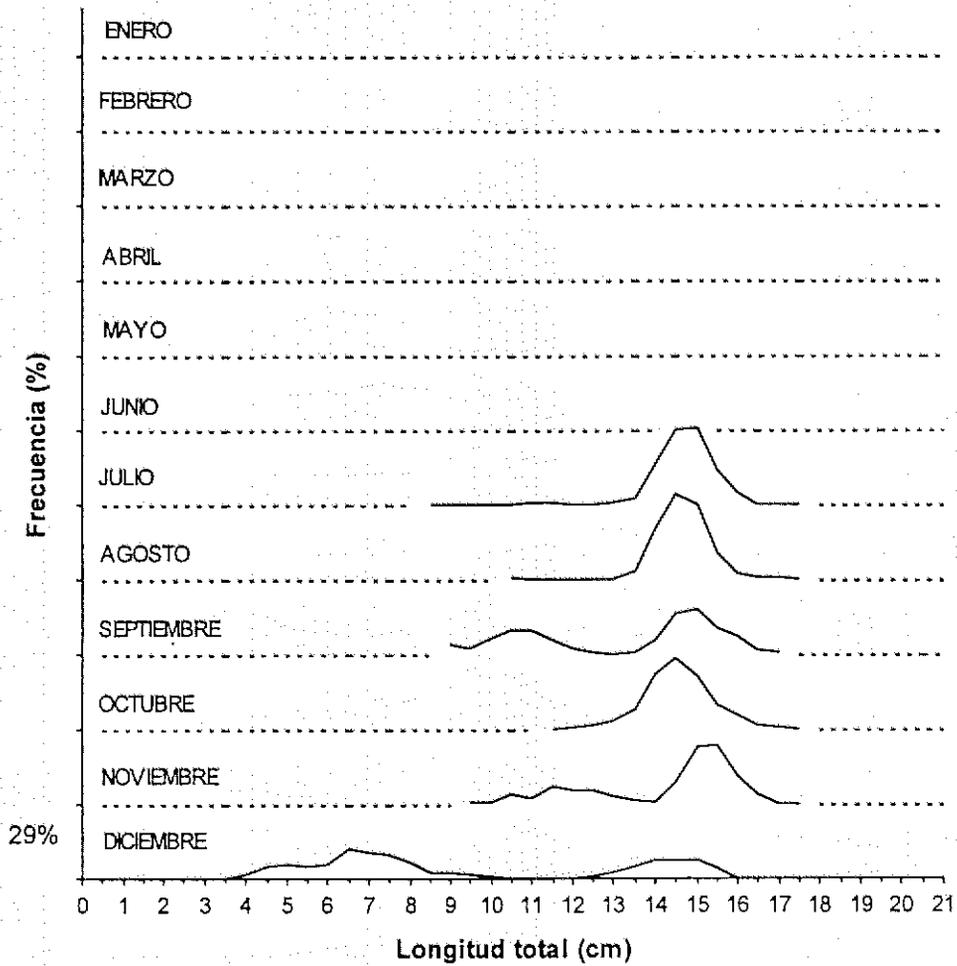
estructura de tallas en las capturas recoge la dinámica del crecimiento de esos ejemplares, los cuales en promedio alcanzan entre los 10 y 11 cm de longitud durante los meses de invierno del próximo año, estando en condiciones de reproducirse por primera vez. En el caso de la anchoveta, tal dinámica es menos evidente, pero con la ayuda de un análisis más detallado de la estructura de talla es posible aislar las distintas cohortes y estudiar el crecimiento de éstas (ver Cubillos *et al.*, en este informe).

En opinión de los autores de este estudio, si bien es cierto en algunos meses los tamaños de muestras son bajos, particularmente en los meses de invierno cuando los desembarques disminuyen notablemente en la zona centro-sur, los datos en su globalidad permiten analizar con propiedad la dinámica del recurso, tal como se demuestra en capítulos posteriores.

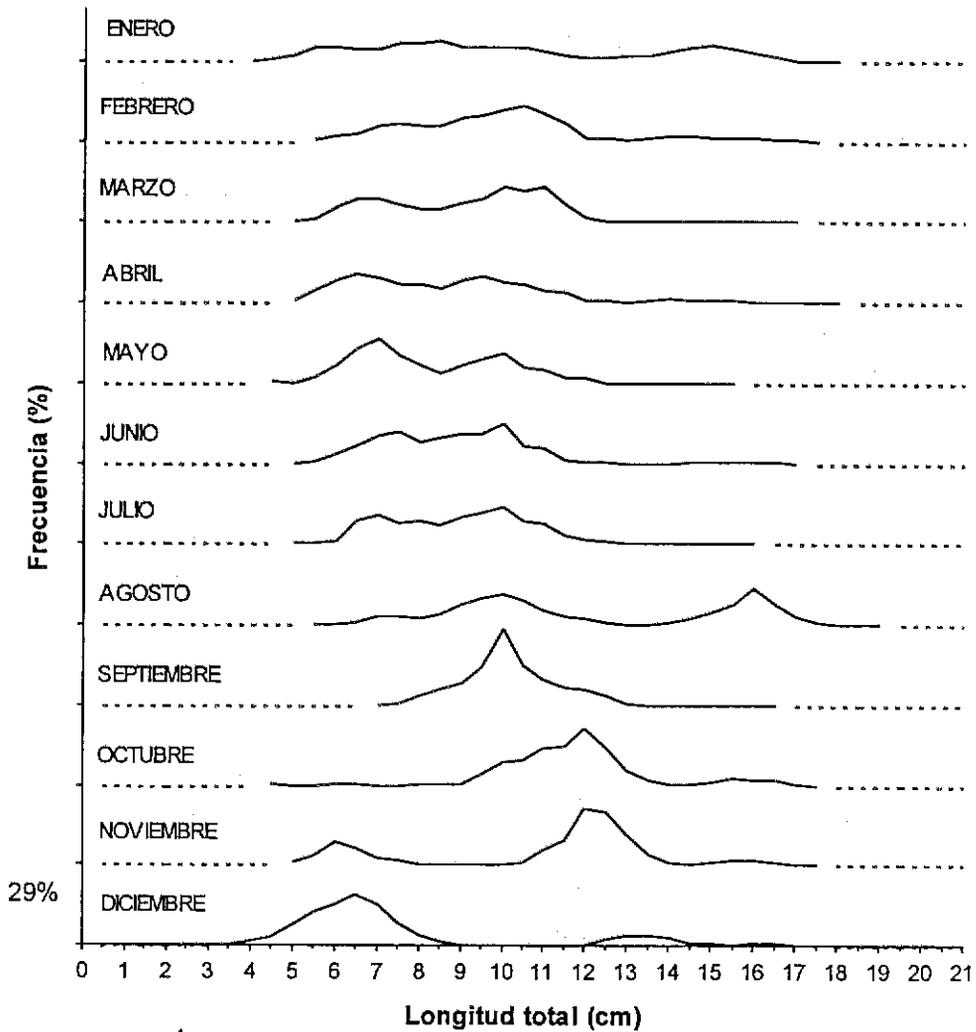
### Referencias

- Alarcón, R.; D. Bucarey, M. Canales & L. Cubillos. 1997. Epoca reproductiva y talla de primera madurez sexual de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur de Chile. En: Preinforme final FIP 96-10 "Evaluación indirecta del stock de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur", Instituto de Investigación Pesquera (IIP), Talcahuano (Chile).
- Cubillos, L. & H. Arancibia. 1993a. Análisis de la pesquería de sardina común y anchoveta del área de Talcahuano, situación actual y perspectivas. Documentos Técnicos del Instituto de Investigación Pesquera (IIP), Talcahuano, Chile 2(2):1-19.
- Cubillos, L. & H. Arancibia. 1993b. Análisis de la pesquería de sardina común (*Strangomera bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) del área de Talcahuano, Chile. Investigaciones Marinas 21:3-21.
- Cubillos, L. & H. Arancibia. 1993c. On the seasonal growth of common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) off Talcahuano, Chile. Revista de Biología Marina 28(1):43-49.
- Cubillos, L.; H. Arancibia, S. Núñez, R. Alarcón, G. Valenzuela, L. Vilugrón, y D. Arcos. 1994. Evaluación indirecta del stock de sardina común en la VIII Región. Informe Final, Fondo de Investigación Pesquera/Instituto de Investigación Pesquera. Documentos Técnicos del Instituto de Investigación Pesquera (IIP), Talcahuano, Chile 2(2), 19 p.

- Cubillos, L.; P. Sobarzo & H. Arancibia. 1994. Análisis retrospectivo de la evaluación de merluza común utilizando análisis secuencial de la población sintonizado. Biol.Pesq. 23:19-30.
- Cubillos, L., R. Gili, R. Alarcón, L. Vilugrón, A. Hernández, L. Miranda & H. Arancibia. 1996. Informe final proyecto FIP N° 94-11: "Evaluación de la pesquería y del stock de sardina común en la zona centro-sur".
- Cubillos, L.; R. Alarcón & P. Sobarzo. 1997. Crecimiento de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur de Chile, 1991-1997. En: Preinforme final FIP 96-10 "Evaluación indirecta del stock de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur", Instituto de Investigación Pesquera (IIP), Talcahuano (Chile).



**Figura 1.** Distribución de frecuencia de talla de sardina común en las capturas de la flota cerquera de la VIII región durante segundo semestre de 1990.



**Figura 2.** Distribución de frecuencia de talla de sardina común en las capturas de la flota cerquera de la VIII región durante 1991.

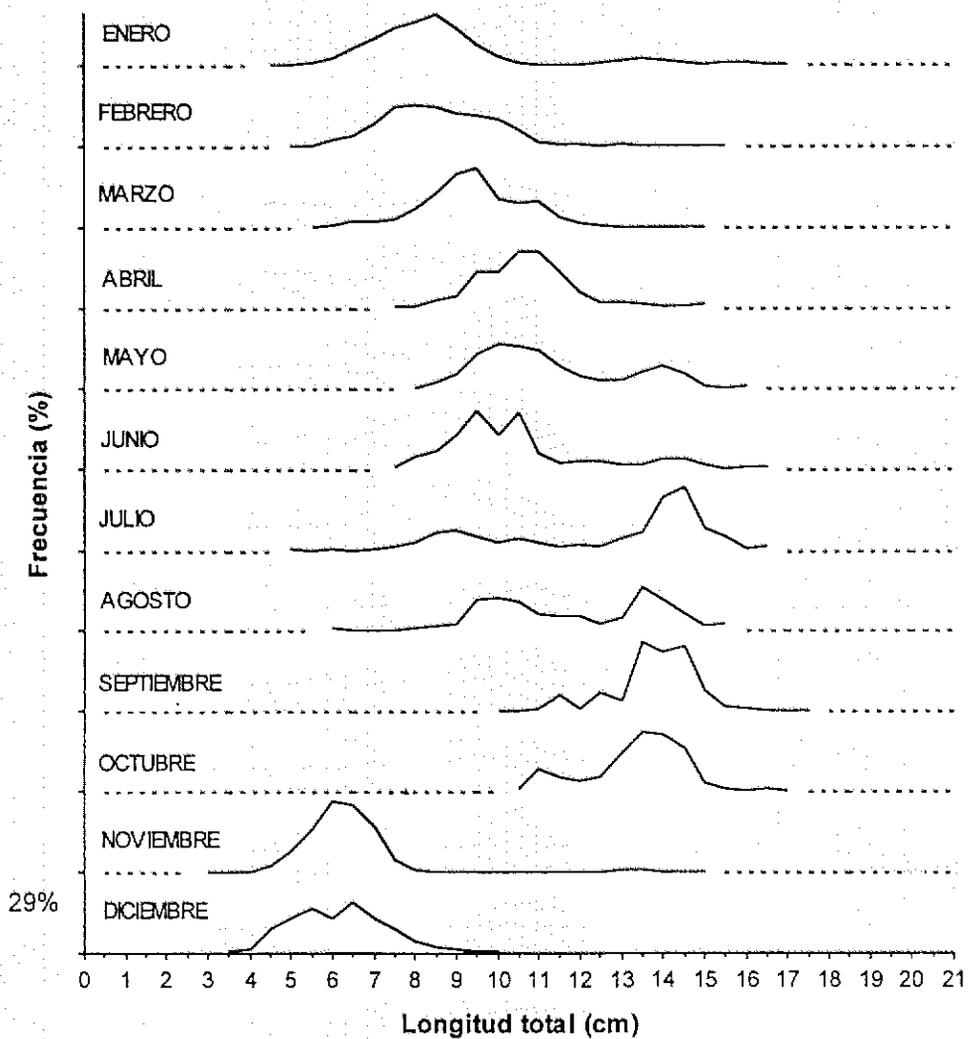
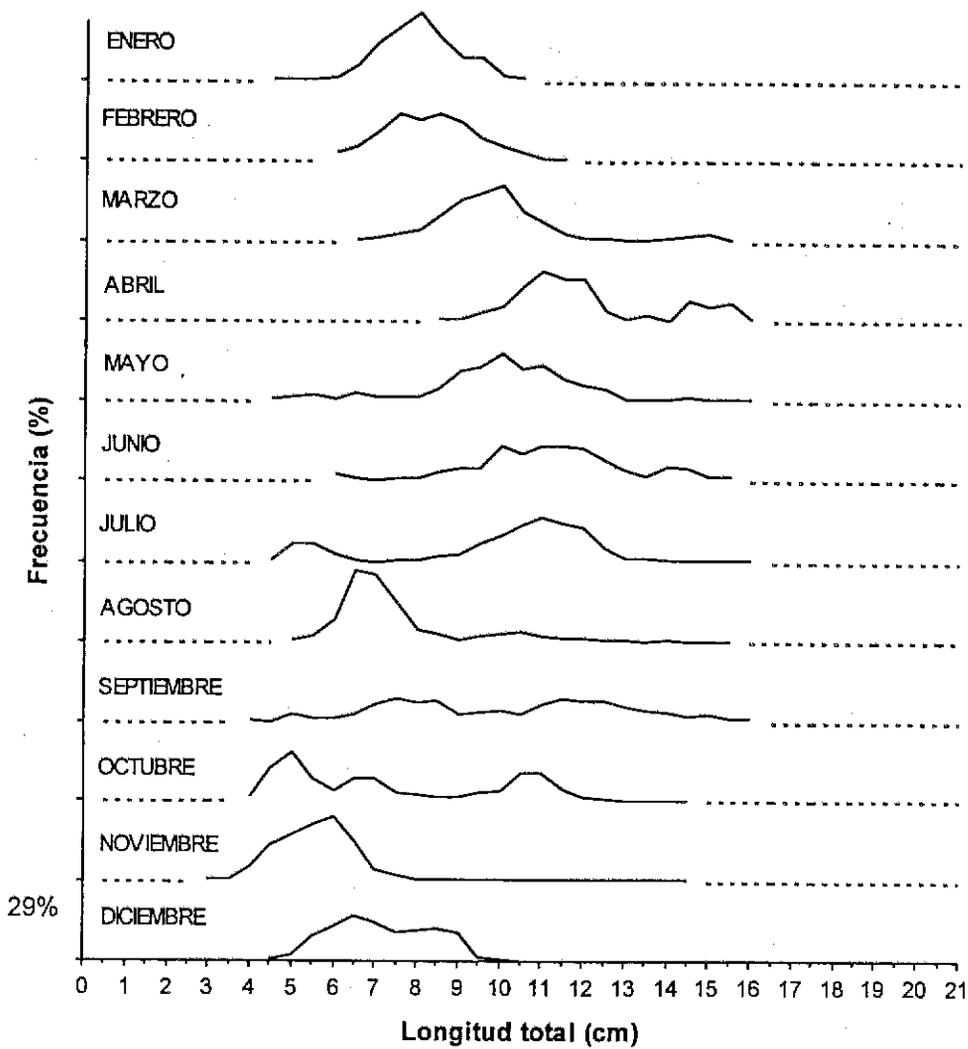
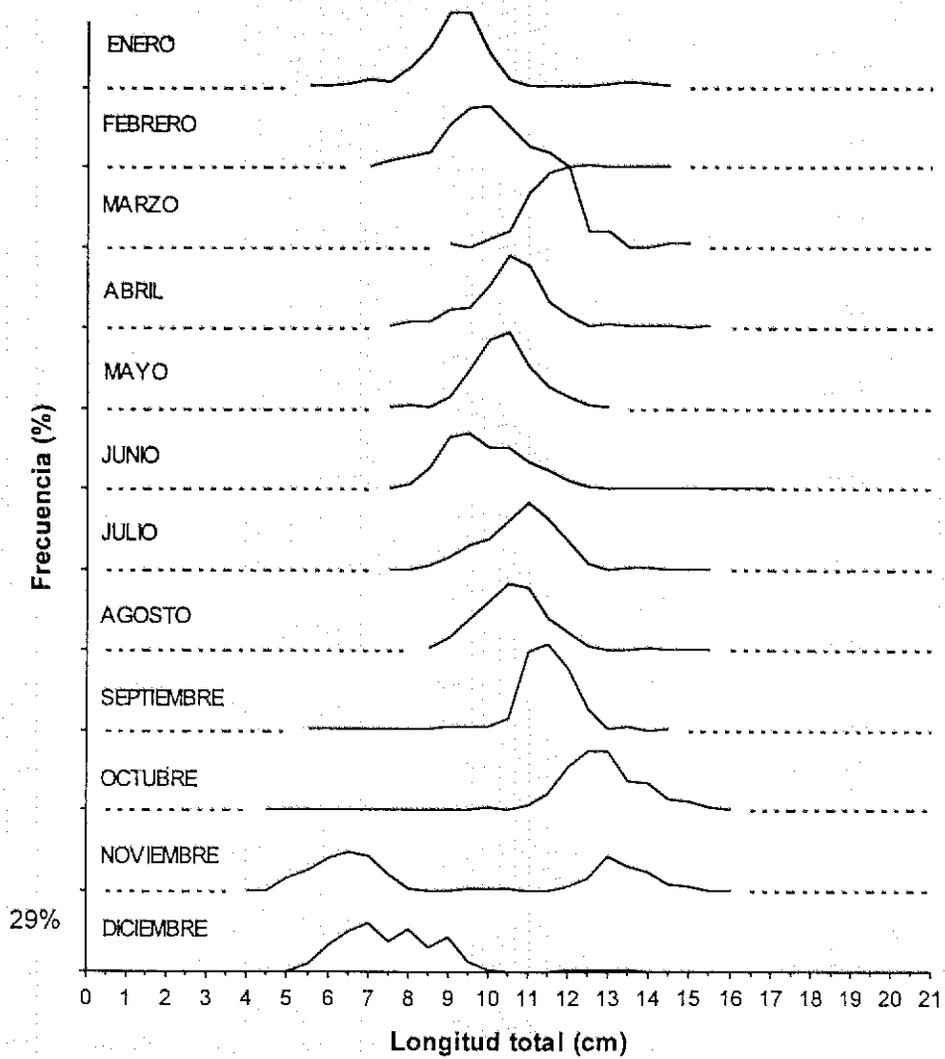


Figura 3. Distribución de frecuencia de talla de sardina común en las capturas de la flota cerquera de la VIII región durante 1992.



**Figura 4.** Distribución de frecuencia de talla de sardina común en las capturas de la flota cerquera de la VIII región durante 1993.



**Figura 5.** Distribución de frecuencia de talla de sardina común en las capturas de la flota cerquera de la VIII región durante 1994.

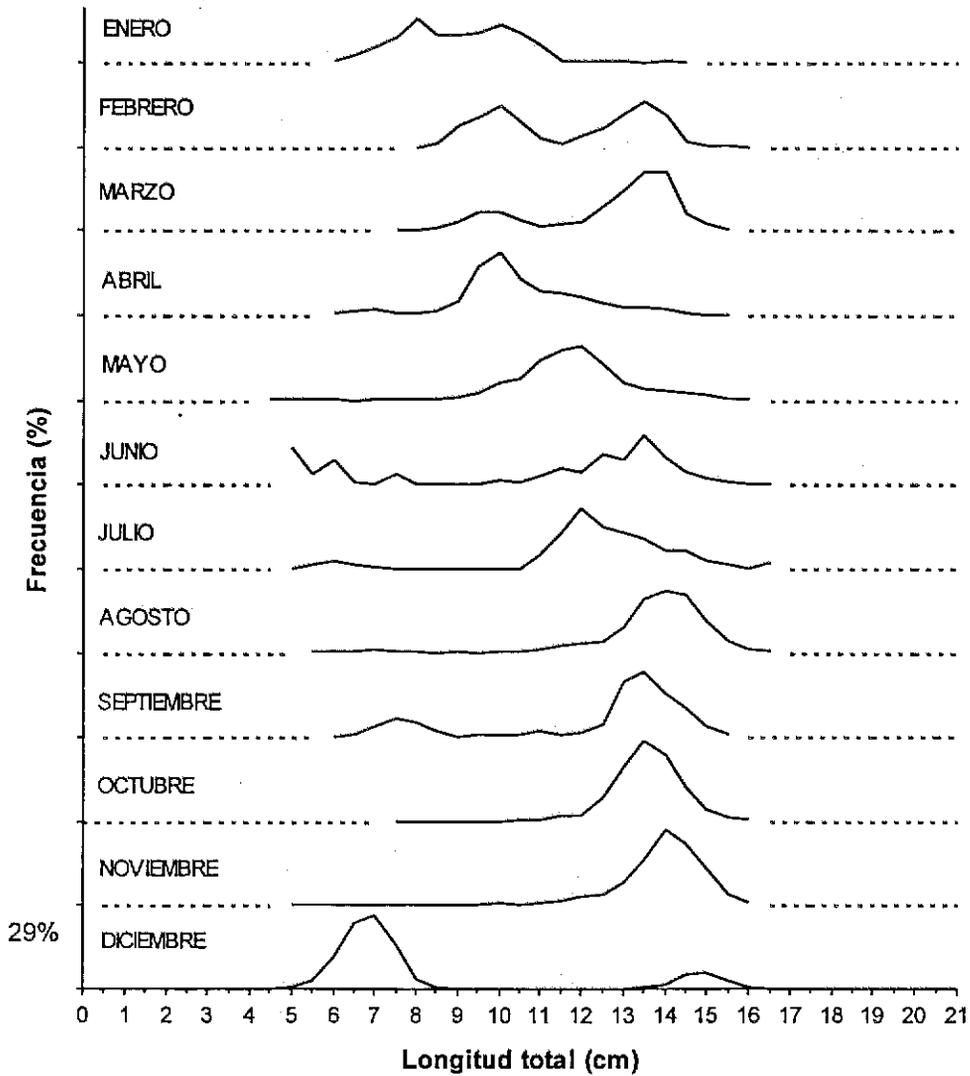
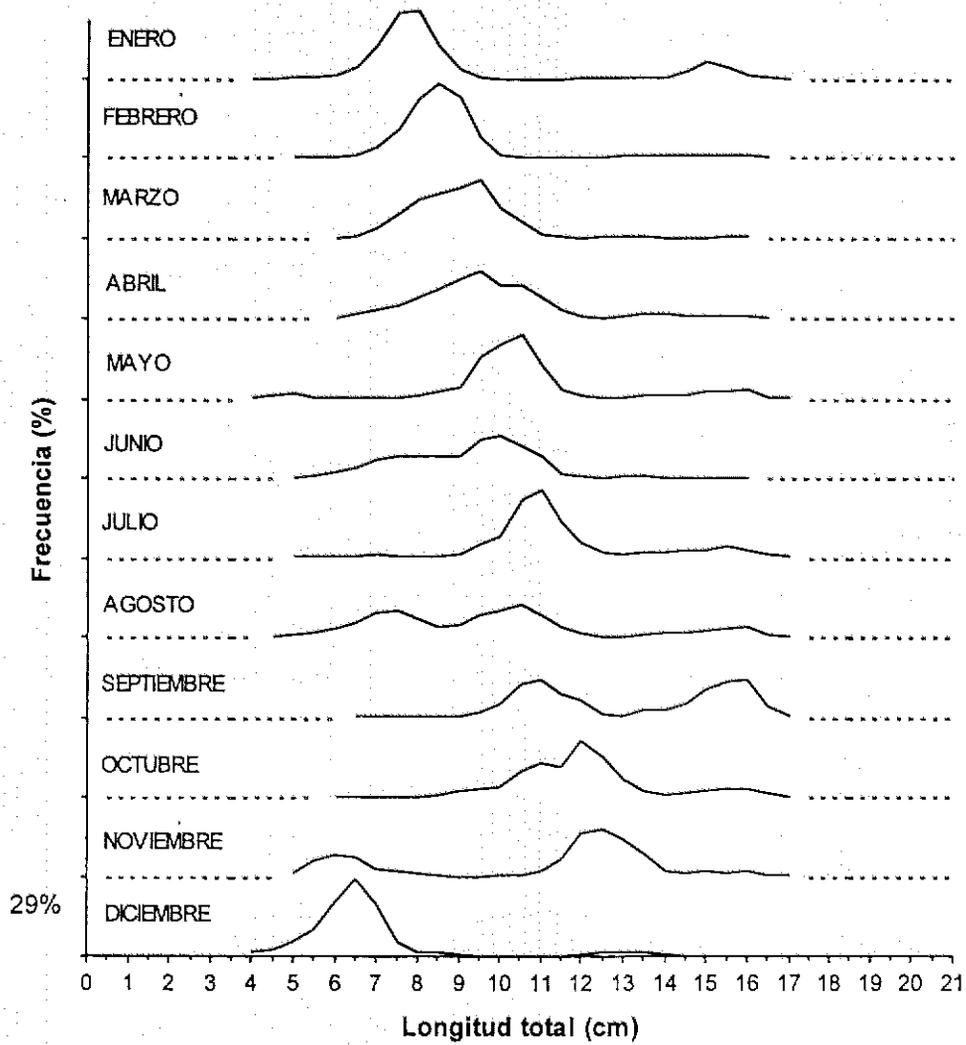
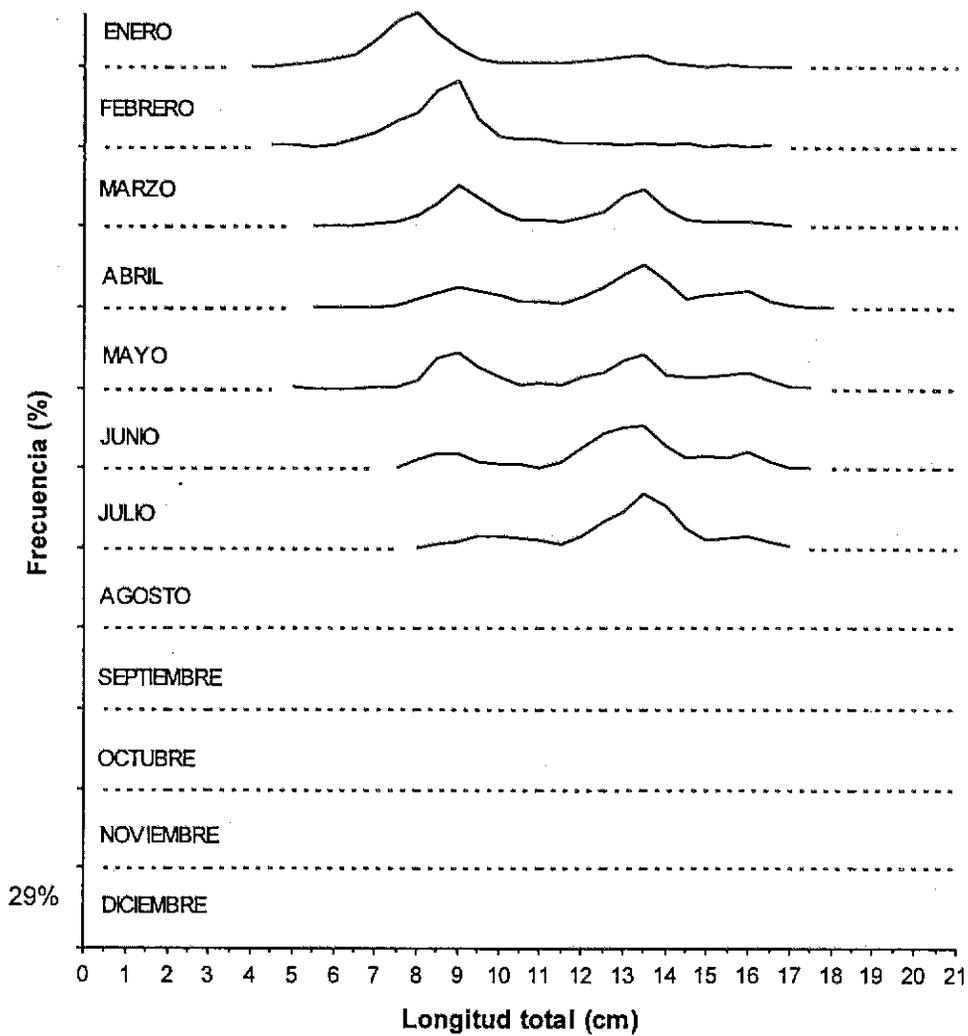


Figura 6. Distribución de frecuencia de talla de sardina común en las capturas de la flota cerquera de la VIII región durante 1995.



**Figura 7.** Distribución de frecuencia de talla de sardina común en las capturas de la flota cerquera de la VIII región durante 1996.



**Figura 8.** Distribución de frecuencia de talla de sardina común en las capturas de la flota cerquera de la VIII región durante 1997

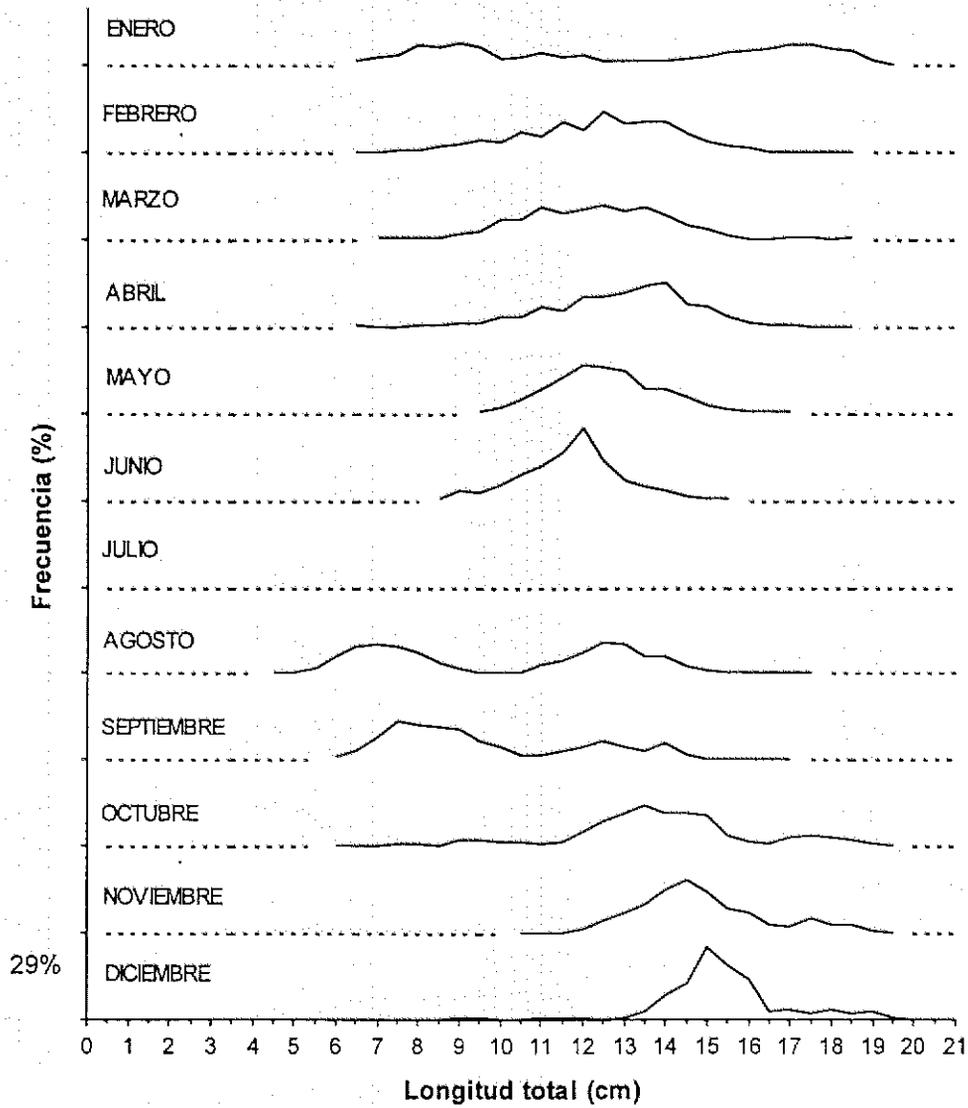


Figura 9. Distribución de frecuencia de talla de anchoveta en las capturas de la flota cerquera de la VIII región durante 1991.

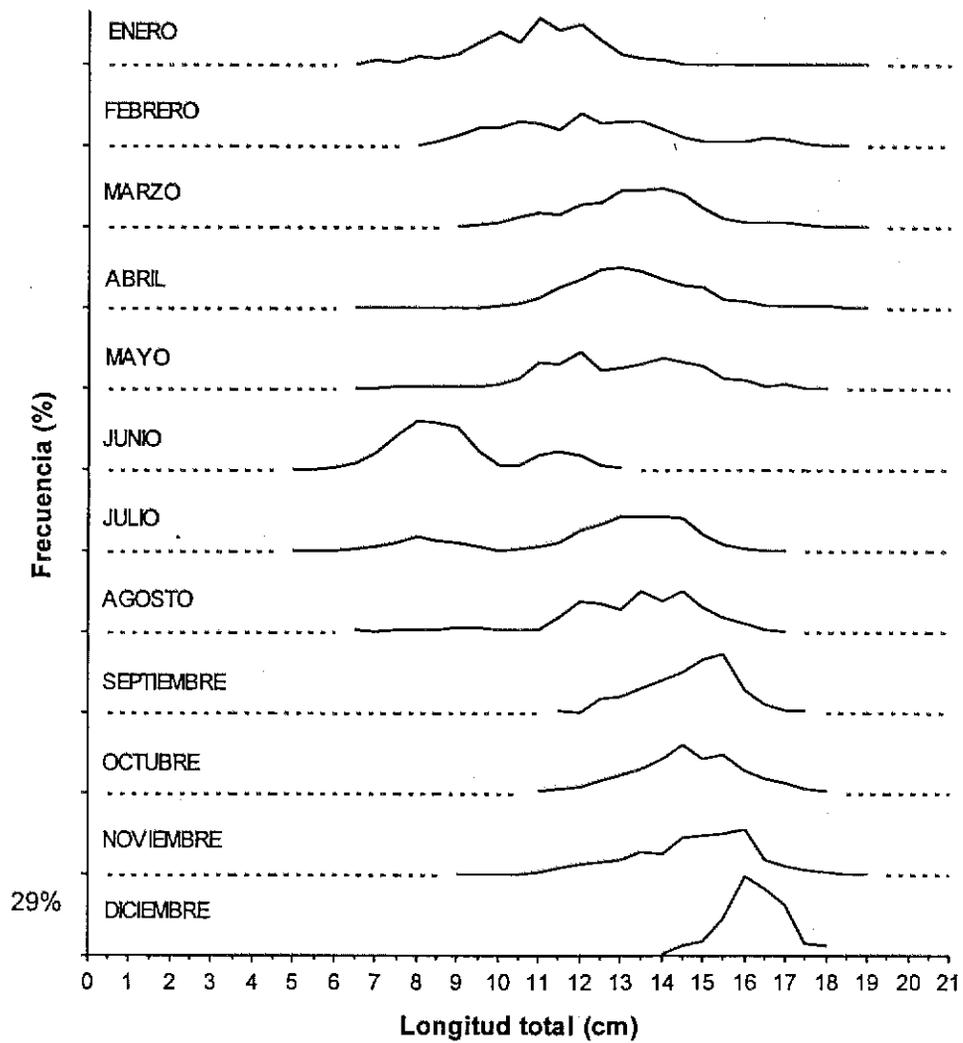


Figura 10. Distribución de frecuencia de talla de anchoveta en las capturas de la flota cercoera de la VIII región durante 1992

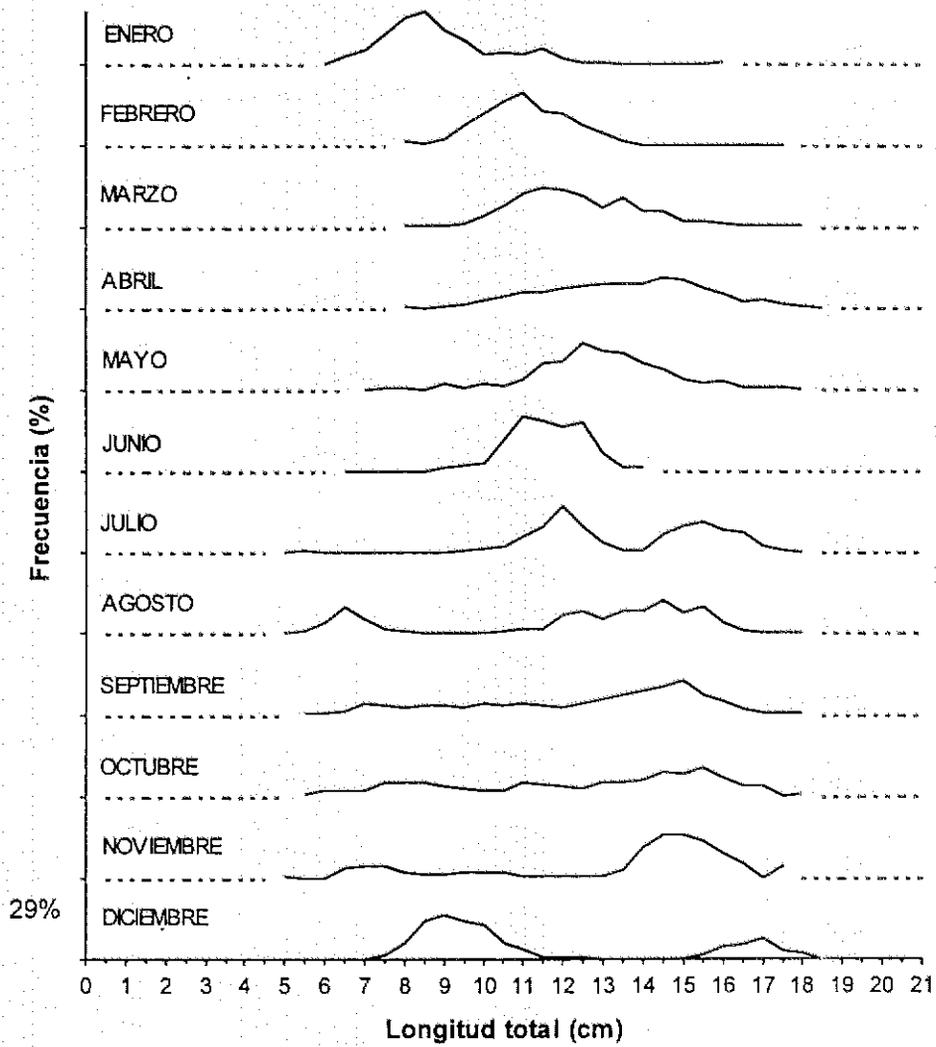
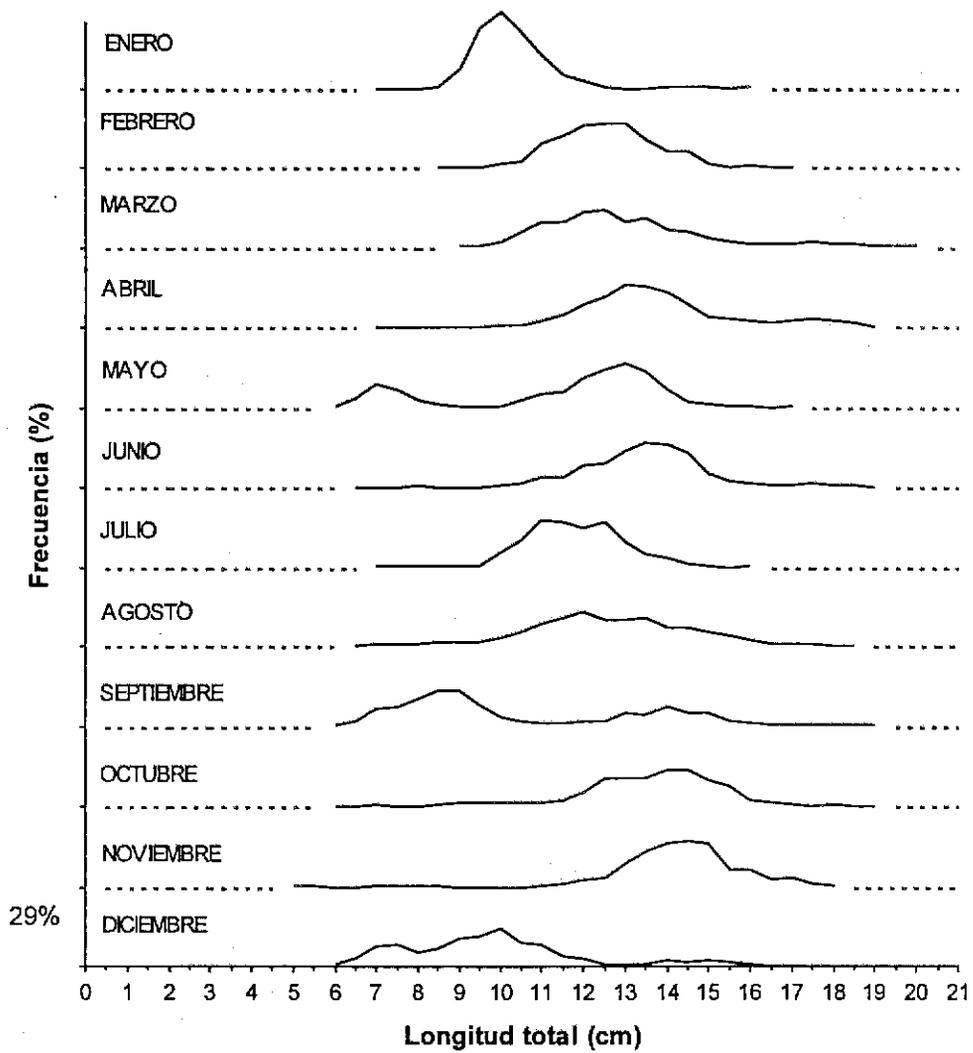


Figura 11. Distribución de frecuencia de talla de anchoveta en las capturas de la flota cerquera de la VIII región durante 1993.



**Figura 12.** Distribución de frecuencia de talla de anchoveta en las capturas de la flota cerquera de la VIII región durante 1994.

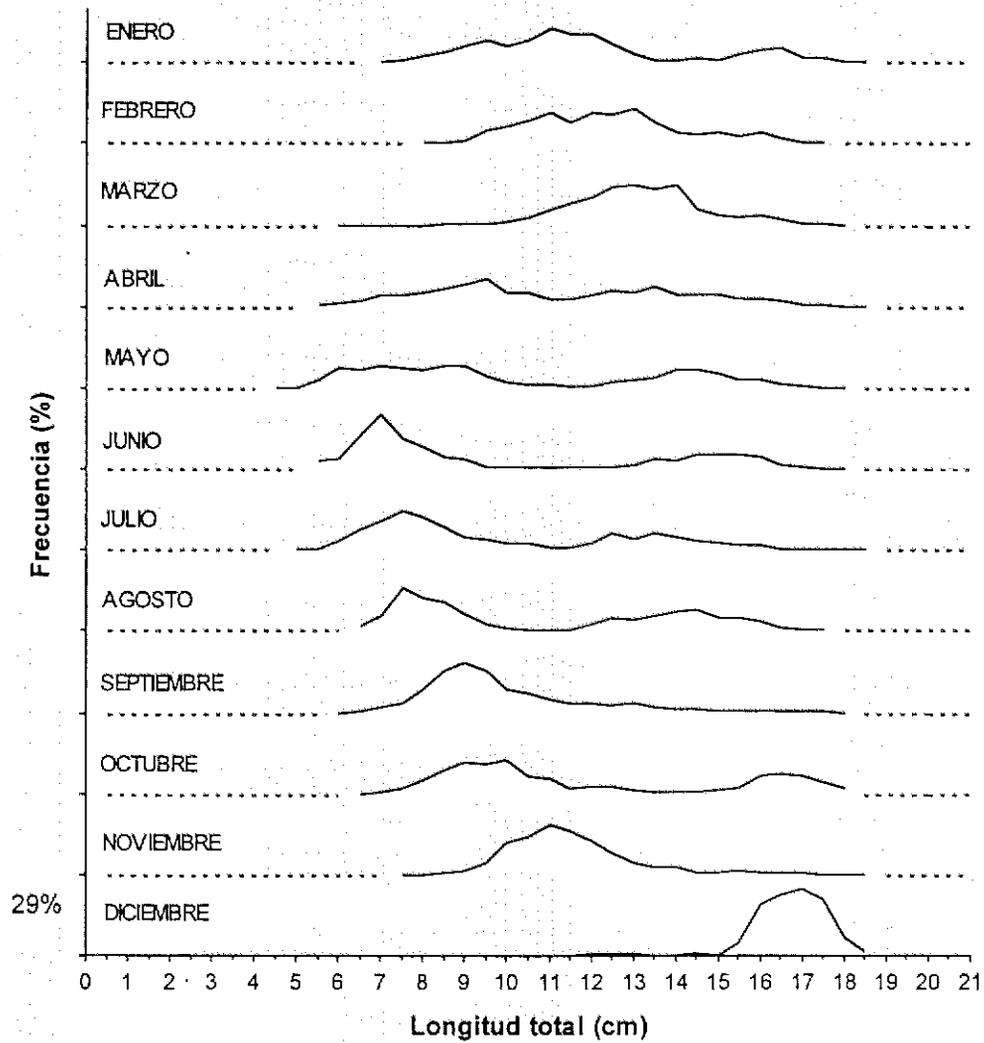


Figura 13. Distribución de frecuencia de talla de anchoveta en las capturas de la flota cerquera de la VIII región durante 1995.

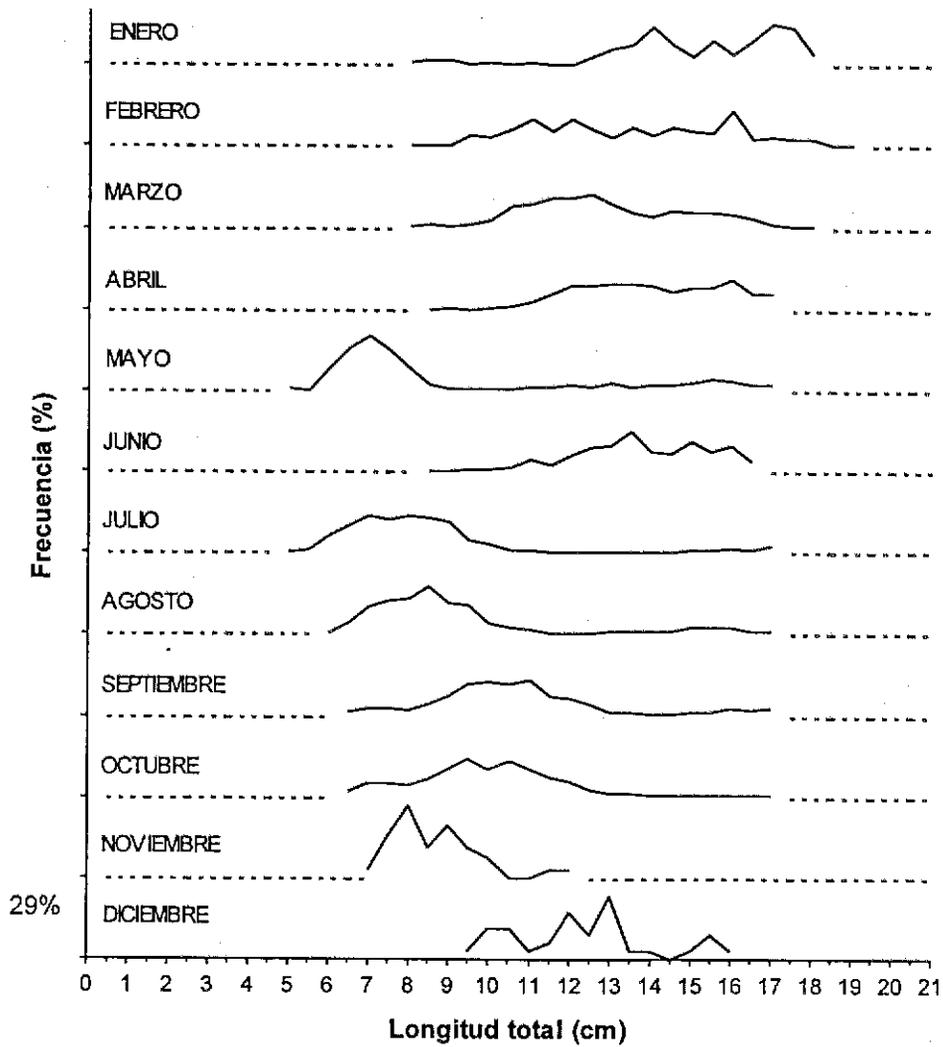


Figura 14. Distribución de frecuencia de talla de anchoveta en las capturas de la flota cerquera de la VIII región durante 1996.

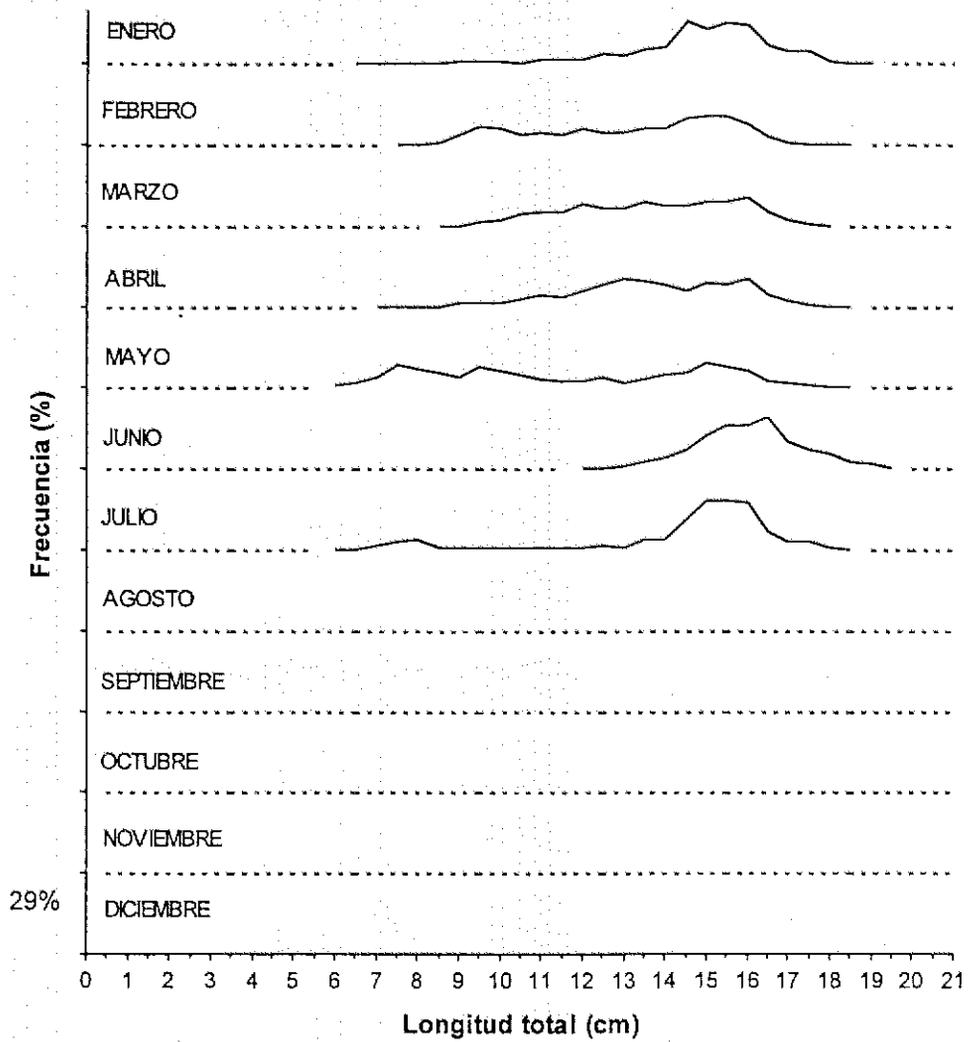


Figura 15. Distribución de frecuencia de talla de anchoveta en las capturas de la flota cerquera de la VIII región durante 1997.

1.5. *Relación longitud-peso*

## Relación longitud-peso de la sardina común y Anchoveta de la zona centro-sur de Chile

Luis Cubillos, L. Vilugrón, M. Canales y D. Bucarey

### Resumen ejecutivo

Se analiza la consistencia de la relación longitud-peso de sardina común y anchoveta a través del análisis de las constantes "a" y "b" en el período 1990-1997. Existe un alto grado de asociación entre las constantes de las relaciones longitud-peso, lo que impide utilizar los cambios en la constante "a" como factor de condición ya que incrementos en esta constante están acompañados por incrementos en el coeficiente "b". Si se acepta la isometría para estas especies, entonces la relación longitud-peso para sardina común es  $P=0,009L^3$  y  $P=0,007L^3$  para la anchoveta, donde P es el peso total (gr) y L la longitud total (cm). Sin embargo, la hipótesis de isometría sólo se cumple en la sardina común, rechazándose en el caso de la anchoveta (alometría positiva,  $b=3,1$ ).

## Introducción

La determinación de la relación longitud-peso (RLP) en recursos pesqueros es de vital importancia desde el punto de vista operacional, particularmente cuando: (a) se desea estimar el peso promedio de un ejemplar de determinado tamaño o grupo de edad, (b) conversión de una ecuación de crecimiento para longitud en una ecuación para peso, y (c) para convertir unidades de la captura en peso a número de individuos. La relación entre el peso total (P) y la longitud total (L) de un pez, en el rango máximo de tallas posibles de encontrar, se expresa normalmente por una función potencial de la forma:

$$1) \dots \quad P = aL^b$$

Donde a y b son constantes que pueden ser estimadas por regresión. El requisito más importante para una estimación precisa de las constantes no es medir y pesar un número elevado de peces, sino más bien contar con datos en el más amplio rango de tallas posibles.

En la Ecuación (1), cuando la constante "b" es igual a 3, se dice que el crecimiento es isométrico, i.e. que el pez mantiene su forma conforme crece. El coeficiente "a", en cambio, se puede interpretar como el factor de condición de Fulton, si  $b=3$  (Ricker, 1975).

En este estudio, se analiza la consistencia de la RLP de sardina común y anchoveta en el período 1990-1997, a través de la relación existente entre las constantes de la RLP.

## Materiales y Métodos

La información de las constantes de la relación longitud-peso (RLP) de sardina común y anchoveta se ha obtenido de muestras biológicas obtenidas entre 1990 y 1997 en el marco de un programa de vigilancia biológico-pesquera del Instituto de Investigación Pesquera. Las constantes de la ecuación (1) han sido obtenidas mediante regresión lineal simple, previa transformación lineal de la ecuación (1) aplicando logaritmos en base 10. Se analiza la correlación estadística de las constantes, y se realizan pruebas de isometría para la constante "b".

## Resultados y Discusión

Las constantes de la RLP se presentan en las Tablas 1 y 2, para sardina común y anchoveta, respectivamente.

Las constantes "a" y "b" de la RLP presentan una correlación negativa importante. La relación entre las dos constantes se puede expresar a través de un modelo exponencial que para la sardina común queda expresado por:

2)...

$$a = 10,611 \exp(-2,347b)$$

( $r^2=0,930$ ;  $n=85$ ;  $P<0,01$ ; Figura 1a)

y para la anchoveta por:

3)...

$$a = 11,647 \exp(-2,454b)$$

( $r^2=0,916$ ;  $n=76$ ;  $P<0,01$ ; Figura 1b).

**Tabla 1.** Parámetros de la relación longitud total-peso en sardina común de la forma  $P = aL^b$  (P en gr y L en cm),  $r^2$  = coeficiente de determinación, n = tamaño de la muestra, \* = valor perdido.

Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1990												
a							0.021	0.011	0.008	0.015	0.009	0.008
b							2.610	2.800	2.960	2.780	3.000	3.020
r <sup>2</sup>							*	*	*	*	*	*
n							*	*	*	*	*	*
1991												
a	0.005	0.005	0.006	0.004	0.010	0.003	0.010	0.007	0.030	0.013	0.013	0.016
b	3.261	3.283	3.219	3.361	2.945	3.421	2.927	3.050	2.525	2.855	2.891	2.871
r <sup>2</sup>	0.943	0.911	0.962	0.965	0.967	0.984	0.950	0.978	0.955	0.967	0.995	0.887
n	470	370	281	256	383	211	230	700	551	707	514	331
1992												
a	0.007	0.011	0.012	0.016	0.011	0.017	0.014	0.033	0.015	0.034	0.031	0.009
b	3.156	3.012	2.942	2.804	2.845	2.745	2.795	2.509	2.769	2.484	2.584	3.089
r <sup>2</sup>	0.985	0.838	0.888	0.916	0.842	0.869	0.854	0.864	0.841	0.773	0.875	0.891
n	536	321	266	272	197	204	124	29	169	60	280	244
1993												
a	0.011	0.022	0.006	0.004	0.010	0.012	0.015	0.014	0.012	0.008	0.010	0.007
b	3.035	2.748	3.204	3.372	2.942	2.870	2.776	2.859	2.894	3.077	3.005	3.165
r <sup>2</sup>	0.830	0.934	0.861	0.963	0.948	0.926	0.887	0.978	0.927	0.946	0.910	0.944
n	232	159	187	226	119	186	186	342	112	50	99	34
1994												
a	0.015	0.005	0.004	0.003	0.004	0.003	0.010	0.008	0.018	0.023	0.114	0.005
b	2.856	3.346	3.370	3.417	3.343	3.479	2.952	3.012	2.718	2.626	2.020	3.308
r <sup>2</sup>	0.938	0.961	0.958	0.969	0.913	0.943	0.824	0.938	0.913	0.861	0.592	0.848
n	264	173	119	63	129	217	140	262	113	151	182	131
1995												
a	0.031	0.009	0.004	0.005	0.004	0.009	0.007	0.015	0.030	0.017	0.007	0.022
b	2.592	3.089	3.326	3.304	3.317	3.030	3.098	2.747	2.439	2.250	3.127	2.722
r <sup>2</sup>	0.760	0.935	0.926	0.927	0.932	0.811	0.888	0.820	0.905	0.829	0.917	0.835
n	195	238	725	306	437	236	320	297	126	336	76	317
1996												
a	0.009	0.013	0.016	0.039	0.003	0.004	0.004	0.007	0.007	0.009	0.007	0.005
b	3.058	2.932	2.887	2.540	3.440	3.296	3.288	3.068	3.069	2.979	3.106	3.202
r <sup>2</sup>	0.913	0.865	0.625	0.721	0.981	0.977	0.955	0.973	0.918	0.968	0.957	0.892
n	400	300	274	234	276	263	344	276	265	331	188	235
1997												
a	0.018	0.017	0.021	0.012	0.006	0.005	0.007					
b	2.741	2.733	2.691	2.905	3.139	3.201	3.050					
r <sup>2</sup>	0.943	0.971	0.982	0.904	0.946	0.946	0.955					
n	316	282	182	189	250	251	320					

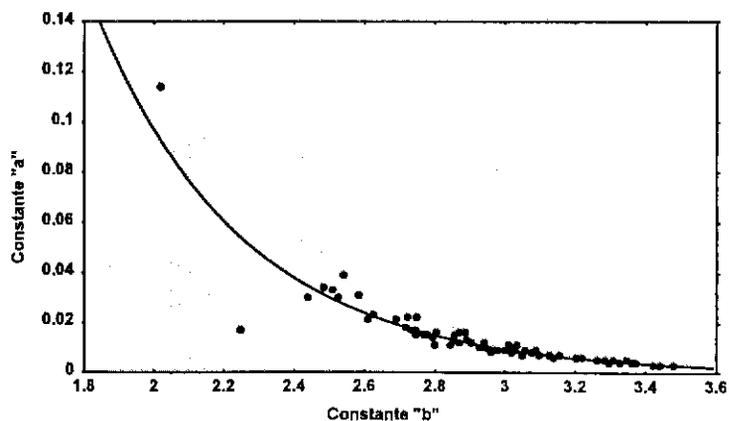
Tabla 2. Parámetros de la relación longitud total-peso en anchoveta de la forma  $P = aL^b$  (P en gr y L en cm),  $r^2$  = coeficiente de determinación, n = tamaño de la muestra, \* = valor perdido.

Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1991												
a	0.004	0.009	0.006	0.004	0.006	0.005	-	0.007	0.008	0.011	0.014	0.007
b	3.276	3.034	3.073	3.235	3.054	3.127	-	3.029	2.987	2.940	2.840	2.785
r <sup>2</sup>	0.879	0.912	0.964	0.946	0.947	0.974	-	0.939	0.975	0.943	0.963	0.931
n	84	94	140	261	149	100	-	366	185	534	230	290
1992												
a	0.009	0.004	0.007	0.005	0.002	-	0.013	0.009	0.013	0.006	0.008	0.011
b	2.976	3.255	3.077	3.136	3.510	-	2.722	2.870	2.767	3.049	3.007	2.925
r <sup>2</sup>	0.961	0.957	0.887	0.891	0.924	-	0.896	0.911	0.891	0.933	0.963	0.932
n	147	135	277	197	180	-	149	89	147	136	253	116
1993												
a	0.014	0.012	0.006	0.002	0.002	0.015	0.007	0.010	0.007	0.006	0.006	0.005
b	2.824	2.925	3.149	3.558	3.548	2.713	2.993	2.883	2.996	3.056	3.104	3.239
r <sup>2</sup>	0.826	0.780	0.908	0.942	0.955	0.825	0.963	0.940	0.918	0.900	0.927	0.853
n	116	124	182	320	87	45	91	222	120	165	95	34
1994												
a	0.013	0.007	0.006	0.003	0.003	0.003	0.005	0.004	0.008	0.004	0.010	0.011
b	2.838	3.068	3.167	3.323	3.274	3.293	3.098	3.153	2.966	3.208	2.865	2.864
r <sup>2</sup>	0.844	0.884	0.936	0.820	0.962	0.973	0.914	0.948	0.902	0.949	0.891	0.843
n	120	219	117	49	98	152	64	138	66	150	37	140
1995												
a	0.007	0.050	0.005	0.007	0.002	0.002	0.004	0.005	0.008	0.007	0.009	0.015
b	3.035	3.199	3.211	3.055	3.556	3.553	3.144	3.064	2.916	2.984	2.964	2.786
r <sup>2</sup>	0.871	0.938	0.820	0.792	0.873	0.832	0.919	0.951	0.939	0.983	0.967	0.973
n	160	54	484	251	432	236	285	72	230	107	80	85
1996												
a	0.005	0.006	0.004	0.005	0.003	0.004	0.006	0.004	0.009	0.006	-	-
b	3.202	3.158	3.297	3.227	3.348	3.215	3.062	3.138	2.880	3.109	-	-
r <sup>2</sup>	0.933	0.880	0.946	0.914	0.911	0.955	0.994	0.993	0.978	0.976	-	-
n	310	297	300	245	244	173	123	162	226	340	-	-
1997												
a	0.005	0.004	0.003	0.002	0.004	0.006	0.008					
b	3.220	3.268	3.394	3.572	3.169	3.043	2.924					
r <sup>2</sup>	0.391	0.975	0.961	0.869	0.969	0.907	0.942					
n	218	272	240	197	189	113	235					

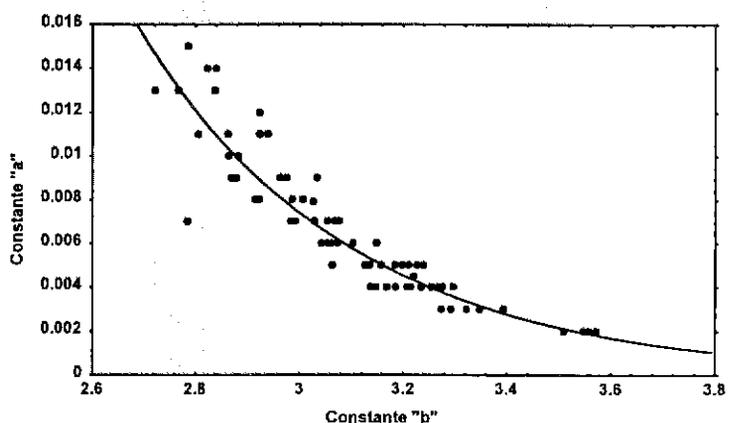
Las ecuaciones (2) y (3) indican que el coeficiente "a" no se puede utilizar para inferir cambios en la condición de los peces, a menos que se deje fijo el coeficiente b, tal como se ha definido el factor de condición de Fulton (Ricker, 1975).

Por otra parte, estas ecuaciones se pueden utilizar para fijar una relación longitud peso que no esté influenciada por representatividad de muestras en el rango de tallas posibles de encontrar. Si la constante "b" no es estadísticamente diferente de 3, entonces las relaciones longitud-peso de sardina común y anchoveta, vienen dada por  $P=0,009L^3$  y  $P=0,007L^3$ , respectivamente.

**a) sardina común**



**b) anchoveta**



**Figura 1.** Relación entre la constante a y b de la relación longitud -peso de sardina común y anchoveta.

La constante "b" se distribuye normal en ambos recursos (Figura 2; Test de Kolmogorov-Smirnov:  $d=0,0336$  para sardina común y  $d=0,0477$  para anchoveta). El valor promedio de "b" alcanza a 2,968 con límites de confianza de 95% en el intervalo [2,907; 3,028], lo que indica que no es significativamente diferente de 3. En la anchoveta en cambio, el valor de b es 3,102 con límites de confianza en el rango [3,057; 3,148], es decir con leve alometría positiva. Se destaca que la estimación del coeficiente "b" fue mucho más precisa en el caso de la anchoveta ( $cv=6,5\%$ ) que en la sardina común ( $cv=9,6\%$ ), lo que podría estar incidiendo en los resultados.

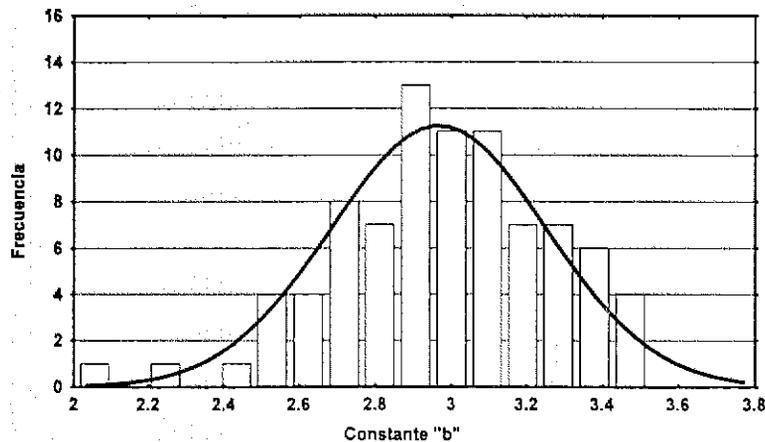
Pauly (1993) comenta que el problema con la RLP es que no hay una teoría para ella. En efecto, se puede demostrar fácilmente que la RLP es solamente útil bajo aspectos operacionales y

prácticos cuando se realizan trabajos asociados con la evaluación de stock. Mientras la geometría indica que el parámetro "b" debe ser igual a 3 (=isometría), no hay teoría ni fundamentos que indiquen bajo que circunstancias se podría contar con estimaciones de b menores a 3 (alometría negativa), o por sobre 3 (alometría positiva).

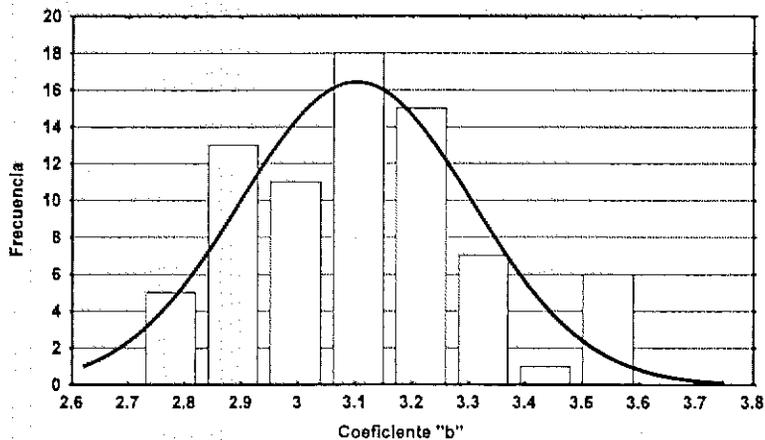
Además, resulta complejo analizar el problema desde el punto de vista de la variabilidad individual ya que las RLP se determinan a partir de un conjunto de pesos y longitud que los individuos tenían en un determinado momento. No es posible seguir la historia de vida individual como para establecer que cierto grupos de individuos mostraron una relación alométrica o no. Desde el punto de vista dimensional (y evolutivo), tal vez aquellos peces que por el uso del habitat no necesitan ajustar el crecimiento en masa corporal con el espacio se pueda esperar alometrías negativas. Por ejemplo los lenguados y peces

planos "no utilizan" un volumen sino más bien una superficie. También, algunos peces pelágicos que conforman cardúmenes y cuya forma corporal comprimida lateralmente pueda ser posible encontrar cierta alometría negativa. En el intertanto, la RLP seguirá siendo de carácter netamente práctico para el análisis de pesquerías.

**a) sardina común**



**b) anchoveta**



**Figura 2.** Distribución del coeficiente "b" de la relación longitud peso de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur de Chile.

**Referencias**

Ricker, W.E. 1975. Computations and interpretations of biologist statistics of fish populations. Bull. Fish. Res. Bd. Canada (191): 382 p.

Pauly, D. 1993. Editorial, Fishbyte section. NAGA the ICLARM Quarterly, 26(2-3): 26.

## 1.6. *Crecimiento*

## Crecimiento de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur de Chile, 1990-1997

Luis Cubillos

### Resumen

Se estudia el crecimiento en longitud de sardina común y anchoveta mediante el análisis de datos mensuales de frecuencia de tallas que cubren el período 1990-1997. Las frecuencias de tallas se separaron en clases de edad mediante el programa MIX, cuyas tallas medias se ordenaron en el eje del tiempo para identificar el crecimiento de las cohortes. El crecimiento de sardina común y de anchoveta presenta oscilaciones estacionales en la tasa de crecimiento, siendo más pronunciadas en la sardina común. La tasa de crecimiento más baja ocurre en el período invernal especies, lo que se atribuye a las condiciones ambientales más la condición reproductiva de los peces, los cuales canalizarían más energía a la reproducción que al crecimiento. Los parámetros del modelo de von Bertalanffy que describen el crecimiento de sardina común son:  $L_{\infty} = 18,3$  cm;  $K=0,725$  año<sup>-1</sup>,  $t_0 = -0,356$  años,  $C=0,925$ ; y  $WP=0,365$  ( $r^2=0,959$ ;  $n=143$ ;  $p<0,05$ ); mientras que para el crecimiento de la anchoveta son:  $L_{\infty} = 20,52$  cm;  $K=0,486$  año<sup>-1</sup>,  $t_0 = -0,120$  años,  $C=0,826$ ; y  $WP=0,316$  ( $r^2=0,938$ ;  $n=97$ ;  $P<0,05$ ). La variabilidad interanual del crecimiento de cohortes distintas es muy baja en ambas especies, lo que conlleva a plantear que esta regularidad interanual en el crecimiento es el resultado de una estrategia adaptativa de estos pelágicos pequeños al sistema de surgencia costera estacional de la zona centro-sur de Chile, que consistiría en aprovechar la época de surgencias para crecer y la transición invierno-primavera para reproducirse.

## Introducción

Según Cubillos & Arancibia (1993a,b) y Cubillos *et al.* (1994), la sardina común (*Strangomera bentincki*, Norman 1936) y anchoveta (*Engraulis ringens*, Jenyns 1842) exhiben fluctuaciones estacionales en la tasa de crecimiento, observándose en primavera-verano una mayor tasa de crecimiento en concomitancia con la mayor productividad del sector nerítico frente a la zona centro-sur de Chile, y una reducida tasa de crecimiento invernal (mayo-agosto), lo que se debería a un cese en la manifestación de los eventos de surgencia costera y a la condición reproductiva de los peces (Cubillos & Arancibia, 1993a), los cuales realizarían un mayor gasto energético hacia la producción de gametos que al crecimiento.

Aún cuando en la literatura se analiza y describe el crecimiento de sardina común y anchoveta, éstos no han considerado el componente de fluctuación estacional en la tasa de crecimiento (Aguayo & Soto, 1978; Arrizaga, 1981; Orrego, 1993). Solamente los trabajos de Cubillos & Arancibia (1993a,b) y Cubillos *et al.* (1994) entregan estimaciones de los parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy y de la amplitud y fase que determinan la oscilación estacional en la tasa de crecimiento. Sin embargo, éstos fueron estimados para algunas cohortes correspondientes a las clases anuales de 1990, 1991 y 1992. En consecuencia, el objetivo de este trabajo es analizar el crecimiento en longitud y peso de sardina común y anchoveta de las cohortes que se han reclutado en el período 1990-1997 y determinar los parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy en base al crecimiento promedio de todas las cohortes.

## Materiales y Métodos

Los datos para el análisis del crecimiento son los mismos utilizados para analizar la estructura de tallas y proviene de muestreos de frecuencia de talla de las capturas de la flota que el Instituto de Investigación Pesquera lleva desde 1990 (ver Canales *et al.* 1997, en este informe).

La estimación de los parámetros de crecimiento se realizó en base a las longitudes promedio a la edad de todas las cohortes que se identificaron en la serie de tiempo de frecuencia de tamaños. Para ello, se realizó un análisis detallado de los datos de frecuencia de tallas en las capturas, separando las clases de edad que se encuentran mezcladas en las distribuciones de frecuencia de tamaños. La separación de las clases de edad se realizó mediante el programa computacional MIX que utiliza los algoritmos de McDonald & Pitcher (1979). El análisis se basa en el método de estimación de parámetros vía los principios de máxima verosimilitud. La mezcla distribucional, que constituye un histograma de frecuencias, se puede representar por:

$$1)... \quad g(l) = p_1 f_1(l) + \dots + p_k f_k(l)$$

donde  $p_i$  es la proporción del número total de individuos que están representados en la distribución "i" en la mezcla;  $f_i(l)$  es una función de densidad de probabilidad en función de la longitud (l). Existen k de estas funciones en la mezcla distribucional, donde l es la longitud y las funciones corresponden a la distribución de probabilidad normal.

La función de probabilidad normal está caracterizada por dos parámetros que se requieren estimar: la media (longitud promedio) y la desviación estándar. Por esta razón, cuando se descompone la mezcla distribucional en componentes normales de edad a un histograma de frecuencias de tallas, se requiere estimar 3k parámetros: k medias, k desviaciones estándar, y k proporciones, siempre y cuando no se imponga ninguna restricción al análisis, excepto aquellas lógicas y naturales que indican que la desviación estándar sea mayor que 0, que las longitudes promedio vayan en orden creciente, y que la suma de las proporciones sea igual a la unidad.

Una de las decisiones importantes en el análisis es fijar a priori el número de clases de edad que se sospecha están presente en los datos. Esto se realizó mediante inspección visual del histograma. El algoritmo de estimación fue quasi-Newton sin restricciones de longitudes promedio, desviación estándar ni de las proporciones, excepto en determinados casos que fueron los mínimos.

Una vez separado los componentes normales de edad de las distribuciones de frecuencia de tallas, se asignó edades en base a una fecha de cumpleaños arbitraria de la cohorte, la cual se fijó en base a indicadores reproductivos y en base a la época de reclutamiento (ver Canales *et al.* (1997) y Alarcón *et al.* (1997), en este informe). Una vez que se definieron estos considerandos biológicos, el análisis de la evolución de las longitudes promedio respecto de la edad relativa en meses, permitió analizar el crecimiento de las cohortes, para posteriormente estimar los parámetros que lo describen. Para ello, se estimó los parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy propuesto por Pauly & Gaschütz (1979), modificado por Somers (1988), i.e.

$$2)... \quad L_t = L_\infty \left[ 1 - \exp \left\{ -K(t - t_0) - \frac{CK}{2\pi} [\text{sen}(2\pi(t - t_s)) - \text{sen}(2\pi(t_0 - t_s))] \right\} \right]$$

donde  $L_t$  es la longitud del pez a la edad  $t$  (años),  $K$  es el coeficiente de crecimiento,  $t_0$  es un parámetro hipotético que representa la edad a la cual la longitud del pez es cero,  $C$  es una constante adimensional que expresa la amplitud de la oscilación de crecimiento, y  $t_s$  es el tiempo, con respecto a  $t = 0$ , del comienzo de una oscilación estacional con un período de un año. Las constantes  $C$  y  $t_s$  deberían ser mayores a cero y menores a la unidad. Un valor de  $C = 0$  implica que el crecimiento es continuo, sin oscilación estacional; mientras que  $C = 1$ , implica una detención completa en el crecimiento en longitud en algún momento del año. Con propósitos prácticos, la estimación de  $t_s$  se reemplaza por  $WP = t_s + 0,5$ , que representa un punto de invierno que indica el momento en que la tasa de crecimiento es la más baja dentro de un ciclo anual. La estimación de los parámetros de la ecuación (1) se realizó mediante mínimos cuadrados no-lineales, utilizando el algoritmo Marquardt.

Para el análisis del crecimiento en peso, se estimó el peso promedio de las clases de edad de cada cohorte. Sin embargo, debido a que el peso promedio que se estima corresponde al peso promedio de un grupo de peces (no para el individuo), se utilizó la ecuación propuesta por Beyer (1991), la cual utiliza el coeficiente de variación (CV) de los datos de longitud, i.e.

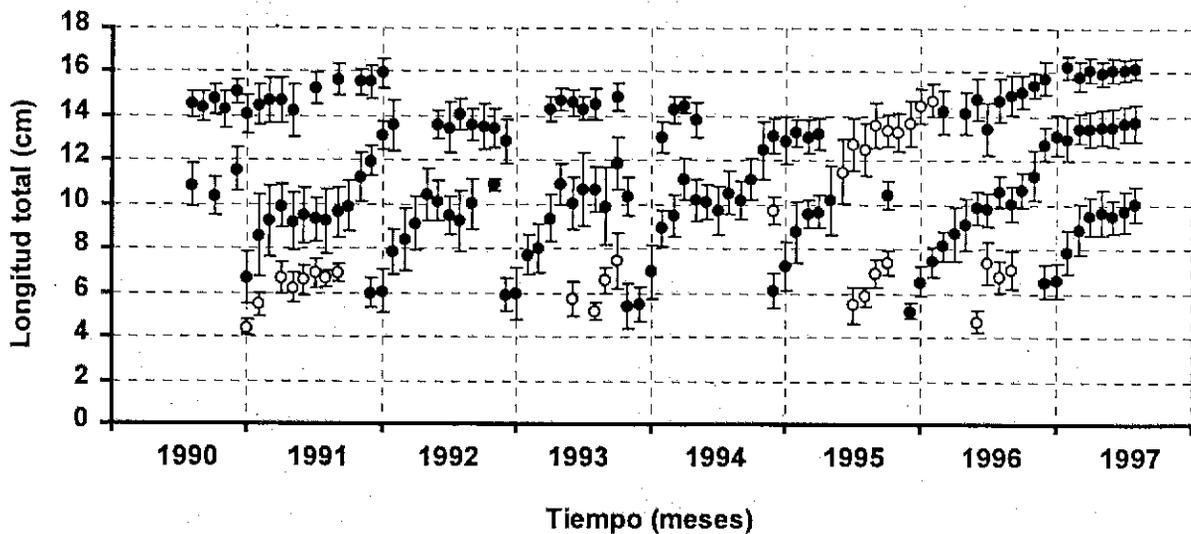
$$3)... \quad P_t = aL_t^b (1 + 0,5b(b-1)CV^2)$$

donde el subíndice  $t$  denota edad (años),  $P_t$  es el peso total (gr) a la edad  $t$ ,  $L_t$  es la longitud total a la edad  $t$ ,  $a$  y  $b$  son las constantes de la relación longitud-peso (ver Cubillos *et al.*, 1997 en este informe).

## Resultados

### sardina común

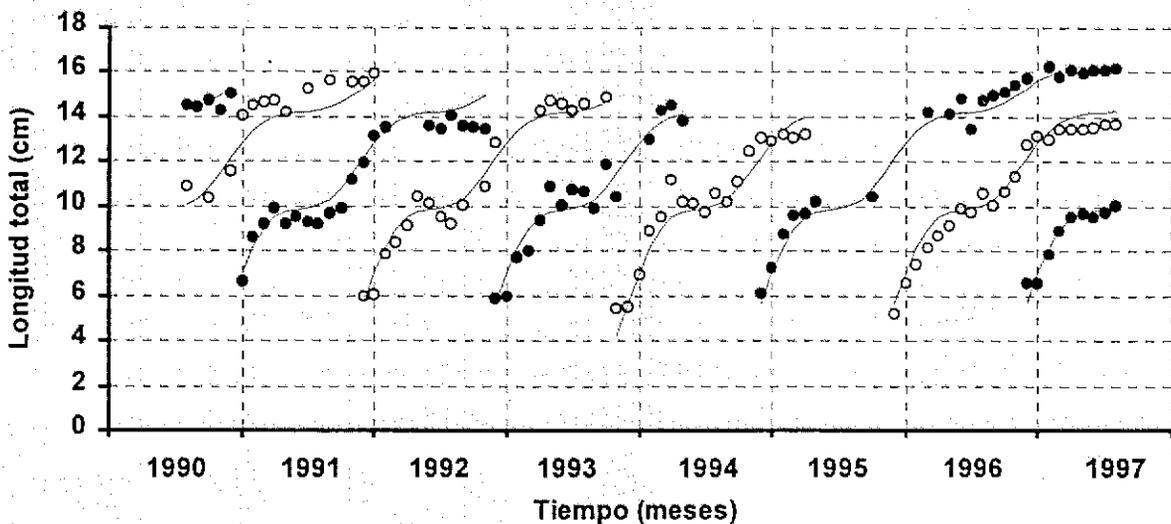
En anexo (Tabla A1) se presenta la proporción, la longitud promedio, y la desviación estándar de los grupos normales de edad separados con MIX de la distribución de frecuencia de tallas mensuales de sardina común. La longitud promedio ( $\pm 1$  desviación estándar) de cada grupo de edad, en función del tiempo, se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Longitud promedio ( $\pm 1$  desviación estándar) de cada grupo de edad identificado con MIX en los datos de frecuencia de tallas de sardina común, julio de 1990 a julio de 1997. Los puntos llenos pertenecen a las cohortes principales identificadas; y los puntos vacíos a cohortes secundarias, la grilla vertical indica diciembre de cada año.

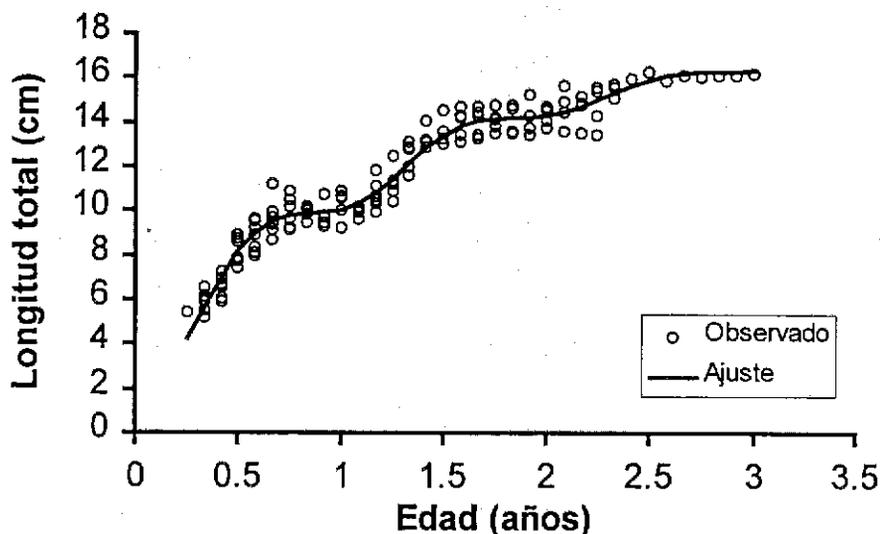
Un análisis cuidadoso de la Figura 1 permite identificar ciertas regularidades en relación con el proceso de reclutamiento, la presencia de cohortes secundarias y el crecimiento de sardina común. En efecto, se puede observar que generalmente la talla promedio más pequeña ingresa a la pesquería en noviembre de cada año, a partir del cual se puede realizar un seguimiento del incremento en longitud de las cohortes, las cuales exhiben una disminución en la tasa de crecimiento durante los meses de invierno donde alcanza entre 9 y 11 cm de longitud total. También se observa la ocurrencia de cohortes secundarias, las cuales al no estar bien representadas en el tiempo generan un ruido en el análisis.

La identificación de las cohortes principales presentes en el período 1990-1997, se realizó conectando las longitudes promedio y asignando una edad relativa en meses. La fecha de cumpleaños de la cohorte principal se fijó en el 1° de julio, de tal manera que la cohorte que se recluta en noviembre tienen una edad relativa de 4 meses (0,333 años de edad). En la Figura 2 se muestra el crecimiento en longitud de las cohortes principales de sardina común identificadas en la Figura 1, apreciándose la regularidad interanual del crecimiento en longitud con cambios estacionales en la tasa de crecimiento.



**Figura 2.** Crecimiento de las cohortes principales de sardina común, donde se ha superpuesto la curva de crecimiento que describe el crecimiento de todas las cohortes (ver Figura 3). Se ha alternado con puntos llenos y vacíos para facilitar al lector el seguimiento del crecimiento de cada cohorte.

En efecto, al graficar la longitud promedio a la edad de todas las cohortes principales de sardina común, se observa muy claramente que el crecimiento de las cohortes reclutadas en noviembre de cada año no presenta una variabilidad interanual importante (Figura 3).



**Figura 3.** Curva de crecimiento estimada para todas las cohortes principales de sardina común que se han reclutado en primavera (noviembre-diciembre) en la zona centro-sur de Chile entre 1990 y 1997.

Los parámetros del modelo de crecimiento en longitud de von Bertalanffy, modificado por Somers (1988), que describen el crecimiento de las cohortes principales de sardina común se presentan en la Tabla 1; observándose que la amplitud de la oscilación de la tasa de crecimiento es cercana a la unidad, lo que implica una notable fluctuación en la tasa de crecimiento durante el ciclo anual. La más baja tasa de crecimiento ocurre antes de comenzar el invierno (mediados de mayo), mientras que lo contrario ocurre seis meses después. En efecto, con la llegada de la primavera en septiembre, la tasa de crecimiento nuevamente se incrementa hasta alcanzar un máximo a mediados de noviembre aproximadamente (Figura 3).

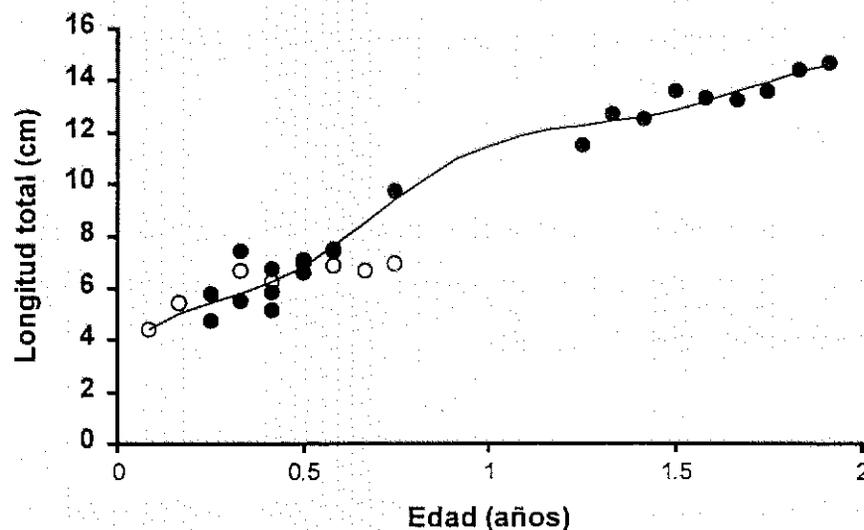
**Tabla 1.** Parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy estimados para las cohortes principales y secundarias de sardina común en la zona centro-sur de Chile. Entre paréntesis se indica el error estándar, los parámetros marcados con un asterisco indica que no son estadísticamente diferentes de cero ( $\alpha=0,05$ ).

Parámetro	Cohortes Principales	Cohortes secundarias
$L_{\infty}$ (cm)	18,257 (0,5426)	17,459 (2,3502)
K (año <sup>-1</sup> )	0,725 (0,0654)	0,841 (0,3094)
$t_0$ (año)	-0,355 (0,0616)	-0,198 (0,1370)(*)
C	0,925 (0,0911)	0,576 (0,3178)(*)
WP	0,365 (0,0165)	0,774 (0,0717)
R <sup>2</sup>	0,959	0,975
N	143	22
SCR	50,034	6,593

Con relación al crecimiento de las cohortes secundarias identificadas en el análisis de progresión modal (Figura 1), solamente se contó con 22 pares de datos de cohortes que se han reclutado en mayo de cada año. Solamente una cohorte secundaria, que ingresó en diciembre de 1990 y que perduró en las capturas hasta agosto de 1991 (Figura 1), tiene una secuencia de edades relativa distinta, razón por la cual se ha descartado del análisis del crecimiento de las cohortes secundarias que se reclutan en mayo

de cada año a una longitud de 4,5 a 6 cm. La longitud promedio respecto de la edad relativa se muestra en la Figura

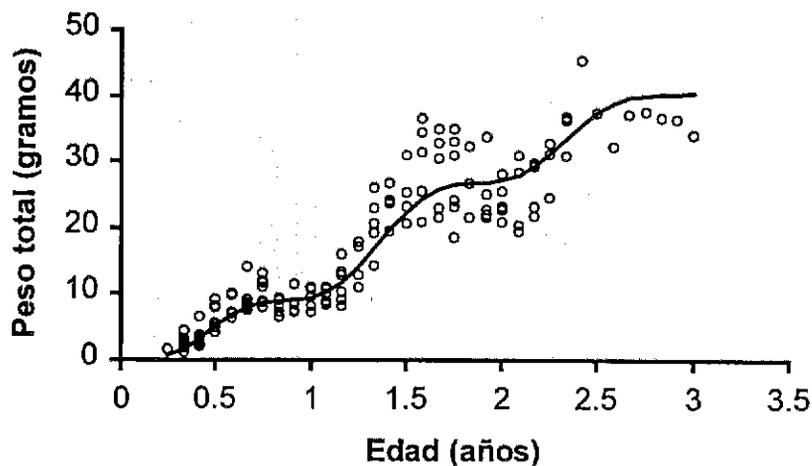
4, observándose la falta de información en edades intermedias. Esta falta de información incide en la precisión no sólo de la amplitud del crecimiento, sino también del resto de los parámetros (Tabla 1). Sin considerar el crecimiento



**Figura 4.** Curva de crecimiento estimada para todas las cohortes secundarias de sardina común que se han reclutado en mayo/junio en la zona centro-sur de Chile entre 1990 y 1997. Los puntos vacíos representan una cohorte que reclutó en diciembre de 1990 y que perduró en las capturas hasta agosto de 1991.

estacional, los parámetros de crecimiento estimados son  $L_{\infty} = 22,18$  cm ( $ee=5,844$ ),  $K=0,495$  año<sup>-1</sup> ( $ee=0,249$ ), y  $t_0 = -0,276$  ( $ee=0,137$ ) ( $r^2=0,971$ ), siendo los últimos dos parámetros estadísticamente no diferentes de cero al nivel de un 95% de confianza.

El crecimiento en peso de las cohortes principales de sardina común se muestra en la Figura 5, observándose una mayor variabilidad a la edad que en el caso de la longitud, particularmente después del primer año.



Probablemente dicha

variabilidad está asociada a la época reproductiva. Para

**Figura 5.** Peso promedio a la edad y curva de crecimiento en peso, transformando el modelo de crecimiento en longitud con las constantes de la relación longitud-peso.

evitar inestabilidad en el ajuste de los parámetros de crecimiento, se consideró solamente estimar la constante "a" de la relación longitud-peso (la constante b se fijó en 3), y fue estimada en  $a=0,0093$  gr/cm<sup>3</sup>. La suma de cuadrados residual alcanzó a 2139,5. En consecuencia, el peso asintótico ( $W_{\infty}$ ) para la sardina común queda estimado en 56,9 gr.

### Anchoveta

La longitud promedio ( $\pm 1$  desviación estándar) de cada grupo de edad de anchoveta, en función del tiempo, se muestra en la Figura 6, mientras que los datos básicos de cada componente normal se presenta en el anexo (Tabla A2).

El caso de la anchoveta aparece siendo más complicado que la sardina común, desde el punto de vista de la identificación de las cohortes, ya en algunos períodos y durante pocos meses ocurren grupos de peces que generan un ruido analítico. Estos puntos han sido marcados y no se consideran en el análisis del crecimiento. El reclutamiento de anchoveta no es muy regular interanualmente, pero por lo general entre abril y mayo tiende a ingresar el grupo modal más pequeño a la pesquería a una longitud cercana a los 8 cm (Figura 6).

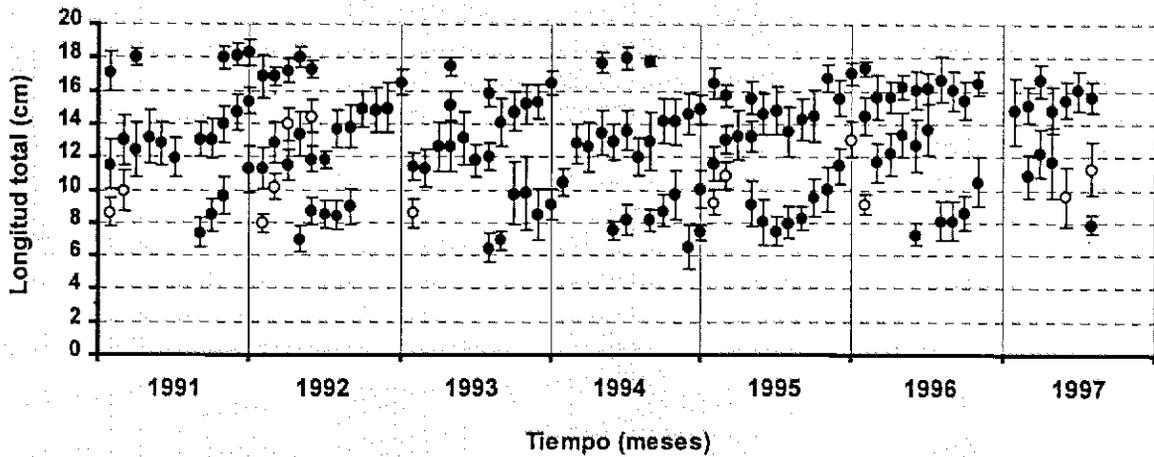


Figura 6. Longitud promedio ( $\pm 1$  desviación estándar) de cada grupo de edad identificado con MIX en los datos de frecuencia de tallas de anchoveta, enero de 1990 a julio de 1997. Los puntos llenos pertenecen a las cohortes principales identificadas, y los puntos vacíos a grupos de peces secundarios, la grilla vertical indica diciembre de cada año.

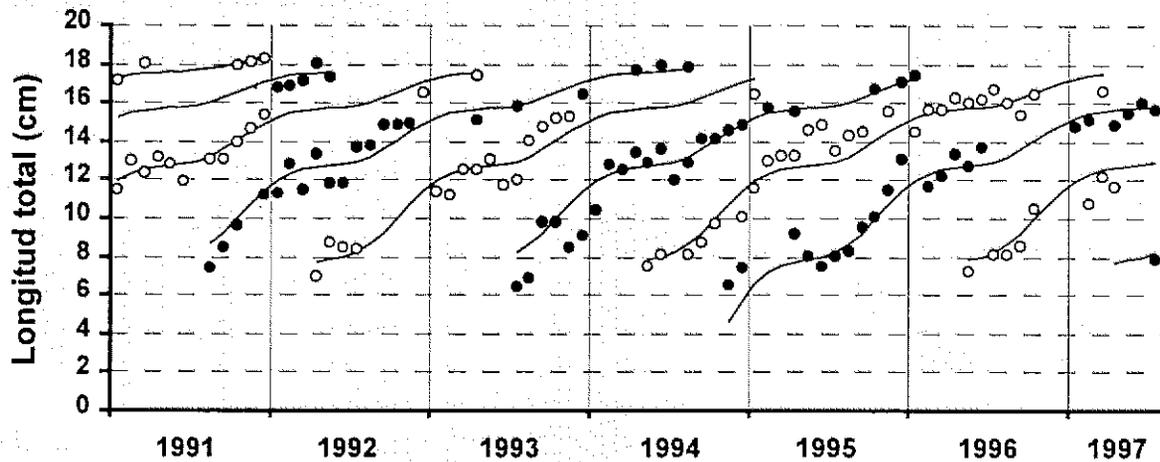


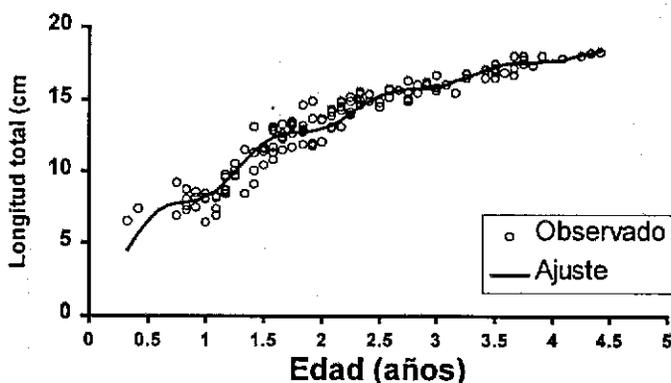
Figura 7. Crecimiento de las cohortes de anchoveta, donde se ha superpuesto la curva que describe el crecimiento promedio de todas estas cohortes (ver Figura 8).

Las cohortes que se reclutan en otoño provienen del desove del año anterior, razón por la cual se adoptó como fecha de cumpleaños arbitraria al primero de julio de cada año. El crecimiento en longitud de las cohortes identificadas se muestra en la Figura 7, superponiendo el crecimiento promedio de todas ellas (ver Figura 8). Estas cohortes, al igual que la sardina común, exhiben cambios estacionales en la tasa de crecimiento y también no muestran una variabilidad interanual importante en el crecimiento (Figura 7).

**Tabla 2.** Parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy estimados para las cohortes de anchoveta en la zona centro-sur de Chile. Entre paréntesis se indica el error estándar. Los parámetros marcados con un asterísco indica que no son estadísticamente diferentes de cero ( $\alpha=0,05$ ).

Parámetro	Cohortes principales
$L_{\infty}$ (cm)	20,53 (0,6528)
K ( $\text{año}^{-1}$ )	0,486 (0,0449)
$t_0$ (año)	- 0,136 (0,3151)(*)
C	0,826 (0,1635)
WP	0,316 (0,0288)
$R^2$	0,938
N	97
SCR	85,478

tardío observado (Figura 7).



**Figura 8.** Curva de crecimiento estimada para todas las cohortes de invierno (a) y de verano (b) de la anchoveta en la zona centro-sur de Chile entre 1990 y 1997.

El crecimiento de las cohortes de anchoveta queda descrito según los parámetros estimados ajustando el modelo de crecimiento en longitud de von Bertalanffy (Tabla 2). Tal como se ha mostrado preliminarmente, las cohortes de anchoveta exhiben cambios estacionales en la tasa de crecimiento (Figura 8). Además, el coeficiente de crecimiento es más bajo que en la sardina común, lo que incide en el retraso del crecimiento durante el primer año y el reclutamiento más

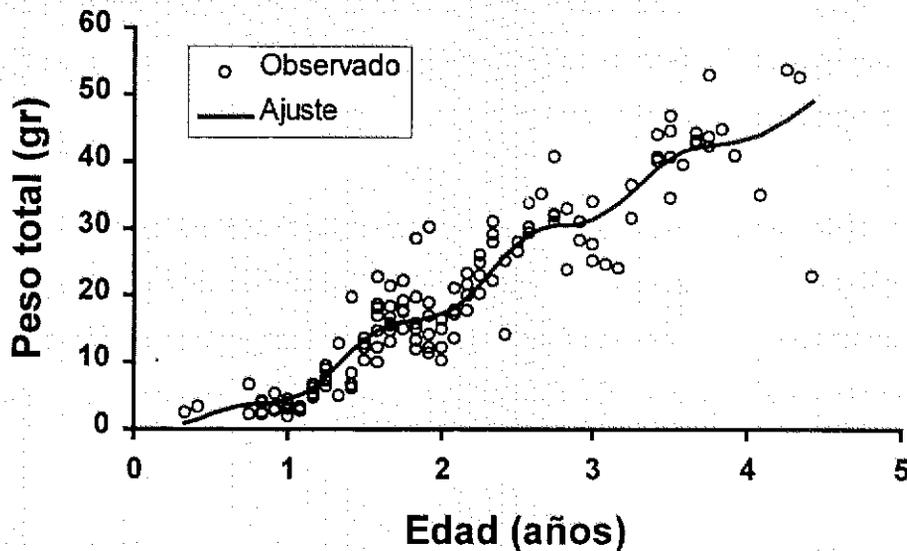
Por otra parte, debido a que la tasa de crecimiento es más lenta, la anchoveta es más longeva que la sardina común (Figura 3 y 8).

La amplitud de la oscilación de la tasa de crecimiento de las cohortes de anchoveta es más moderada ( $C=0,826$ ) que en la sardina común, pero la época en que ocurre la más baja tasa de crecimiento es similar

en ambos recursos ( $WP=0,316$  en anchoveta y  $WP=0,365$  en sardina común).

El crecimiento en peso de la anchoveta se muestra en la Figura 9, observándose la mayor variabilidad de esta variable respecto de la edad. Dejando fijo  $b=3$  y estimando el parámetro "a"

de la relación longitud-peso, se encuentra  $a=0,0079$  para la anchoveta. Por lo tanto, el peso asintótico de la anchoveta alcanza a  $W_{\infty} = 68,14$  gr.



**Figura 9.** Peso promedio a la edad y curva de crecimiento en peso, transformando el modelo de crecimiento en longitud con las constantes de la relación longitud-peso.

### Discusión

Los primeros antecedentes sobre el crecimiento de sardina común se remonta al trabajo de Aguayo & Soto (1978), quienes analizan los anillos anuales presentes en los otolitos *sagittae*. Posteriormente, Arrizaga (1981) describe el crecimiento a través del análisis de frecuencia de tamaños, sin analizar cambios estacionales en la tasa de crecimiento. Orrego (1993) analiza el crecimiento utilizando la técnica de lectura de incrementos diarios de los otolitos. No obstante, este autor sólo analiza la fracción juvenil de sardina común, de crecimiento más rápido.

Sólo el trabajo de Cubillos & Arancibia (1993a) comunica, por primera vez, que tanto la sardina común como la anchoveta del área de Talcahuano manifiestan oscilaciones estacionales en la tasa de crecimiento, donde la mayor tasa de crecimiento ocurre entre diciembre y marzo para ambas especies, en concomitancia con la mayor productividad de la zona costera. A su vez se observa una reducida tasa de crecimiento invernal, la que comienza a mediados de mayo para sardina

común y mediados de junio para anchoveta. Se destaca que Cubillos & Arancibia (1993a) basan su análisis de frecuencia de tallas utilizando el método ELEFAN de Pauly & David (1981). Dicho método sólo permite describir el crecimiento, sin indagar en la obtención de tallas promedio, varianza de la longitud a la edad, ni la proporción de cada componente normal de edad. Además, Cubillos & Arancibia (1993a) plantea la hipótesis en base al análisis del crecimiento de sólo una clase anual de sardina común y anchoveta.

En este estudio, el crecimiento de ambos recursos se basa en el análisis detallado de los datos de frecuencia de tallas en las capturas del período 1990-1997, donde existe una mayor probabilidad de encontrar cohortes con tasas de crecimiento más lenta y también más rápida. Sin embargo, se observó que la variabilidad interanual del crecimiento de las cohortes de sardina común y anchoveta es muy baja.

La baja variabilidad del crecimiento conlleva a plantear una mejor adaptación de estas especies al ecosistema de surgencia costera, en términos del uso y explotación del ambiente en que se desarrolla. Usualmente la variabilidad del reclutamiento y la producción en pesquerías pelágicas es muy alta, lo que ha permitido caracterizar a las pesquerías pelágicas. Sin embargo, en estas especies la variabilidad interanual del crecimiento es muy baja, aspecto que se puede considerar como una forma de compensar la alta variabilidad del reclutamiento.

El ambiente nerítico-costero en el que habita la sardina común frente a Talcahuano, ha sido reconocido como una zona de alta productividad biológica, lo que se asocia directamente con la época en que se manifiestan eventos de surgencia durante primavera y verano, inducidos por la dominancia de los vientos que provienen de los cuadrantes sur. Las características y variabilidad de los eventos de surgencia costera están bien definidas en la escala temporal estacional y diaria, reconociéndose que el período de surgencia se extiende desde inicios de septiembre hasta fines de marzo, con una máxima intensidad o frecuencia de ocurrencia entre diciembre y enero (Arcos & Navarro, 1986; Arcos, 1987).

De esta manera, los cambios estacionales en la tasa de crecimiento de sardina común y anchoveta indican que la rápida tasa de crecimiento en primavera-verano se debe a las mejores condiciones

de la oferta ambiental de alimento asociada a la mayor productividad de las aguas costeras debido al incremento en la ocurrencia de eventos de surgencia costera (Arcos & Navarro, 1986). A su vez, la reducida tasa de crecimiento invernal, que ocurre a mediados de mayo tanto en sardina común como en anchoveta podría verse amplificada por la condición reproductiva de los ejemplares. En efecto, la mayor actividad reproductiva ocurre a fines del invierno (agosto-septiembre), de tal manera que aquellos ejemplares que se van a reproducir por primera vez, al año de vida, deberían canalizar más energía hacia la reproducción (producción de gametos) que al crecimiento.

Este planteamiento conlleva a sugerir una estrategia adaptativa al sistema de surgencia costera de la zona centro-sur de Chile, la cual consistiría en aprovechar la época de máxima productividad asociada al enriquecimiento trófico de las aguas costeras para crecer (engorde) y la época de transición invierno-primavera (agosto-septiembre) para llevar a cabo la reproducción. Se ha observado que el período de máxima actividad reproductiva de sardina común se extiende entre junio y septiembre con un máximo en agosto en el área costera de la zona centro-sur (Cubillos & Arancibia, 1993b,c; Arancibia *et al.*, 1994) y manifiesta un máximo de abundancia de huevos y larvas en los meses de agosto a noviembre (Sepúlveda, 1990). En este contexto, la estrategia reproductiva de sardina común y anchoveta sería desovar a fines del invierno (agosto) con el objeto de que los estados larvales encuentren condiciones favorables de oferta ambiental de alimento al inicio de la primavera (septiembre), cuando la surgencia es moderada.

La probable existencia de una "sincronía" entre el máximo de abundancia larval con condiciones favorables de oferta ambiental de alimento se debería expresar con un máximo de abundancia de juveniles en primavera, situación que coincide con el incremento de las capturas entre noviembre y diciembre (3 a 4 meses después del desove). Las capturas de la flota artesanal e industrial en esos meses se caracterizan por la fuerte presencia y aporte de juveniles de sardina común, cuyo tamaño modal alcanza cerca de los 6 cm de longitud total (Cubillos & Arancibia, 1993a, Cubillos *et al.* 1994; Canales *et al.*, 1997, en este informe).

## Referencias

- Alarcón, R.; D. Bucarey, M. Canales & L. Cubillos. 1997. Epoca reproductiva y talla de primera madurez sexual de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur de Chile. En: Preinforme final FIP 96-10 "Evaluación indirecta del stock de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur", Instituto de Investigación Pesquera (IIP), Talcahuano (Chile).
- Aguayo, H.M. & S.B. Soto. 1978. Edad y crecimiento de la sardina común (*Clupea (Strangomera) bentincki*) en Coquimbo y Talcahuano. Invest. Pesq. (Chile), 27:1-55.
- Arcos, D.F. & N. Navarro. 1986. Análisis de un índice de surgencia para la zona de Talcahuano, Chile (Lat. 37°S). Investigación Pesquera (Chile), 33:91-98.
- Arcos, D. 1987. Seasonal and short time scale variability in copepod abundance and species composition in an upwelling area off Concepción coast, Chile. Ph.D. Thesis Dissertation, State University of New York, Stony Brook, 203 p.
- Arrizaga, A. 1981. Nuevos antecedentes biológicos para la sardina común, común *Clupea (Strangomera) bentincki* Norman 1936. Bol.Soc.Biol. Concepción, 52:5-66.
- Beyer, J. 1991. On the length-weight relationship. Part II. Computing mean weights from length statistics. Fishbyte 9(2):50-54.
- Canales, M.; D. Bucarey, L. Vilugrón & L. Cubillos. 1997. Estructura de tallas de sardina común y anchoveta en las capturas de la zona centro-sur de Chile (1990-1997) En: Preinforme final FIP 96-10 "Evaluación indirecta del stock de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur", Instituto de Investigación Pesquera (IIP), Talcahuano (Chile).
- Cubillos, L. & H. Arancibia. 1993a. On the seasonal growth of common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) off Talcahuano, Chile. Revista de Biología Marina 28(1):43-49.
- Cubillos, L. & H. Arancibia. 1993b. Análisis de la pesquería de sardina común y anchoveta del área de Talcahuano, situación actual y perspectivas. Documentos Técnicos del Instituto de Investigación Pesquera (IIP), Talcahuano, Chile 2(2):1-19.
- Cubillos, L. & H. Arancibia. 1993c. Análisis de la pesquería de sardina común (*Strangomera bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) del área de Talcahuano, Chile. Investigaciones Marinas 21:3-21.
- Cubillos, L.; H. Arancibia, S. Núñez, R. Alarcón, G. Valenzuela, L. Vilugrón, y D. Arcos. 1994. Evaluación indirecta del stock de sardina común en la VIII Región. Informe Final, Fondo de Investigación Pesquera/Instituto de Investigación Pesquera. Documentos Técnicos del Instituto de Investigación Pesquera (IIP), Talcahuano, Chile 2(2), 19 p.

- Cubillos, L.; R. Alarcón & L. Vilugrón. 1997. Relación longitud-peso de la sardina común y anchoveta de la zona centro-sur de Chile. En: Preinforme final FIP 96-10 "Evaluación indirecta del stock de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur", Instituto de Investigación Pesquera (IIP), Talcahuano (Chile).
- McDonald, P.D.M. & T.J. Pitcher. 1979. Age groups from size-frequency data: a versatile and efficient method for analyzing distribution mixtures. J. Fish. Res. Board Can. 36:987-1001.
- Orrego, A.H. 1993. Edad y crecimiento de la sardina común *Strangomera bentincki* (Norman, 1936)(Pisces: Clupeidae) a través de los microincrementos en los otolitos sagittae. Tesis de Magister en Ciencias, Escuela de Graduados, Universidad de Concepción. 84pp.
- Pauly, D. & G. Gaschütz. 1979. A simple method for fitting oscillating length growth data, with a program for pocket calculator. ICES C.M. 1979/G:24 Demersal Fisheries Committee, 26 p.
- Pauly, D. & N. David. 1981. ELEFAN I, a BASIC program for the objective extraction of growth parameters from length-frequency data. Meeresforsch. 28(4):205-211.
- Sepulveda, A. 1990. Variabilidad temporal del ictioplancton en el área de surgencia costera de Chile central: procesos ambientales y biológicos asociados. Tesis de Magister en Ciencias, mención Oceanografía. Escuela de Graduados, Universidad de Concepción, 85 p.
- Serra, J.R. 1978. La pesquería de sardina común (*Clupea (Strangomera) bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) de Talcahuano: análisis de su desarrollo y situación actual. Invest. Pesq. (Chile), 29: 1-21.
- Somers, I.F. 1988. On a seasonally growth function. Fishbyte 6(1):8-11.
- Yáñez, E.; M.A. Barbieri & A. Montecinos. 1990. Relaciones entre las variaciones del medio ambiente y las fluctuaciones de los principales recursos pelágicos explotados en la zona de Talcahuano, Chile. In: Perspectivas de la Actividad Pesquera en Chile, M.A. Barbieri (De.), Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso, pp. 49-62.

Anexo

**Tabla A1.** Proporción (P), longitud promedio (L), y desviación estándar (s) de cada grupo de edad identificado en las distribuciones de frecuencia de tallas de sardina común en el período julio de 1990-julio de 1997. Se indica el error estándar de los parámetros (ee).

MES	P	L	s	ee(P)	ee(L)	ee(s)
Jul-90	0.03882	10.865	0.9692	0	0.1721	0
Jul-90	0.96118	14.53	0.589	0	0.0193	0.0143
Ago-90	1	14.4126	0.6694	0	0	0
Sep-90	0.40349	10.3522	0.8565	0.0377	0.107	0.0808
Sep-90	0.59651	14.7543	0.6742	0.0377	0.0694	0.0521
Oct-90	1	14.285	0.8441	0	0	0
Nov-90	0.30684	11.5722	0.9732	0.0291	0.1223	0.097
Nov-90	0.69316	15.0855	0.5544	0.0291	0.0442	0.0344
Dic-90	0.07543	4.4281	0.3586	0.01974	0.0871	0.0875
Dic-90	0.59269	6.6923	1.1777	0.02406	0.0798	0.0554
Dic-90	0.33189	14.0615	0.8571	0.01559	0.05	0.0362
Ene-91	0.10691	5.4713	0.5197	0.01346	0.0567	0.0582
Ene-91	0.62551	8.5935	1.8276	0.01622	0.072	0.0556
Ene-91	0.26757	14.4976	0.9024	0.00938	0.0409	0.0315
Feb-91	0.90882	9.2546	1.6141	0.00782	0.0421	0.0331
Feb-91	0.09118	14.6716	1.0306	0.00782	0.1145	0.0833
Mar-91	0.32553	6.6682	0.7084	0.01224	0.038	0.0287
Mar-91	0.65269	9.9414	0.9957	0.01261	0.0343	0.0296
Mar-91	0.02178	14.7194	1.0347	0.00345	0.2014	0.156
Abr-91	0.35378	6.2347	0.6813	0.02248	0.0494	0.0341
Abr-91	0.58175	9.2262	1.3168	0.02482	0.0796	0.0761
Abr-91	0.06447	14.2388	1.1968	0.00733	0.1829	0.1305
May-91	0.48297	6.5792	0.6499	0.03017	0.0529	0.0384
May-91	0.51703	9.5069	1.2691	0.03017	0.121	0.0841
Jun-91	0.35716	6.9043	0.6624	0.02437	0.0575	0.036
Jun-91	0.6266	9.3183	0.9825	0.02443	0.0628	0.0421
Jun-91	0.01625	15.2491	0.669	0.003	0.1287	0.0961
Jul-91	0.1781	6.6433	0.3569	0.01353	0.02777	0.028
Jul-91	0.8219	9.2585	1.4681	0.01353	0.0465	0.0305
Ago-91	0.05255	6.9229	0.3975	0.00744	0.0647	0.0525
Ago-91	0.55848	9.651	1.123	0.0115	0.0388	0.0316
Ago-91	0.38897	15.6317	0.7137	0.00958	0.0231	0.017
Sep-91	1	9.9337	1.1408	0	0	0
Oct-91	0.92539	11.2215	1.1045	0.00492	0.0213	0.0161
Oct-91	0.07461	15.549	0.5943	0.00492	0.0465	0.0367
Nov-91	0.23169	6.0077	0.6384	0.00945	0.0305	0.0221
Nov-91	0.71235	11.9743	0.6845	0.01023	0.0189	0.0143
Nov-91	0.05595	15.5489	0.7491	0.00533	0.0831	0.066
Dic-91	0.8409	6.0835	0.9568	0.00775	0.0224	0.016
Dic-91	0.13197	13.1225	0.6317	0.00731	0.0411	0.0325
Dic-91	0.02713	15.9324	0.6498	0.00371	0.1091	0.0859
Ene-92	0.89948	7.8475	1.0269	0.00653	0.0237	0.0176

INSTITUTO DE INVESTIGACION PESQUERA

Ene-92	0.10002	13.5625	1.1518	0.00653	0.0853	0.0665
Feb-92	1	8.4012	1.4096	0	0	0
Mar-92	1	9.1504	1.241	0	0	0
Abr-92	1	10.4679	1.1699	0	0	0
May-92	0.77747	10.1558	0.9176	0.01782	0.0459	0.0362
May-92	0.22253	13.5985	0.6514	0.01782	0.0687	0.0538
Jun-92	0.84004	9.5004	0.8893	0.02612	0.0667	
Jun-92	0.15996	13.4446	1.1418	0.02612	0.2554	0.192
Jul-92	0.35089	9.2359	1.3435	0.0248	0.1265	0.0992
Jul-92	0.64911	14.0595	0.6879	0.0248	0.0462	0.0354
Ago-92	0.57428	10.0597	1.1398	0.05347	0.1806	0.1418
Ago-92	0.42572	13.6049	0.6952	0.05347	0.1286	0.0986
Sep-92	1	13.5028	1.0287			
Oct-92	0.1366	10.8975	0.2571	0.01913	0.04722	0.0423
Oct-92	0.86334	13.4457	0.8345	0.01913	0.0505	0.0396
Nov-92	0.9733	5.9268	0.7169	0.00489	0.0225	0.0162
Nov-92	0.0267	12.8707	0.9952	0.00489	0.187	0.1346
Dic-92	1	5.9542	1.1765			
<hr/>						
Ene-93	1	7.735	0.8975			
Feb-93	1	8.0034	1.1217			
Mar-93	0.93423	9.3785	1.0419	0.01355	0.0594	0.0433
Mar-93	0.06577	14.3113	0.5784	0.01355	0.1316	0.1022
Abr-93	0.7927	10.9218	0.9157	0.03044	0.079	0.0598
Abr-93	0.2073	14.7271	0.5153	0.03044	0.0925	0.0731
May-93	0.07914	5.7575	0.7885	0.01427	0.1815	0.1372
May-93	0.89178	10.0471	1.1726	0.01641	0.0624	0.0524
May-93	0.02908	14.6014	0.5921	0.00831	0.2027	0.159
Jun-93	0.91762	10.7194	1.6591	0.04194	0.1851	0.1384
Jun-93	0.08238	14.3231	0.5175	0.04194	0.2644	0.2323
Jul-93	0.16121	5.1734	0.4064	0.01136	0.0333	0.0252
Jul-93	0.81581	10.6742	1.0427	0.01245	0.0378	0.0293
Jul-93	0.02298	14.5738	0.7041	0.00574	0.2296	0.1674
Ago-93	0.76281	6.5766	0.5672	0.01999	0.0243	0.0207
Ago-93	0.23719	9.9156	1.7658	0.01999	0.2143	0.1401
Sep-93	0.44495	7.4807	1.238	0.02646	0.1147	0.0842
Sep-93	0.49246	11.8695	1.1844	0.03712	0.1056	0.1326
Sep-93	0.06259	14.8677	0.6271	0.02103	0.2367	0.1479
Oct-93	0.647	5.4415	1.0429			
Oct-93	0.353	10.4031	0.8541			
Nov-93	1	5.5101	0.8005			
Dic-93	1	6.9683	1.1924	0	0.0358	0.0256
<hr/>						
Ene-94	0.95493	8.9444	0.8099	0.04507	0.0221	0.0164
Ene-94	0.04507	13.0434	0.7183	0.04507	0.1004	0.0794
Feb-94	0.99747	9.5156	0.9342	0.00199	0.0364	0.0262
Feb-94	0.00253	14.2767	0.5696	0.00199	0.512	0.4069
Mar-94	0.9862	11.1956	0.9412	0.0168	0.1168	0.0886
Mar-94	0.0138	14.4866	0.347	0.0168	0.5732	0.4598
Abr-94	0.9768	10.1877	0.9502	0.01356	0.0661	0.0513
Abr-94	0.0232	13.8365	0.8208	0.01356	0.6527	0.447

INSTITUTO DE INVESTIGACION PESQUERA

May-94	1	10.1248	0.8046			
Jun-94	1	9.7366	1.0859			
Jul-94	1	10.5591	0.9673			
Ago-94	1	10.2	0.8764			
Sep-94	1	11.1496	0.9467	0	0.0449	0.0321
Oct-94	1	12.4698	1.2837	0	0.335	0.0239
Nov-94	0.57303	6.1403	0.7631	0.01173	0.0246	0.0185
Nov-94	0.02731	9.7625	0.6297	0.00437	0.1182	0.1216
Nov-94	0.39966	13.121	0.7591	0.01165	0.0298	0.0229
Dic-94	0.97057	7.2535	1.1022	0.00414	0.0269	0.0198
Dic-94	0.02943	12.901	1.0624	0.00414	0.1711	0.1344
Ene-95	0.98091	8.7708	1.3481	0.00531	0.0431	0.0331
Ene-95	0.01909	13.2711	0.5865	0.00531	0.2084	0.1521
Feb-95	0.46275	9.6099	0.6316	0.01637	0.0325	0.0255
Feb-95	0.53725	13.0686	0.7369	0.01637	0.0348	0.0271
Mar-95	0.23953	9.6871	0.7295	0.00835	0.032	0.032
Mar-95	0.76047	13.2237	0.709	0.00835	0.0165	0.0127
Abr-95	1	10.2051	1.5958		0.0501	0.0356
May-95	1	11.4867	1.4555		0.0328	0.0233
Jun-95	0.30468	5.4867	0.8244	0.01854	0.0612	0.0444
Jun-95	0.69532	12.7451	1.1747	0.01854	0.0572	0.041
Jul-95	0.06154	5.8846	0.4413	0.00675	0.0527	0.0393
Jul-95	0.93846	12.514	1.1736	0.00675	0.0343	0.0245
Ago-95	0.03203	6.9167	0.6143	0.00407	0.0816	0.0598
Ago-95	0.96797	13.617	1.012	0.00407	0.024	0.0172
Sep-95	0.17878	7.3917	0.5578	0.01006	0.0366	0.0281
Sep-95	0.04878	10.4625	0.6114	0.00666	0.1038	0.0985
Sep-95	0.77243	13.359	0.6909	0.01142	0.0222	0.0173
Oct-95	1	13.2734	0.8396	0	0.0107	0.0149
Nov-95	0.00598	5.2086	0.3486	0.00172	0.1089	0.0828
Nov-95	0.99402	13.6499	1.0282	0.00172	0.0233	0.0166
Dic-95	0.83158	6.5609	0.632	0.00507	0.0096	0.007
Dic-95	0.16842	14.4671	0.7964	0.00507	0.0267	0.0192
Ene-96	0.82772	7.4402	0.6906	0.00534	0.011	0.0079
Ene-96	0.17228	14.7123	0.744	0.00534	0.0258	0.0186
Feb-96	0.93765	8.1529	0.668	0.0035	0.0102	0.0074
Feb-96	0.06235	14.1883	0.9808	0.0035	0.0577	0.042
Mar-96	1	8.6996	1.2422	0	0.0186	0.0132
Abr-96	0.93486	9.1313	1.1814	0.00449	0.0216	0.0164
Abr-96	0.06514	14.1631	0.9511	0.00449	0.0797	0.0797
May-96	0.04327	4.746	0.4996	0.00415	0.051	0.0378
May-96	0.82136	9.8851	0.7582	0.00784	0.0175	0.0129
May-96	0.13537	14.8024	0.9341	0.00701	0.0541	0.0412
Jun-96	0.39843	7.3916	0.9465	0.02174	0.0765	0.0469
Jun-96	0.58054	9.7905	0.7138	0.02235	0.0371	0.0276
Jun-96	0.02103	13.4491	1.1525	0.00354	0.2636	0.1914
Jul-96	0.03041	6.7632	0.703	0.00323	0.0841	0.0666
Jul-96	0.79694	10.6038	0.7025	0.00761	0.0153	0.012
Jul-96	0.17264	14.7201	0.991	0.00713	0.0494	0.0389

INSTITUTO DE INVESTIGACION PESQUERA

Ago-96	0.40277	7.0551	0.8655	0.01245	0.041	0.031
Ago-96	0.45467	10.0577	0.7764	0.01265	0.0332	0.0266
Ago-96	0.14256	14.9433	0.8972	0.00715	0.0503	0.0381
Sep-96	0.49832	10.6862	0.8165	0.01013	0.0242	0.0182
Sep-96	0.50168	15.1249	0.7528	0.01013	0.0223	0.0168
Oct-96	0.89138	11.3444	1.1505	0.00649	0.0252	0.0195
Oct-96	0.10862	15.4202	0.5604	0.00649	0.041	0.0323
Nov-96	0.26541	6.5423	0.7387	0.01392	0.0461	0.0337
Nov-96	0.66601	12.7725	0.7155	0.01569	0.0309	0.0243
Nov-96	0.06858	15.7492	0.7293	0.0094	0.1325	0.1007
Dic-96	0.93669	6.6003	0.8163	0.00447	0.0157	0.0113
Dic-96	0.06331	13.1657	0.8859	0.00447	0.0656	0.0475
Ene-97	0.69479	7.8856	0.9899	0.00688	0.0182	0.0138
Ene-97	0.28713	13.0026	0.9902	0.00697	0.0309	0.028
Ene-97	0.01808	16.2394	0.515	0.00245	0.09	0.0671
Feb-97	0.75735	8.918	1.1333	0.0071	0.0221	0.0169
Feb-97	0.20666	13.4586	0.676	0.00757	0.0318	0.0306
Feb-97	0.03599	15.8346	0.6352	0.00432	0.1053	0.073
Mar-97	0.55936	9.507	0.89444	0.01041	0.0266	0.0209
Mar-97	0.38196	13.4544	0.7785	0.011	0.0311	0.0303
Mar-97	0.05868	16.1142	0.5378	0.0059	0.0716	0.0531
Abr-97	0.41207	9.6572	1.0338	0.00118	0.0435	0.0344
Abr-97	0.5049	13.4959	0.7773	0.014	0.0317	0.0325
Abr-97	0.08302	15.9893	0.5455	0.00855	0.0759	0.0532
May-97	0.38153	9.501	0.7565	0.01124	0.0305	0.0239
May-97	0.50679	13.5176	0.9013	0.0147	0.04	0.0384
May-97	0.11168	16.0845	0.5537	0.01092	0.0708	0.0482
Jun-97	0.18719	9.7194	0.8783	0.00999	0.0578	0.046
Jun-97	0.68347	13.707	0.7894	0.01462	0.0306	0.0282
Jun-97	0.12934	16.0916	0.4752	0.01154	0.0575	0.0412
Jul-97	0.17394	10.0464	0.7801	0.00826	0.0465	0.0369
Jul-97	0.72664	13.7174	0.7984	0.01126	0.0237	0.0221
Jul-97	0.09942	16.2067	0.4605	0.00816	0.0508	0.0376

**Tabla A2.** Proporción (P), longitud promedio (L), y desviación estándar (s) de cada grupo de edad identificado en las distribuciones de frecuencia de tallas de anchoveta en el período enero 1990-julio de 1997. Se indica el error estándar de los parámetros (ee).

MES	P	L	sigma	ee(P)	ee(L)	ee(sigma)
Ene-91	0.31396	8.6266	0.9055	0.08719	0.2077	0.1272
Ene-91	0.23209	11.5294	1.5194	0.09521	0.7086	0.5964
Ene-91	0.45395	17.1241	1.2165	0.45395	0.1107	0.0863
Feb-91	0.15493	9.9307	1.2356	0.11432	0.8714	0.3515
Feb-91	0.84507	13.0509	1.4984	0.11432	0.2752	0.1437
Mar-91	0.99011	12.4287	1.6413	0.00445	0.063	0.0471
Mar-91	0.00989	18.0148	0.4963	0.00445	0.2765	0.2171
Abr-91	1	13.1998	1.6359	0	0.0589	0.0418
May-91	1	12.819	1.3112	0	0.0529	0.0378
Jun-91	1	11.9597	1.1975	0	0.0819	0.0584
Ago-91	0.49669	7.4009	0.8893	0.01433	0.0371	0.0276
Ago-91	0.50331	13.0754	1.0534	0.01433	0.0435	0.0323
Sep-91	0.68767	8.4806	0.994	0.01601	0.0433	0.0339
Sep-91	0.31233	13.0995	1.178	0.01601	0.083	0.0651
Oct-91	0.09926	9.6337	1.0948	0.00964	0.143	0.1052
Oct-91	0.77582	13.9787	1.0938	0.01335	0.0382	0.0356
Oct-91	0.12492	17.9809	0.7015	0.00957	0.0679	0.0526
Nov-91	0.86435	14.6792	1.0904	0.01402	0.0454	0.036
Nov-91	0.13565	18.1535	0.6649	0.01402	0.0909	0.0668
Dic-91	0.04615	11.2526	1.439	0.01006	0.4266	0.3237
Dic-91	0.83061	15.377	0.7571	0.01966	0.039	0.0346
Dic-91	0.12323	18.3083	0.787	0.01665	0.1483	0.1085
Ene-92	0.04926	7.9393	0.5584	0.01463	0.2016	0.1381
Ene-92	0.9374	11.3364	1.2464	0.0162	0.0609	0.0539
Ene-92	0.01333	16.8478	1.2776	0.00565	0.7219	0.5293
Feb-92	0.26607	10.1881	0.7639	0.04053	0.1112	0.034
Feb-92	0.64139	12.862	1.2671	0.04352	0.1169	0.0975
Feb-92	0.09254	16.8624	0.5853	0.00902	0.0715	0.054
Mar-92	0.19924	11.4952	0.8896	0.04865	0.237	0.1052
Mar-92	0.76077	13.9403	1.0236	0.05375	0.086	0.0755
Mar-92	0.03999	17.1867	0.7368	0.00949	0.2274	0.1348
Abr-92	0.00501	6.9484	0.7726	0.00216	0.3765	0.3041
Abr-92	0.97903	13.4054	1.3506	0.0053	0.0423	0.0328
Abr-92	0.01596	18.0486	0.6432	0.00483	0.2506	0.1817
May-92	0.03893	8.7208	0.8401	0.00748	0.2201	0.1595
May-92	0.41607	11.8502	0.743	0.0387	0.0834	0.0658
May-92	0.5253	14.4256	0.978	0.04104	0.0972	0.0948
May-92	0.01971	17.3404	0.5304	0.00844	0.2821	0.1762
Jun-92	0.80437	8.4973	0.8513	0.01727	0.0425	0.0331
Jun-92	0.19563	11.8197	0.5514	0.01727	0.0616	0.0489
Jul-92	0.19192	8.4378	0.8404	0.00895	0.0464	0.0358
Jul-92	0.80808	13.6817	1.1237	0.00895	0.0289	0.0216
Ago-92	0.06773	8.9687	1.1249	0.01501	0.3333	0.2428

INSTITUTO DE INVESTIGACION PESQUERA

Ago-92	0.93227	13.8239	1.296	0.01501	0.07	0.0548
Sep-92	1	14.9091	1.0792	0	0.0561	0.0401
Oct-92	1	14.8483	1.3405	0	0.0551	0.0393
Nov-92	1	14.9614	1.4665	0	0.0522	0.0371
Dic-92	1	16.5046	0.769	0	0.0617	0.0445
Ene-93	0.80503	8.5679	0.8609	0.03042	0.0665	0.0506
Ene-93	0.19497	11.3857	0.7915	0.03042	0.1747	0.1195
Feb-93	1	11.2583	1.1369	0	0.0468	0.0334
Mar-93	1	12.5973	1.5339	0	0.0462	0.0329
Abr-93	0.58202	12.5987	1.4907	0.08599	0.2836	0.1328
Abr-93	0.37043	15.1157	0.889	0.09287	0.1326	0.1392
Abr-93	0.04755	17.4766	0.5433	0.01531	0.2042	0.1163
May-93	1	13.1335	1.599	0	0.0551	0.0391
Jun-93	1	11.7836	1.0081	0	0.0509	0.0364
Jul-93	0.01915	6.4635	0.8915	0.00476	0.231	0.1797
Jul-93	0.51498	12.0417	0.8048	0.01788	0.0428	0.0338
Jul-93	0.46587	15.8694	0.8193	0.01784	0.0461	0.0362
Ago-93	0.23541	6.9	0.6064	0.01437	0.0437	0.0323
Ago-93	0.76459	14.0973	1.4937	0.01437	0.0582	0.0419
Sep-93	0.41202	9.7899	1.9512	0.02362	0.1751	0.1244
Sep-93	0.58798	14.7569	1.1539	0.02362	0.0694	0.0501
Oct-93	0.46937	9.7975	2.2065	0.02771	0.2093	0.1551
Oct-93	0.53063	15.1977	1.1678	0.02771	0.0856	0.0624
Nov-93	0.24246	8.4694	1.5764	0.2536	0.03259	0.0884
Nov-93	0.75754	15.3427	0.9938	0.2536	0.1965	0.0657
Dic-93	0.75525	9.1287	0.9663	0.02083	0.0545	0.0391
Dic-93	0.24475	16.4965	0.7498	0.02083	0.0748	0.0541
Ene-94	1	10.463	0.862	0	0.0261	0.0187
Feb-94	1	12.8102	1.2235	0	0.0472	0.0336
Mar-94	1	12.5973	1.5339	0	0.0462	0.0329
Abr-94	0.90139	13.4951	1.3608	0.01198	0.0543	0.0428
Abr-94	0.09861	17.7421	0.6394	0.01198	0.098	0.074
May-94	0.22679	7.5552	0.5742	0.01282	0.0384	0.0287
May-94	0.77321	12.9134	1.0578	0.01282	0.0373	0.027
Jun-94	0.01992	8.1681	0.9208	0.0064	0.3565	0.2785
Jun-94	0.93588	13.6258	1.2413	0.01205	0.0581	0.0476
Jun-94	0.0442	18.0069	0.6883	0.0102	0.2012	0.1529
Jul-94	1	12.0511	1.1195	0	0.0339	0.0241
Ago-94	0.02311	8.1546	0.6627	0.00739	0.2504	0.1776
Ago-94	0.96963	12.9503	1.7254	0.00894	0.0546	0.0497
Ago-94	0.00727	17.844	0.3193	0.00398	0.2175	0.208
Sep-94	0.63785	8.7297	0.9609	0.01436	0.0374	0.0287
Sep-94	0.36215	14.172	1.3407	0.01436	0.0715	0.056
Oct-94	0.08612	9.6959	1.4707	0.01894	0.4367	0.2517
Oct-94	0.91388	14.1533	1.3927	0.01894	0.063	0.0467
Nov-94	0.02071	6.5375	1.315	0.00551	0.3685	0.3091
Nov-94	0.97929	14.6359	1.2633	0.00551	0.0495	0.0355
Dic-94	0.18837	7.4254	0.4875	0.01733	0.0512	0.0381
Dic-94	0.72388	10.0488	1.1191	0.01885	0.0519	0.0455

INSTITUTO DE INVESTIGACION PESQUERA

Dic-94	0.08776	14.9057	0.8922	0.00742	0.0903	0.0708
Ene-95	0.20232	9.2613	0.7808	0.04481	0.186	0.0923
Ene-95	0.60397	11.637	1.044	0.04674	0.1141	0.081
Ene-95	0.19371	16.4561	0.9295	0.01189	0.07	0.0552
Feb-95	0.39124	10.8975	0.8169	0.06542	0.174	0.0886
Feb-95	0.47689	13.0402	0.8017	0.07457	0.1302	0.1237
Feb-95	0.13187	15.7143	0.6951	0.01892	0.1387	0.0915
Mar-95	1	13.3053	1.5062	0	0.0253	0.0179
Abr-95	0.56114	9.1706	1.4372	0.01292	0.0558	0.0412
Abr-95	0.27696	13.3019	0.9407	0.04339	0.1375	0.1169
Abr-95	0.1619	15.5676	0.9774	0.03773	0.256	0.1091
May-95	0.64259	8.0442	1.3875	0.00736	0.0275	0.0211
May-95	0.35741	14.6108	1.2916	0.00736	0.0352	0.0273
Jun-95	0.66626	7.5017	0.9027	0.01283	0.0306	0.0226
Jun-95	0.33374	14.8398	1.4702	0.01283	0.0703	0.052
Jul-95	0.65004	8.0299	0.9964	0.00905	0.0244	0.0188
Jul-95	0.34996	13.5473	1.4755	0.00905	0.0521	0.041
Ago-95	0.54532	8.2835	0.7587	0.01992	0.0422	0.0315
Ago-95	0.45468	14.3114	1.2756	0.01992	0.0771	0.0572
Sep-95	0.86809	9.5656	1.1337	0.00572	0.0198	0.0151
Sep-95	0.13191	14.5	1.5769	0.00572	0	0.0622
Oct-95	0.70271	10.0493	1.3505	0.00891	0.0318	0.0233
Oct-95	0.29729	16.7688	0.8449	0.00891	0.031	0.0234
Nov-95	0.93773	11.4724	1.0939	0.0079	0.0341	0.0259
Nov-95	0.06227	15.56	1.0786	0.0079	0	0.1224
Dic-95	0.03495	13.1064	1.0952	0.01029	0.399	0.3212
Dic-95	0.96505	17.067	0.6835	0.01029	0.0373	0.0281
Ene-96	0.04724	9.0883	0.6195	0.01893	0.2684	0.2113
Ene-96	0.55492	14.5122	1.1245	0.05404	0.1844	0.1488
Ene-96	0.39785	17.3965	0.4601	0.05329	0.086	0.0686
Feb-96	0.48916	11.6656	1.1566	0.04156	0.1462	0.0987
Feb-96	0.51084	15.6528	1.3789	0.04156	0.1774	0.1217
Mar-96	0.7315	12.1909	1.2924	0.02779	0.0891	0.0639
Mar-96	0.2685	15.6633	0.9139	0.02779	0.1248	0.0796
Abr-96	0.65114	13.363	1.3648	0.05108	0.1741	0.1122
Abr-96	0.34886	16.2765	0.7512	0.05108	0.1184	0.0776
May-96	0.64709	7.2744	0.6681	0.01798	0.0324	0.0245
May-96	0.13316	12.7113	1.6285	0.05433	0.8088	0.5426
May-96	0.21974	16.0187	1.1416	0.05295	0.2678	0.1447
Jun-96	0.78106	13.6953	1.5584	0.12686	0.3323	0.1574
Jun-96	0.21894	16.1864	0.9018	0.12686	0.31	0.2088
Jul-96	0.87887	8.1303	1.1804	0.01139	0.0443	0.0319
Jul-96	0.12113	16.7116	1.3889	0.01139	0.1413	0.1052
Ago-96	0.91495	8.1204	1.1825	0.00809	0.0361	0.026
Ago-96	0.08505	16.0213	1.2243	0.00809	0.1251	0.1006
Sep-96	0.86401	8.6207	1.059	0.0077	0.0259	0.0189
Sep-96	0.13599	15.4304	1.1368	0.0077	0.0711	0.0545
Oct-96	0.90727	10.5024	1.4733	0.00673	0.0359	0.0267
Oct-96	0.09273	16.4625	0.7028	0.00673	0.0579	0.0477

INSTITUTO DE INVESTIGACION PESQUERA

Ene-97	1	14.7975	2.0211	0	0.0988	0.0706
Feb-97	0.386	10.8292	1.2638	0.0182	0.0902	0.0676
Feb-97	0.614	15.1634	1.1201	0.0182	0.0569	0.0433
Mar-97	0.54887	12.2198	1.454	0.03574	0.1466	0.0927
Mar-97	0.45163	16.6606	0.9974	0.03574	0.099	0.0611
Abr-97	0.27096	11.6833	2.1221	0.10653	0.9242	0.3573
Abr-97	0.72904	14.8676	1.4399	0.10653	0.1323	0.0743
May-97	0.43682	9.623	1.8144	0.01522	0.0953	0.075
May-97	0.56318	15.4836	1.1068	0.01522	0.048	0.0369
Jun-97	1	16.0393	1.2009	0	0.0508	0.0362
Jul-97	0.08922	7.9118	0.5915	0.01743	0.1098	0.0968
Jul-97	0.11963	11.3152	1.5934	0.02882	0.3429	0.5109
Jul-97	0.79115	15.6635	0.9396	0.02176	0.05	0.0378

## 1.7. *Mortalidad natural*

**Estimación de la tasa de mortalidad natural de  
sardina común y anchoveta  
con modelos empíricos**

**Luis Cubillos, R. Alarcón y P. Sobarzo**

**Resumen ejecutivo**

Se determina la tasa de mortalidad natural de sardina común y anchoveta con modelos empíricos y se evalúa la precisión de las estimaciones utilizando un bootstrap paramétrico, el cual es evaluado numéricamente mediante una aproximación Monte Carlo. Los modelos usados son: Pauly (1980), Rickhter y Efanov (1976, Taylor (1959), Alverson y Carney (1975), y Hoening (1983). La tasa de mortalidad natural no presenta diferencias significativas entre los métodos, ni entre especies ya que los límites de confianza de 90% se sobreponen. La distribución de la tasa de mortalidad natural se distribuye log-normal, de tal manera que la mediana es el mejor estimador de tendencia central. Sin embargo, el promedio no fue muy diferente de la mediana lo que permite estimar un solo valor de  $M$  a través de un promedio ponderado por el inverso de la varianza. La tasa de mortalidad natural se estima en  $0,96 \text{ año}^{-1}$  [0,714; 1,284] para la sardina común y  $0,69 \text{ año}^{-1}$  [0,476;0,992] para la anchoveta.

## Introducción

En la dinámica de poblaciones explotadas, la tasa de mortalidad natural está relacionada con todas las posibles fuentes de mortalidad, excepto la pesca. Sin embargo, las estimaciones de la tasa de mortalidad natural ( $M$ ) siempre estarán sujetas a una gran incertidumbre (Vetter, 1988).

Usualmente, valores de  $M$  se pueden estimar mediante la aplicación de uno o varios de los siguientes métodos: (a) análisis de curvas de captura para stock levemente explotados (Robson & Chapman, 1961; Ricker, 1975); (b) mediante la relación entre la tasa de mortalidad total y el esfuerzo de pesca (Beverton & Holt, 1957; Paloheimo, 1980); (c) técnicas de estimación directa, usualmente costosas y limitadas (i.e., marcaje); y (c) parámetros de la historia de vida y variables ambientales utilizando modelos empíricos o relaciones (Beverton, 1963; Rickhter & Efanov, 1976; Pauly, 1980; Hoening, 1983).

La tasa instantánea de mortalidad natural ( $M$ ) se ha estimado en  $1,3 \text{ año}^{-1}$  para sardina común por Cubillos *et al.* (1994) como un valor promedio de entre varias metodologías. Sin embargo, los límites de confianza al 95% indican que la tasa de mortalidad natural se encuentra en el rango  $0,82$  a  $2,1 \text{ año}^{-1}$ , según el método de Paloheimo (1980). Para la anchoveta, Cubillos & Arancibia (1993b) determinan un valor de  $M = 0,9 \text{ año}^{-1}$ , en base a la ecuación empírica de Pauly (1980).

El objetivo de este estudio es estimar nuevamente la tasa de mortalidad natural para sardina común y anchoveta de la zona centro-sur de Chile, utilizando métodos empíricos: Pauly (1980), Rickther & Efanov (1976), Alverson & Carney (1975), Taylor (1959), y Hoening (1983). El énfasis es buscar un valor de compromiso para  $M$  analizando la precisión con técnicas de remuestreo computacional para obtener la varianza de  $M$ .

## Materiales y Métodos

### Métodos empíricos para estimar M

- Método de Rikhter y Efanov

Los autores de este método muestran una relación entre  $M$  y la edad promedio de madurez sexual ( $Tm_{50}$ ). La expresión es la siguiente:

$$1)... \quad M = \left( \frac{1,521}{Tm_{50}^{0,72}} \right) - 0,155$$

Para la anchoveta y la sardina común,  $Tm_{50}$  se estimó convirtiendo la talla de primera madurez sexual (ver Alarcón *et al.*, 1997, en este informe) con la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy sin el componente de oscilación estacional, i.e.

$$2)... \quad Tm_{50} = t_0 - \frac{1}{K} \ln \left( 1 - \frac{Lm_{50}}{L_{\infty}} \right)$$

Los parámetros de crecimiento utilizados han sido los estimados por Cubillos (1997, en este informe).

- Método de Pauly

Pauly (1980) encontró una relación entre  $M$ ,  $K$  (coeficiente de crecimiento),  $L_{\infty}$  (longitud asintótica) y  $T$  (temperatura anual promedio del habitat, en grados Celcius) a partir de datos compilados de 175 stocks de peces. El modelo de regresión es:

$$3)... \quad \log_{10}(M) = -0,0066 - 0,279 \log_{10}(L_{\infty}) + 0,6543 \log_{10}(K) + 0,4634 \log_{10}(T)$$

- Método de Taylor-Gulland

Taylor (1959) supone que la edad máxima ( $T_{max}$ ) ocurre cuando el 95% la cohorte alcanza la longitud asintótica, i.e.

4)...

$$T_{max} = t_0 + \frac{3}{K}$$

donde  $t_0$  y  $K$  son parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy.

De esta manera, la tasa de mortalidad natural correspondiendo al 5% de sobrevivientes, se puede determinar por

5)...

$$M = \frac{-\ln(0,05)}{T_{max} - T_r}$$

donde  $T_r$  es la edad de reclutamiento y  $T_{max}$  se define a través de la ecuación (4).

- Método de Alverson y Carney

El método de Alverson y Carney (1975) se basa en la ecuación usada para estimar la edad de máxima biomasa ( $t^*$ ) de una cohorte (o edad crítica, Csirke, 1980), i.e.

6)...

$$t^* = t_0 + \frac{1}{K} \ln \left[ \frac{3K}{M} + 1 \right]$$

si  $t_0$  es ignorado,

6.1)...

$$t^* = \frac{1}{K} \ln \left[ \frac{3K}{M} + 1 \right]$$

a partir de la cual se obtiene,

7)...

$$M = \frac{3K}{(\exp(K(t^* - t_0)) - 1)}$$

y si  $t_0$  es ignorado,

7.1)...

$$M = \frac{3K}{(\exp(Kt^*) - 1)}$$

donde la constante 3 corresponde al exponente isométrico de la relación longitud-peso ( $b=3$ );  $K$  y  $t_0$  son parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy. Alverson & Carney (1975) sugieren utilizar

8)...

$$t^* = 0,25T_{max}$$

como estimador de  $t^*$ , donde  $T_{max}$  es la longevidad de la especie (Ecuación 4).

En este trabajo, en vez de utilizar la ecuación (8) se seguirá el enfoque de Cubillos *et al.* (en revisión). Dicho enfoque consiste en estimar  $t^*$  para un grupo de especies cercanas utilizando los datos ( $L_\infty$ ,  $K$ , y  $M$ ). Para ello se ha utilizado los datos recopilados por Pauly (1982) para la Familia Clupeidae y Engraulidae. Entonces, para las especie de cada familia se determinó la razón:

9)...

$$\theta = \frac{t^*}{T_{max}}$$

Luego, se determinó el valor promedio de  $\theta$  y su error estándar. Conocido  $T_{max}$  y  $\theta$ , se puede estimar  $t^*$  y entonces  $M$  con la Ecuación (7 o 7.1).

Alternativamente, se puede considerar la siguiente razón

$$10)... \quad \omega = \frac{L^*}{L_{\infty}} = (1 - \exp(-Kt^*))$$

El valor promedio de esta razón ( $\bar{\omega}$ ), se puede utilizar para determinar  $t^*$ , i.e.

$$11)... \quad t^* = -\frac{1}{K} \ln(1 - \bar{\omega})$$

Luego,  $t^*$  se utiliza para estimar  $M$  con la Ecuación (7) ó (7.1). Alternativamente,  $\bar{\omega}$  se puede utilizar directamente para estimar  $M$  igualando la Ecuación (11) con la Ecuación (6.1), lo que resulta en

$$12)... \quad M = \frac{3K}{\left(\frac{1}{1 - \bar{\omega}} - 1\right)}$$

- Método de Hoening

Hoening (1983) encuentra una relación empírica entre la tasa de mortalidad total ( $Z$ ) y la edad máxima observada ( $T_{max}$ ) de varias especies de peces, moluscos y cetáceos. Muchos de los datos pertenecen a stocks inexplorados o levemente explotados de tal manera que  $Z \approx M$ . El modelo de regresión fue:

$$13)... \quad \ln(Z) = 1,44 - 0,982 \cdot \ln(T_{max})$$

donde  $Z$  y  $T_{max}$  han sido previamente definidos.

**Procedimiento para estimar la varianza**

La base para el procedimiento sugerido aquí es un tipo de remuestreo bootstrap paramétrico de Efron (1982, 1985), que se evalúa numéricamente por medio del enfoque Monte Carlo. Para este procedimiento, un número de valores alternativos e igualmente probables de M ( $M_R$ ) se generan usando una forma paramétrica de la distribución del error, donde  $R=1,2,\dots, R_{max}$  y  $R_{max}$  es el número relativamente grande ( $\geq 100$ ). En este estudio se consideró  $R_{max}=3000$  para cada modelo empírico. La estimación de la varianza asociada con este bootstrap paramétrico (BP) es entonces

14)... 
$$\hat{V}AR_{BP}(M) = \frac{\sum_{R=1}^{R_{max}} (M_R - \bar{M}_{BP})^2}{R_{max} - 1}$$

donde

15)... 
$$\bar{M}_{BP} = \frac{\sum_{R=1}^{R_{max}} M_R}{R_{max}}$$

Luego, los límites de confianza se obtienen con un método percentil, lo cual involucra ordenar el conjunto de valores alternativos de M ( $M_R$ :  $R=1, 2,\dots, R_{max}$ ). Para implementar el método de estimación de varianza, se tomó en cuenta el error estándar de los coeficientes de cada modelo de estimación de M y la incertidumbre de los parámetros que alimentan a cada uno de estos modelos. Sin embargo, debido a que en varios métodos se utiliza los parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy, el error estándar de K,  $L_\infty$  y  $t_0$  y el grado de correlación entre ellos se tomó en cuenta para generar valores alternativos e igualmente probables (ver Cubillos, 1997, en este informe).

En el caso del método Rickhter and Evanof (1976), se consideró sin error a la talla de primera madurez sexual pero la incertidumbre en la estimación de la edad de primera madurez fue tomada en cuenta al transformar la talla a edad. Además, para las constantes de la Ecuación (1) se supuso un coeficiente de variación de 10%. Para el método de Pauly (1980), se consideró la incertidumbre en los parámetros de crecimiento, se utilizó un rango de temperatura comprendido entre 9 y 14°C

(U(9,14)), y el error estándar de las constantes de la Ecuación (2) informadas por Pauly (1980) (su Tabla 5). Para estimar M con el método de Taylor (1959), se utilizó una distribución uniforme para la fracción sobreviviente, i.e. U(0,01;0,1). Además, se internalizó el error estándar de Tmax en base a muestras aleatorias obtenidas para cada parámetro de crecimiento. Para estimar la varianza de M con el método de Alverson y Carney (1975), se utilizó el error estándar de K y  $\omega$ . Para el método de Hoening (1983), se utilizó Tmax y para las constantes fue asumido un coeficiente de variación de 10%.

Para obtener un valor de compromiso de la mortalidad natural de sardina común y anchoveta se utilizó un promedio ponderado por el inverso de las varianzas de cada estimado (Hilborn & Walters, 1992), i.e.

16)...

$$\hat{M} = \frac{\sum_{n=1}^n w_n M_n}{\sum_{n=1}^n w_n}$$

donde:

17)...

$$w_n = \frac{1}{\sigma_n^2}$$

es el inverso de la varianza correspondiente a cada uno de los "n" estimados independientes de la mortalidad natural (M).

### Resultados

La estimación de M con el método de Alverson & Carney (1975) se realizó utilizando la Ecuación (12) ya que la razón  $\bar{\omega}$  presentó el más bajo coeficiente de variación, tanto en especies de la Familia Clupeidae como Engraulidae (Tabla 1). El valor promedio de la razón indica que la talla crítica es una fracción constante de la longitud asintótica, y que ésta es del orden del 74% en la Familia Clupeidae y de 65% en la Familia Engraulidae (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros de la historia de vida de especies de la Familia Clupeidae y Engraulidae, obtenidos de Pauly (1980) para estimar el valor de  $t^*$  a partir de  $T_{max}$  ó  $L_{\infty}$  para utilizarlo en el método de Alverson & Carney (1975).

N°	Familia/Especie	$L_{\infty}$ (cm)	K (año <sup>-1</sup> )	M (año <sup>-1</sup> )	$T_{max}$ (año)	$t^*$ (año)	$L^*$ (cm)	$\theta$ ( $t^*/T_{max}$ x)	$\omega$ $L^*/L_{\infty}$
<b>a) Clupeidae</b>									
1	<i>Brevoortia tyrannus</i>	20.6	0.741	1.00	4.04	1.58	14.21	0.39	0.69
2	<i>Brevoortia tyrannus</i>	37.7	0.242	0.50	12.38	3.71	22.32	0.30	0.59
3	<i>Clupea harengus</i>	30.0	0.380	0.25	7.88	4.51	24.60	0.57	0.82
4	<i>Clupea harengus</i>	36.0	0.210	0.16	14.27	7.60	28.71	0.53	0.80
5	<i>Clupea harengus</i>	19.4	0.400	0.35	7.49	3.72	15.02	0.50	0.77
6	<i>Clupea harengus</i>	27.7	0.480	0.36	6.24	3.35	22.16	0.54	0.80
7	<i>Clupea harengus</i>	29.5	0.390	0.20	7.68	4.93	25.19	0.64	0.85
8	<i>Clupea pallasii</i>	38.5	0.190	0.20	15.77	7.10	28.50	0.45	0.74
9	<i>Clupea pallasii</i>	27.0	0.480	0.50	6.24	2.82	20.04	0.45	0.74
10	<i>Sardinella longiceps</i>	21.0	0.600	1.12	4.99	1.60	12.95	0.32	0.62
11	<i>Sardinella longiceps</i>	20.7	0.528	0.67	5.67	2.30	14.55	0.40	0.70
12	<i>Sardinops caerulea</i>	29.3	0.450	0.40	6.66	3.28	22.60	0.49	0.77
13	<i>Sardinops caerulea</i>	30.0	0.350	0.45	8.56	3.44	21.00	0.40	0.70
14	<i>Sardinops melanosticta</i>	27.0	0.900	0.50	3.33	2.06	22.78	0.62	0.84
15	<i>Sprattus sprattus</i>	14.9	1.020	0.53	2.94	1.88	12.70	0.64	0.85
16	<i>Sprattus sprattus</i>	14.4	0.298	0.70	10.05	2.76	8.08	0.27	0.56
							Prom	0.47	0.74
							$\sigma_x$	0.029	0.023
							CV (%)	24.94	12.40
<b>b) Engraulidae</b>									
1	<i>Stolothrissa tanganicae</i>	8.9	2.660	5.20	1.13	0.35	5.39	0.31	0.61
2	<i>Centengraulis mysticetus</i>	18.0	1.990	2.40	1.51	0.63	12.84	0.42	0.71
3	<i>Engraulis anchoita</i>	23.2	0.270	1.42	11.10	1.67	8.43	0.15	0.36
4	<i>Engraulis anchoita</i>	17.3	0.713	0.90	4.20	1.71	12.18	0.41	0.70
5	<i>Engraulis encrasicolus</i>	14.9	1.130	1.80	2.65	0.94	9.73	0.35	0.65
6	<i>Engraulis japonicus</i>	17.7	1.800	1.63	1.66	0.81	13.60	0.49	0.77
7	<i>Engraulis mordax</i>	16.4	0.450	1.70	6.66	1.30	7.26	0.20	0.44
8	<i>Engraulis ringens</i>	17.0	1.400	1.00	2.14	1.18	13.73	0.55	0.81
9	<i>Engraulis ringens</i>	15.0	1.700	1.52	1.76	0.87	11.56	0.49	0.77
							Prom	0.37	0.65
							$\sigma_x$	0.045	0.051
							CV (%)	36.29	23.64

La distribución de 3000 valores alternativos e igualmente probables de M obtenidos con cada uno de los modelos empíricos se distribuyen log-normal en el caso de los modelos de Pauly, Alverson & Carney, Taylor, y Hoening, tanto para sardina común como anchoveta (Figura 1 y 2). El único modelo que generó una distribución aproximadamente normal fue el de Rickhter y Efanov (Figura 1).

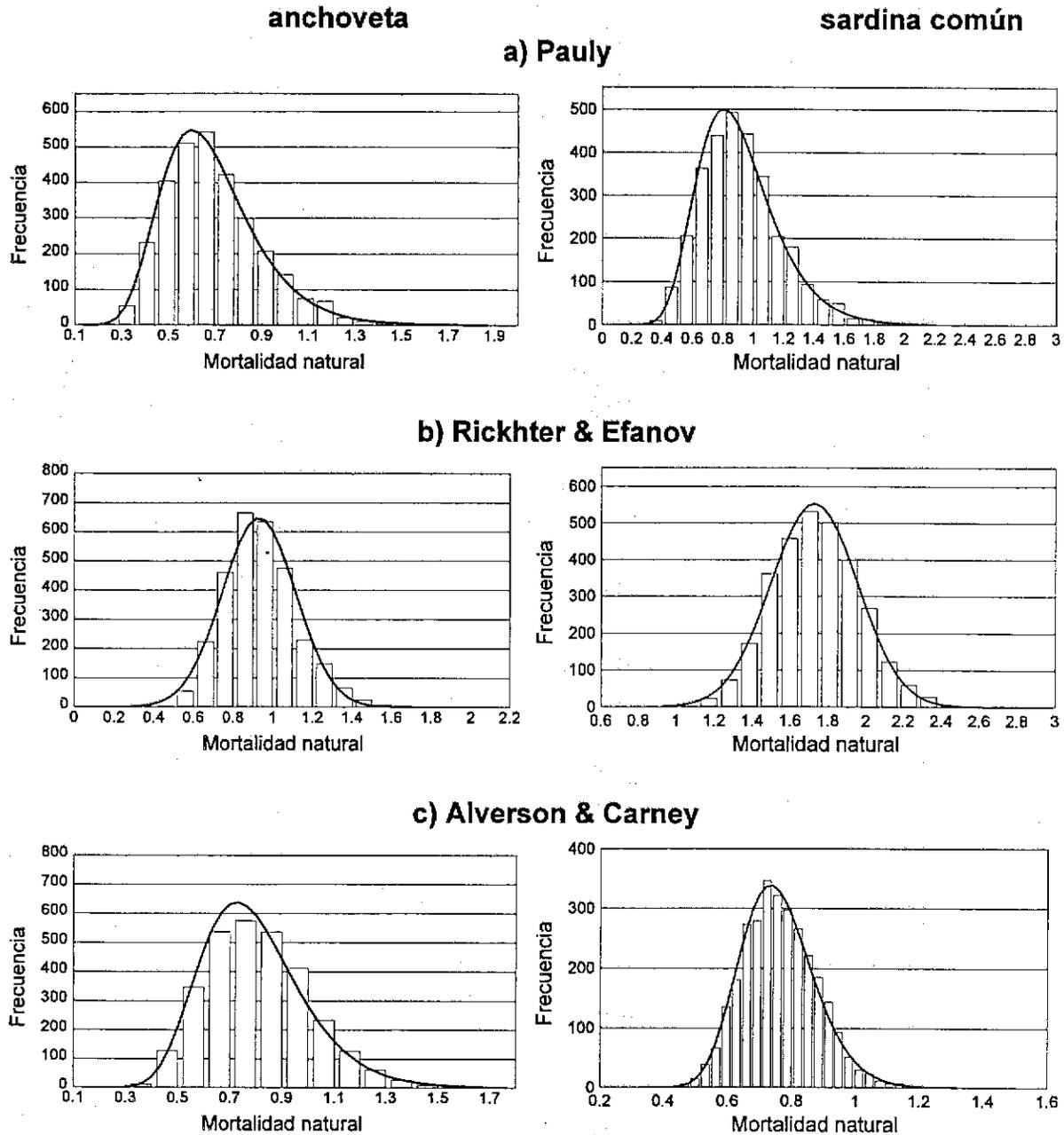
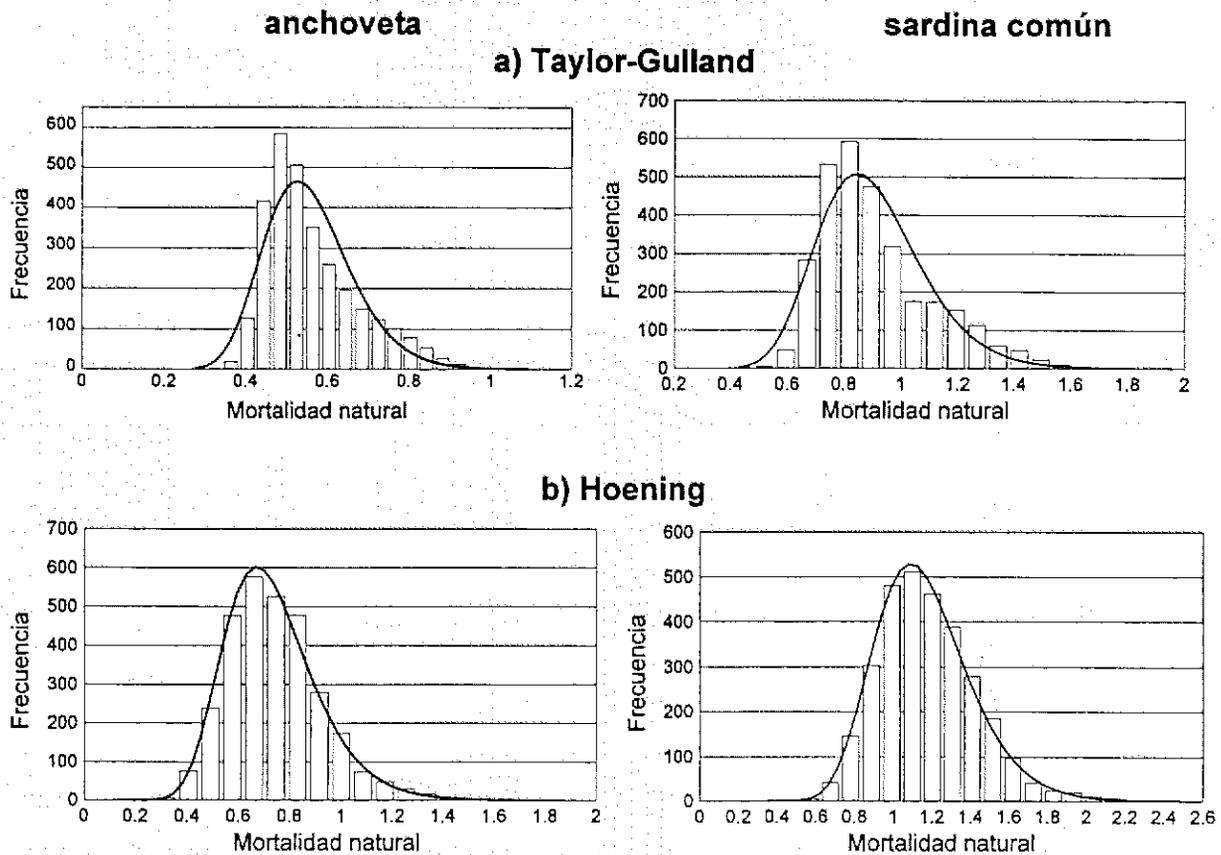


Figura 1. Distribución de los 3000 valores alternativos e igualmente probables de la tasa de mortalidad natural obtenidos para anchoveta y sardina común con los modelos empíricos que se indican.



**Figura 2.** Distribución de los 3000 valores alternativos e igualmente probables de la tasa de mortalidad natural obtenidos para anchoveta y sardina común con los modelos empíricos que se indican.

Debido a las características de la distribución log-normal, el promedio aritmético de los datos podría estar sesgado positivamente. En este contexto, la obtención de la mediana y límites de confianza utilizando un método percentil es más adecuado que utilizar un método paramétrico. Sin embargo, la desviación del promedio respecto de la mediana no es tan importante en algunos casos (Tabla 2).

Los límites de confianza de 95% aparecen siendo muy similares a los límites de 90%, y considerando que éste último implica una mayor precisión, fue preferido para definir los límites de las estimaciones de mortalidad natural con cada método. Al comparar los límites de confianza de 90% entre ambas especies y entre métodos de estimación, se aprecia que no existen

diferencias significativas en la tasa de mortalidad natural de sardina común y anchoveta y tampoco entre métodos de estimación, aunque el método de Rickhter & Efanov tiende a sobreestimar la mortalidad natural en sardina común respecto del resto de los métodos de estimación (Figura 1).

**Tabla 2.** Principales estadísticos de los 3000 valores de mortalidad natural obtenidos de cada modelo empírico de estimación para la anchoveta y sardina común de la zona centro-sur de Chile.

Método	M	$\sigma(M)$	CV(%)	M <sub>50%</sub>	95% de confianza		90% de confianza	
					Linf	Lsup	Linf	Lsup
<b>a) Anchoveta</b>								
Pauly (1980)	0.684	0.205	30.02	0.655	0.369	1.171	0.401	1.069
Rickther & Efanov (1976)	0.930	0.185	19.89	0.914	0.608	1.343	0.659	1.261
Alverson & Carney (1975)	0.797	0.197	24.74	0.785	0.464	1.236	0.504	1.153
Taylor-Gulland	0.557	0.113	20.32	0.528	0.405	0.832	0.421	0.793
Hoening (1983)	0.734	0.181	24.69	0.716	0.436	1.165	0.477	1.053
<b>b) sardina común</b>								
Pauly (1980)	0.909	0.258	28.45	0.880	0.481	1.518	0.537	1.390
Rickther & Efanov (1976)	1.727	0.229	13.23	1.721	1.301	2.198	1.362	2.116
Alverson & Carney (1975)	0.759	0.115	15.19	0.751	0.554	0.998	0.585	0.954
Taylor-Gulland	0.903	0.195	22.62	0.855	0.632	1.290	0.662	1.384
Hoening (1983)	1.166	0.250	21.40	1.141	0.754	1.715	0.801	1.596

El coeficiente de variación de la estimación de M fluctúa entre 15,2% y 30%, siendo las estimaciones realizadas bastantes precisas (Tabla 2, Figura 1).

Con el objeto de lograr un valor de compromiso para la tasa de mortalidad natural de cada recurso, con criterios de precisión, se ha obtenido un promedio ponderando por el inverso de la varianza tanto de la media como de los límites de confianza inferior y superior. Esto conduce a estimaciones de  $M=0,96 \text{ año}^{-1}$  [0,714; 1,284] para la sardina común y  $M=0,69 \text{ año}^{-1}$  [0,476;0,992] para la anchoveta.

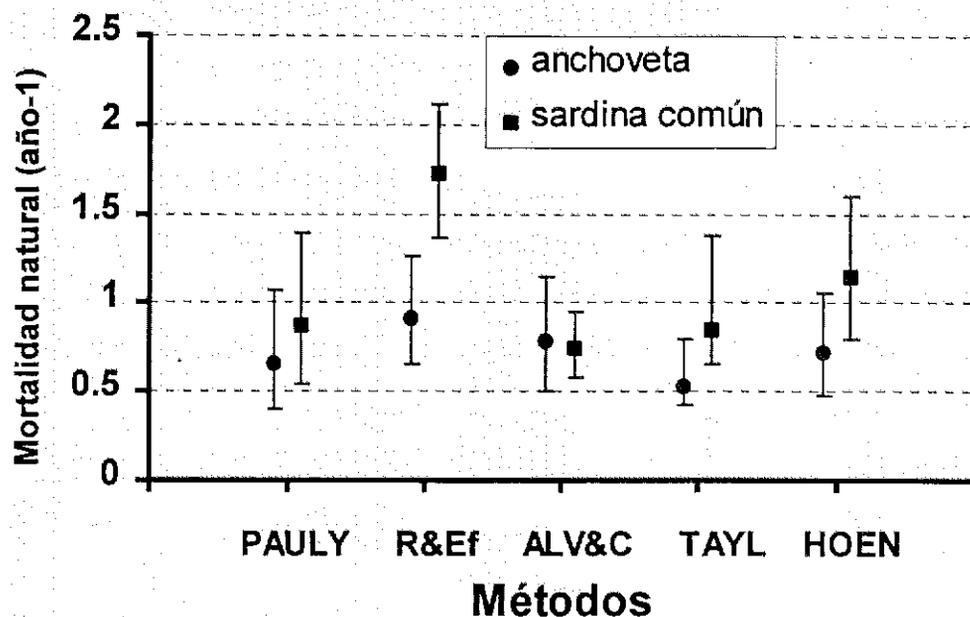


Figura 1. Comparación entre especie y métodos de la tasa de mortalidad natural.

### Discusión

Pascual y Iribarne (1993) evalúan el poder predictivo de los más comunes modelos empíricos utilizados para estimar  $M$  y encuentran que los errores de predicción de las estimaciones de la mortalidad natural es sustancial. Los autores proponen que al momento de construir un modelo empírico, el poder predictivo del mismo sea evaluado con métodos adecuados y no bajo el criterio de solamente el coeficiente de determinación que sólo refleja un énfasis en la descripción de las relaciones encontradas.

Vetter (1988) indica que los métodos que utilizan parámetros de la historia de vida, presentan dos ventajas: (a) requieren una mínima cantidad de datos, y (b) son útiles en demostrar tendencias entre especies y en el desarrollo de la teoría ecológica. No obstante, debido a que solamente generan una simple y ha menudo muy imprecisa estimación de  $M$  para cualquier grupo dado de peces, no son eficientes desde el punto de vista de la precisión de  $M$  o para determinar la variabilidad de  $M$  para algunos stocks. Las extrapolaciones, además, no serán mejor que los

métodos utilizados para estimar los valores de  $M$  utilizados en las regresiones. Las verdaderas tasas de mortalidad y su variabilidad, son todavía muy pobremente conocidas.

La aproximación utilizada en este estudio para indagar en el grado de precisión de las estimaciones de  $M$  con métodos empíricos ha sido explorada por Cubillos *et al.* (en revisión) para la merluza común (*Merluccius gayi*). Sin embargo, aunque la varianza y los límites de confianza de la estimación de  $M$  podría haber sido obtenida con un método analítico, la generación de valores alternativos e igualmente probables en base a una función conocida de la distribución del error de no sólo los parámetros que alimentan el modelo sino también del error de las constantes de los modelos, parece en principio ser más eficiente. No obstante, este es un aspecto que debe ser investigado con mayor detención en futuros estudios (ver Pascual y Iribarne, 1993).

El enfoque utilizado en este estudio, y por Cubillos *et al.* (en revisión), para estimar  $M$  con el método de Alverson y Carney (1975) asume que la razón entre la edad de máxima biomasa a la máxima edad ( $t_{max}$ ), o la razón del tamaño crítico al tamaño asintótico, es constante. Beverton (1963), encuentra una correspondencia entre la longevidad, crecimiento y maduración por la amplia constancia de las razones  $1/KT_{max}$  y  $L_m/L_\infty$ . La otra invariante surge entre el coeficiente de crecimiento  $K$  y la mortalidad natural, siendo  $M$  aproximadamente igual  $1,5K$ . Estas invariantes han sido recientemente revisadas por Jensen (1996), quien postula que esas tres invariantes de Beverton y Holt no son una relación estadística sino más bien relaciones ecológicas entre los parámetros que definen la historia de vida y que permiten maximizar la reproducción. En este contexto, es importante revisar si el momento en que ocurre la máxima biomasa de una cohorte sin explotar es una proporción fija de la esperanza de vida total de la cohorte, y analizar si dicho momento está relacionado con la edad de primera madurez sexual.

Ninguno de los métodos produjo estimaciones diferentes de  $M$ , aunque con el método de Rickhter & Efanov (1976) hubo una tendencia a valores más altos en el caso de la sardina común. Usualmente la mortalidad natural se estima con uno o varios modelos empírico, pero nunca se evalúa si dichas estimaciones son o no estadísticamente diferentes. Por otra parte, una buena estimación de la mortalidad natural debe tener siempre mínima varianza, i.e. una banda de confianza estrecha. En efecto, solamente las estimaciones precisas de  $M$  pueden otorgar mayor

confiabilidad para estimar la tasa de mortalidad por pesca ( $F$ ), por ejemplo cuando la tasa de mortalidad total ( $Z$ ) obtenida desde curvas de captura se le sustrae  $M$  para calcular  $F$  (Gulland y Rosenberg, 1992). Cuando el límite de confianza superior de  $M$  es amplio, podría encerrar la estimación de  $Z$  y por lo tanto la estimación de  $F$  estaría sujeta a una gran incertidumbre.

Considerando los supuestos involucrados en cada estimación de  $M$  con los modelos empíricos aquí analizados, los siguientes aspectos se deben tomar en cuenta:

- (a) Si la edad de primera madurez sexual es igual en machos y hembras, pero se sospecha que  $M$  es diferente, entonces el método de Rickhter y Efanov no se puede utilizar para determinar  $M$  para machos y hembras, ya que invariablemente se tendrá igual estimación.
- (b) El método de Pauly (1980) puede generar estimaciones razonables, pero la estimación de  $M$  puede ser muy poco precisa y, dada la distribución log-normal de este modelo, el límite de confianza superior puede ser muy amplio, lo que otorga una enorme desventaja para la estimación de la mortalidad por pesca.
- (c) El método de Taylor supone que cuando una especie alcanza el 95% de la longitud asintótica, se puede tener una idea de la longevidad, lo que es válido sólo en determinadas circunstancias. En efecto, puede ocurrir que una especie alcance muy temprano la longitud asintótica sin que necesariamente ello signifique que la especie haya alcanzado la longevidad (Beverton, 1963).
- (d) El método de Alverson and Carney, supone que el momento de máxima biomasa de una cohorte ocurre a una fracción constante de  $L_{\infty}$ ; lo que no implica que el momento sea igual para especies filogenéticamente cercanas
- (e) El método de Hoening (1983) requiere conocer la longevidad de la especie, razón por la cual los aspectos ya indicados para el modelo de Taylor también se aplican. Lo ideal es analizar la edad de muestras de individuos viejos, pero en presencia de un pesquería podría ocurrir una subestimación de la longevidad del recurso.

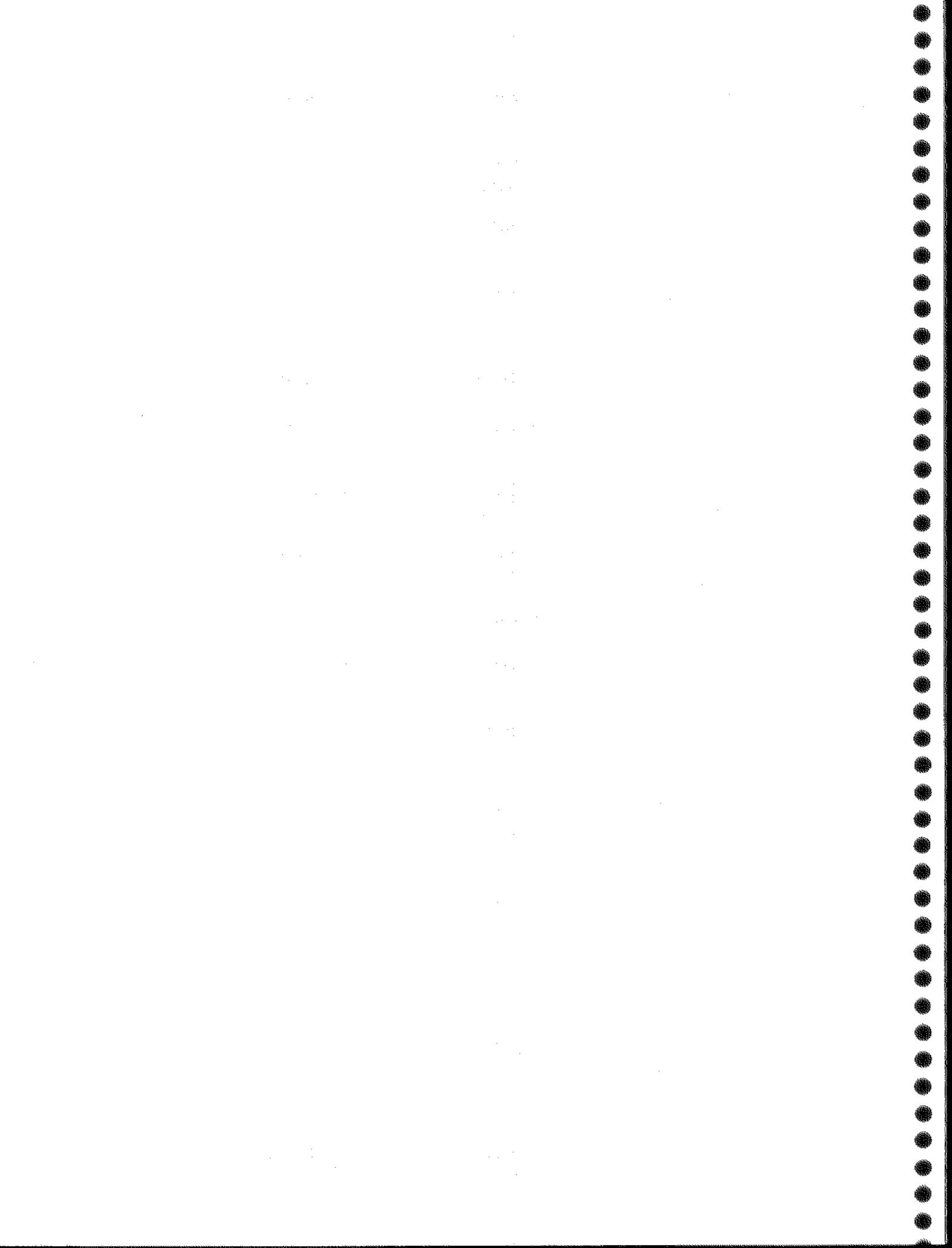
El uso de un promedio ponderado por el inverso de la varianza para obtener una estimación de  $M$  con criterios de precisión puede ser cuestionable desde el punto de vista de considerar los valores de  $M$  basados en modelos diferentes como muestras independientes. En efecto, los métodos en sí

son independientes uno de otros, pero los parámetros que alimentan los modelos se basan ya sea en los parámetros de crecimiento o en relaciones que necesariamente implican algún grado de correlación estadística entre ellos, de tal manera que los resultados obtenidos en este estudio, aunque pueden ser consecuentes con los parámetros de la historia de vida de la sardina común y la anchoveta, siempre estarán sujetos a una gran incertidumbre.

### Referencias

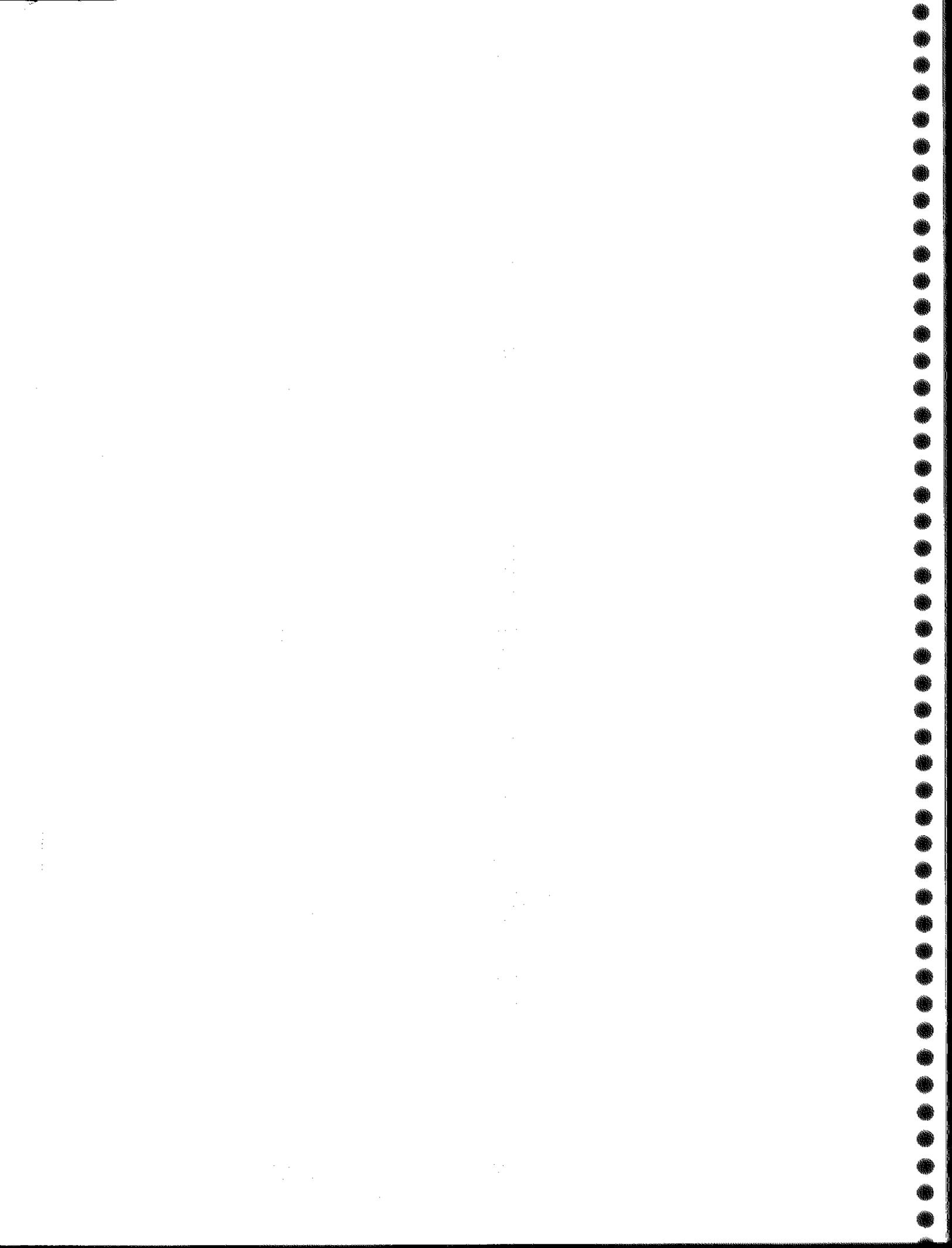
- Alverson, D.L. & M.J. Carney. 1975. A graphic review of the growth and decay of population cohorts. *J.Con.int.Explor.Mer*, 36:133-143.
- Beverton, R.J.H. 1963. Maturation, growth and mortality of clupeid and engraulid stocks in relation to fishing. *Rapp. P.-V. Reun. Cons. Int. Explor. Mer*, 154:44-67.
- Beverton, R.J.H. and S.J. Holt. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. *Fish. Invest. Minist. Agric. Fish. Food (G.B.) (2 Sea Fish.)* 19:533 p.
- Csirke, J. 1980. Introducción a la dinámica de poblaciones de peces. *FAO, Doc. Téc. Pesca (192):82p.*
- Cubillos, L., R. Alarcón, A. Brante & A. Sepúlveda. Empirical estimates of natural mortality for the Chilean hake (*Merluccius gayi*): evaluation of the precision. *Fishery Bulletin U.S.*, (submitted).
- Efron, B. 1982. The jackknife, the bootstrap and other resampling plans. *SIAM Monograph N° 38.*
- Efron, B. 1985. Bootstrap confidence intervals for a class of parametric problems. *Biometrika*, 72(1):45-48.
- Gulland, J.A. 1983. Fish stock assessment. A manual of basic methods. Volume 1. Food and Agriculture Organization. Wiley and Sons (eds), 223 p.
- Gulland, J.A. & A.A. Rosenberg. 1992. A review of length-based approaches to assessing fish stocks. *FAO Fish. Tech. Pap.*, (323):102 p.
- Gunderson, D.R. and P.H. Dygert. 1988. Reproductive effort as a predictor of natural mortality rate. *J. Cons. int. Explor. Mer*. 44:200-209.
- Hilborn, R. & C.J. Walters. 1992. Quantitative fisheries stock assessment, choice, dynamics and uncertainty. Chapman & Hall, NY, 570 p.

- Hoening, J.M. 1983. Empirical use of longevity data to estimate mortality rates. *Fishey Bulletin* 82(1):898-902.
- Jensen, A.L. 1996. Beverton and Holt life history invariants result from optimal trade-off of reproduction and survival. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53:820-822.
- Paloheimo, J.E. 1980. Estimation of mortality rates in fish populations. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 109:378-386.
- Pascual, M.A. & O.O. Iribarne. 1993. How good are empirical predictions of natural mortality? *Fisheries Research*, 16:17-24.
- Pauly, D. 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *J.Cons.int.Explor.Mer* 39(2):175-192.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Board. Can.* 191, 382 p.
- Rickhter, V.A. & V.N. Efanov. 1976. On one of the approaches to estimation of natural mortality of fish populations. *ICNAF Res.Doc.*, 76/VI/8:12 p.
- Robson, D.S. and D.G. Chapman. 1961. Catch curve and mortality rates from capture-recapture series. *Spec. Publ. ICNAF* 4: 330-335.
- Taylor, C.C. 1958. Cod growth and temperature. *J. Cons. int. Explor. Mer*, 23:366-370.
- Taylor, C.C. 1960. Temperature, growth and mortality, the Pacific cockle. *J. Cons. int. Explor. Mer*, 26:117-124.
- Vetter, E.F. 1988. Estimation of natural mortality in fish stocks: a review. *Fish. Bull. U.S.*, 86:25-43.



## CAPITULO 2:

*Revisión de evaluaciones de stock pretéritas y desarrollo de un método de evaluación indirecta.*



2.1. *Evaluaciones previas de  
sardina común y  
anchoveta*

# Revisión de los métodos y evaluaciones pretéritas del stock de sardina común y anchoveta de la zona centro-sur de Chile

**Luis Cubillos, M. Canales, D. Bucarey**

## Resumen ejecutivo

Se revisa los principales métodos utilizados para evaluar indirectamente a los stocks de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur, reconociéndose los siguientes: a) Análisis de Población Virtual con pseudocohortes mensuales; (b) Análisis Secuencial de la Población (ASP) sintonizado, y (c) ASP calibrado bajo el esquema ADAPT. El primero tiene la ventaja de incorporar en la evaluación los procesos estacionales biológicos (i.e. crecimiento) como aquellos asociados al régimen operacional de la flota (i.e. capturas, esfuerzo). Sin embargo, la mayor desventaja de este método se encuentra en la débil etapa analítica y predictiva asociada a un problema de tratamiento y manipulación de los datos básicos. Los métodos (b) y (c) son edad-estructurados y se han sido aplicado considerando una base anual, escala de tiempo que no favorece a la interpretación adecuada de la dinámica del stock. Por otra parte, la propiedad de convergencia se ve seriamente comprometida ya que el número de grupos de edad en las capturas de sardina común es de sólo 4 (grupos de edad 0 al 3). Además, el comportamiento estacional de la pesquería es un componente que puede generar grandes errores en las cantidades estimadas ya que el supuesto de distribución uniforme de las capturas dentro del ciclo anual no se cumple, ni tampoco el supuesto de distribución uniforme de la mortalidad por pesca sobre el grupo de edad cero. La dinámica se ve seriamente mal interpretada con evaluaciones anuales ya que el grupo de edad cero recluta a fines de año (noviembre) mientras que la estimación anual con el ASP supone la abundancia estimada a comienzos de año, es decir la abundancia del grupo de edad 0, al primero de enero, debería ser importante durante el resto del año, pero en realidad es el grupo de edad 1 el que sustenta la pesquería a lo largo del año.

## Introducción

Varios han sido los métodos de evaluación indirecta que se han aplicado con el objeto de determinar la situación de la sardina común y anchoveta. Estos métodos, en mayor o menor grado, han intentado internalizar las características de la pesquería o bien mejorar las estimaciones con procedimientos metodológicos recientemente desarrollados. El objetivo de este trabajo es documentar los métodos de evaluación indirecta que se han aplicado, señalando las ventajas y desventajas de cada uno, así como los resultados encontrados al efecto.

## Métodos de evaluación y sus resultados

Los métodos que se reconocen, y han sido aplicados, son:

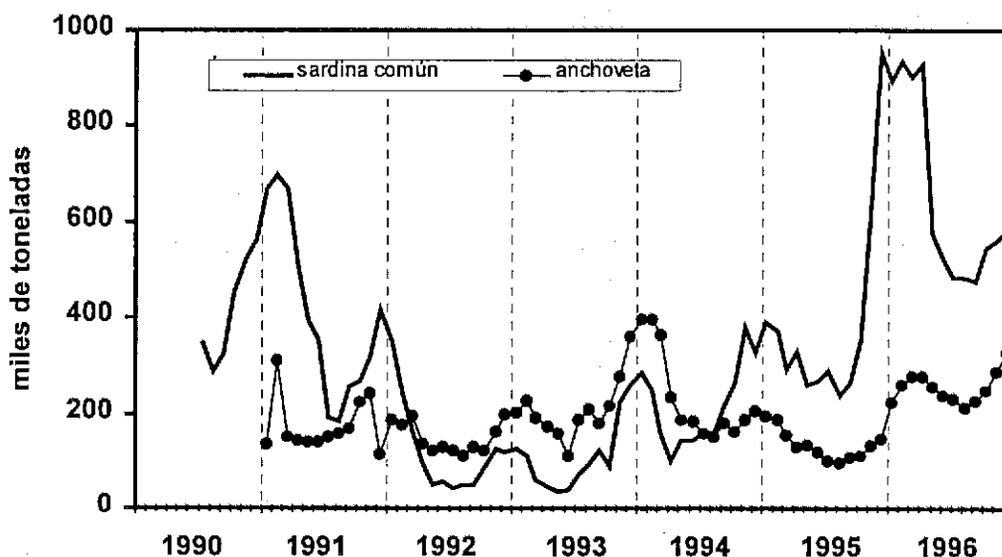
- a) Análisis de pseudocohortes con el VPA III (Cubillos & Arancibia, 1993a,b; Cubillos *et al.*, 1994),
- b) Análisis Secuencial de la Población con procedimiento de sintonización Laurec-Shepherd (Cubillos *et al.*, 1996),
- c) Análisis Secuencial de la Población con procedimientos de calibración ADAPT (Cubillos *et al.*, 1996).

### • Análisis de pseudocohortes

En los proyectos FIP 93-20 "Evaluación indirecta del stock de sardina común en la VIII Región" (Cubillos *et al.*, 1994) y FIP 95-11 "Condiciones oceanográficas que inciden en el reclutamiento de sardina común y anchoveta" (Núñez *et al.*, 1997), se cuantifica el reclutamiento mensual de anchoveta y sardina común mediante la técnica Análisis de Población Virtual (VPA) que combina datos de captura por clases de longitud mensuales con una curva de crecimiento del tipo von Bertalanffy con oscilaciones estacionales en la tasa de crecimiento (Cubillos & Arancibia, 1993c). Este método se conoce como VPA III en el paquete computacional ELEFAN de Gayanilo *et al.* (1988) y FiSAT de Gayanilo *et al.* (1995) y es un método estructurado por longitudes, pero al

incorporar una curva de crecimiento al comienzo y término de cada mes es posible generar "pseudocohortes" cuyo crecimiento a través del tiempo permite "rebanar" los datos de captura por longitud. Así, el tiempo (edad en meses) de cada cohorte viene dado por la curva de crecimiento y la captura perteneciente a cada pseudocohorte, en un mes dado, es simplemente la fracción contenida entre dos curvas de crecimiento adyacentes (Pauly & Tsukayama, 1983; Pauly *et al.*, 1987; Pauly & Palomares, 1989; Cubillos, 1991; Cubillos & Arancibia, 1993a,b; Mendoza *et al.*, 1994).

Los resultados más recientes se pueden encontrar en el Informe Final de Proyecto FIP 95-11, para sardina común y anchoveta, los cuales se reproducen aquí, pero actualizados a diciembre de 1996 (Figura 1). Se observa que la biomasa de sardina común exhibe cambios importantes en el período 1990-1996, observándose un marcado comportamiento estacional que se traduce en aumentos notables de biomasa en el período estival y decrementos en el período invernal.

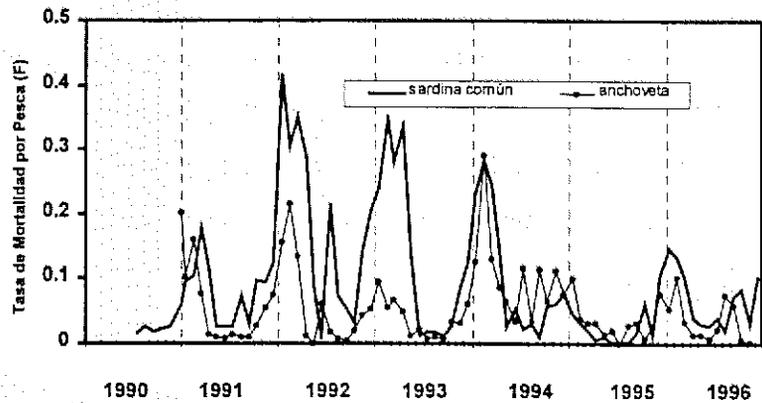


**Figura 1.** Cambios mensuales e interanuales de la biomasa de sardina común y anchoveta, obtenidas con el VPA III del programa FiSAT. Período julio de 1990-diciembre de 1996.

Los máximos estacionales de la biomasa de sardina común presentaron una tendencia decreciente en el período 1991-1993, desde un nivel cercano a las 710 mil ton a comienzos de 1991 hasta

cerca de 180 mil toneladas a comienzos de 1993. Luego, la biomasa de sardina exhibe una tendencia creciente alcanzando los mayor niveles a comienzos de 1996 con cerca de 900 mil toneladas. En el caso de la anchoveta, la biomasa de este recurso se ha mantenido relativamente estable en el período 1991-1996, con aumentos importantes y esporádicos a comienzos de 1994 y durante 1996 (Figura 1).

La tasa de mortalidad por pesca se estimó por mes, observándose que los mayores niveles ocurrieron en la época estival de los años 1991-92, 1992-93 y comienzos de 1994 (Figura 2).



**Figura 2.** Cambios mensuales e interanuales en la tasa de mortalidad por pesca aplicada sobre el stock de sardina común y anchoveta, período julio de 1990-diciembre de 1996.

En la tasa de mortalidad por pesca también se aprecia un comportamiento estacional, lo que es concordante con la aplicación del

esfuerzo de pesca. Sin embargo, a diferencia del esfuerzo de pesca estándar, que se mantiene prácticamente sin cambios, la tasa de mortalidad por pesca que mide el impacto del esfuerzo en los stocks sí ha exhibido cambios importantes, observándose que en la actualidad son niveles bastante bajos.

Se destaca que cuando se aplica un esfuerzo de pesca constante, la intensidad de pesca absorbida por el stock depende de la magnitud de la biomasa presente. En este contexto, los altos niveles de mortalidad por pesca en 1992, 1993 y 1994 ocurrieron porque la biomasa de sardina se encontraba en niveles bajos (Figura 1). Lo contrario ha ocurrido durante 1996. En efecto, la biomasa de sardina común se incrementó fuertemente a comienzos de 1996 debido a que el reclutamiento fue extraordinariamente alto.

No obstante lo anterior, las desventajas del método radica en los siguientes aspectos: (a) el crecimiento de los peces es descrito por los mismos parámetros de crecimiento; (b) la tasa de

mortalidad natural de los individuos se supone constante entre meses y tamaño de los peces; (c) subjetividad en la elección de la mortalidad por pesca terminal, necesaria para inicializar las estimaciones de abundancia y mortalidad por pesca; (d) el programa computacional permite ingresar hasta 48 meses de frecuencia de tallas, lo que impide estimar simultáneamente todos los datos disponible. Los últimos dos aspectos son importantes y pueden tener notable incidencia en la evaluación.

Las principales ventajas del método son: (a) no se requiere conocer la composición por edades de la especie a evaluar; (b) permite tener estimaciones mensuales de la población, en número de ejemplares y biomasa, y asimismo de la mortalidad por pesca promedio ejercida por mes; (c) es altamente apropiado para recursos de corto ciclo de vida y rápido crecimiento como la sardina común y la anchoveta.

El método se encuentra disponible en una subrutina del programa computacional ELEFAN III (Gayanilo *et al.*, 1988) y FiSAT (Gayanilo *et al.*, 1995). De acuerdo con este programa, los datos de entrada al modelo de evaluación son: (i) datos mensuales de frecuencia de tallas en las capturas, (ii) capturas mensuales y los parámetros de la relación longitud-peso por mes, para expandir la frecuencia de tallas mensuales a las capturas totales; (iii) los parámetros de crecimiento en longitud; (iv) la tasa de mortalidad natural, y (v) una estimación de la mortalidad por pesca terminal.

- **Análisis Secuencial de la Población sintonizado, procedimiento Laurec-Shepherd**

En el proyecto FIP N° 94-11 (Cubillos *et al.*, 1996), se propuso evaluar el stock de sardina común a través de métodos edad estructurados. Las edades se leyeron en los otolitos y se reconoció la presencia de individuos en las capturas desde el grupo de edad 0 hasta el grupo de edad III. Se aplicó la metodología de claves talla edad-iteradas (Hoening & Heisey, 1987) para estimar la composición por edades de los año en los que no se contaba con claves talla-edad.

El análisis secuencial de la población (Gulland, 1965; Megrey, 1989) puede ser sintonizado con el procedimiento Laurec-Shepherd (Butterworth *et al.*, 1990), el cual supone que la tasa de mortalidad

por pesca (F) es proporcional al esfuerzo de pesca estándar (E), y que esta relación permite una adecuada estimación de F bajo el siguiente modelo

$$1) \dots \quad F_{a,t} = q S_a E_t \exp(\varepsilon_{a,t})$$

donde  $E_t$  es el esfuerzo de pesca en el año "t", q es el coeficiente de capturabilidad,  $S_a$  es la selectividad-vulnerabilidad edad-específica, y

$$2) \dots \quad \varepsilon_{a,t} \in N[0; \sigma_a^2]$$

donde  $N[0; \sigma_a^2]$  es una distribución normal con media cero y varianza  $\sigma^2$ .

La ecuación (1) es apropiada debido a que evita valores negativos para los valores de la mortalidad por pesca. Estimación de máxima verosimilitud de la Ecuación (1) genera el procedimiento de sintonización de Laurec-Shepherd para los grupos de edad "a" = [1,2,...,m-1] del año más reciente (t=n) a través de

$$3) \dots \quad \hat{F}_{a,n} = \bar{q}_a E_n$$

donde:

$$4) \dots \quad \bar{q}_a = \bar{q} S_a = \left[ \prod_{t=1}^{n-1} \frac{F_{a,t}}{E_t} \right]^{1/(n-1)}$$

y

$$5) \dots \quad \hat{\sigma}_a^2 = \frac{1}{n-2} \sum_{t=1}^{n-1} \left[ \text{Ln} \left( \frac{F_{a,t}}{E_t} \right) - \text{Ln}(\bar{q}_a) \right]^2$$

En la aplicación de las ecuaciones (3) a (4) no es necesario considerar desde  $t = 1$  hasta  $n-1$ , ya que dependiendo de la disponibilidad de datos aquellos años para los cuales no se cuenta con datos de esfuerzo se podrían excluir del promedio. No obstante, datos para el año más reciente ( $t=n$ ) siempre deberán estar disponibles, de lo contrario el procedimiento no es adecuado.

Las ecuaciones previas se aplican para remover la arbitrariedad sólo de las mortalidades por pesca en el año más reciente ( $n$ ) y no para la edad más vieja en cada año, donde la asignación de valores para la mortalidad por pesca aún permanece en forma arbitraria. Para llevar al mínimo esa subjetividad, se puede establecer el supuesto que la vulnerabilidad-selectividad en la edad más vieja es igual a la de un grupo de  $p$  edades próximas a la edad más vieja. Se tiene así  $p+1$  edades donde la selectividad-vulnerabilidad es constante, *i.e.*

6)... 
$$S_{m-p} = S_{m-p+1} = \dots = S_{m-1} = S_m$$

Este supuesto resulta de gran utilidad, ya que para los años  $t=1,2,\dots,n$  la mortalidad por pesca en la edad más vieja puede estimarse por

7)... 
$$\hat{F}_{m,t} = \left[ \prod_{a=m-p}^{m-1} F_{a,t} \right]^{1/p}$$

Con la ecuación (7) se completa el algoritmo de estimación, que es completamente objetivo en cuanto a las relaciones involucradas. La aplicación de este algoritmo se realiza en un esquema iterativo aprovechando la propiedad autocorrectiva de convergencia del ASP. Los pasos involucrados son los siguientes:

- (a) Inicialmente, asignar valores razonables para la tasa de mortalidad  $F_{a,n}$  ( $a=1,2,\dots,m-1$ ) y  $F_{m,t}$  ( $t=1,2,\dots,n$ )
- (b) Resolver el ASP completamente para obtener los demás valores de  $F_{a,t}$  ( $a=1,2,\dots,n-1$  y  $t=1,2,\dots,m-1$ )

- (c) Calcular nuevos valores para  $F_{a,n}$  ( $a=1,2,\dots,m-1$ ) y  $F_{m,t}$  ( $t=1,2,\dots,n$ ) con las Ecuaciones (3) y (7)
- (d) Retornar al paso (b) con los nuevos valores calculados en el paso anterior
- (e) Continuar iterativamente con los pasos (b)-(d), hasta que la diferencia (D), entre los valores de  $F_{a,n}$  y de  $F_{m,t}$  en la iteración actual ( $=i$ ) con la iteración previa ( $=i-1$ ), sea menor o igual que un valor de precisión pre-establecido, *i.e.*

$$8)... \quad |\hat{F}_{a,n}^i - \hat{F}_{a,n}^{i-1}| \leq D$$

Las ventajas del método son varias, pero su aplicación a un recurso como la sardina sufre de varios inconvenientes; a saber:

- (i) el reducido número de edades impide que la propiedad de convergencia del método sea óptima;
- (ii) el patrón de explotación es altamente cambiante debido a la influencia de clases anuales fuertes y débiles que alteran el comportamiento de las mortalidades a la edad,
- (iii) la estacionalidad de la pesquería puede generar sesgos en el proceso de estimación, debido a que el método supone que las capturas y la mortalidad por pesca se distribuye uniformemente dentro del año.
- (iv) La mortalidad por pesca esperada por grupos de edad en el año más reciente considera el promedio de la capturabilidad-selectividad (extrapolación).

• **Análisis Secuencial de la Población sintonizado con ADAPT**

En el proyecto FIP N° 94-11, Cubillos *et al.*, (1996) evalúan el stock de sardina común a través del Análisis Secuencial de la Población introduciendo un algoritmo formal para sintonizar las mortalidades por pesca; esto es, la filosofía de estimación con ADAPT (Gavaris, 1988, 1994).

El esquema de estimación ADAPT utiliza una técnica estadística común de minimización de desviaciones cuadráticas, donde se considera la discrepancia entre las observaciones de las variables y los valores de esas variables predichas como una función de la matriz de abundancia, *i.e.*

9)...

$$SCR = \min \sum_{i=1}^k \sum_{t=1}^n \phi_i [U_{i,t} - \hat{U}_{i,t}]^2$$

donde U es un índice de abundancia, que en términos de unidades de biomasa se puede expresar por

10)...

$$\hat{U}_{i,t} = q_i \sum_{a=1}^m w_{a,t} N_{a,t} [1 - \exp(-(F_{a,t} + M_{a,t}))] / (F_{a,t} + M_{a,t})$$

Aquí, para el índice i se está suponiendo que la biomasa promedio en el año t es proporcional a U a través de un simple parámetro q. Otras formulaciones son posibles, dependiendo de la definición de los índices utilizados (Restrepo *et al.*, 1992; Powers & Restrepo, 1993; Gavaris, 1994).

Para minimizar la función objetivo (Ecuación 9), se utiliza el algoritmo de Marquardt, a través de la cual el número de parámetros directamente estimados varía dependiendo del número de limitaciones impuestas (constrains). Los parámetros directamente estimados son los q<sub>i</sub> para cada uno de los índices que se consideren. También se puede considerar estimar directamente la abundancia sobreviviente de todas las edades en el año más reciente (n), mientras que el resto de la matriz se construye utilizando las ecuaciones básicas del Análisis Secuencial de la Población.

Las ventajas de aplicar ADAPT es que se introducen técnicas estadísticas formales al proceso de sintonización para estimar los parámetros desconocidos del modelo mientras se minimiza una suma de cuadrados residual entre los resultados del modelo y los índices de abundancia. No obstante, dado que la información de entrada al método fueron capturas anuales en número por grupos de edad, las limitaciones del método anterior aún persisten.

Resultados de la aplicación de los métodos edad-estructurado, LaRec-Shepherd y ADAPT, se presentan en la Figura 3, observándose las fluctuaciones de la biomasa y de la tasa de mortalidad

por pesca promedio de la fracción 1-3. En general ambos métodos de evaluación fueron concordantes, tanto en magnitud de la abundancia, biomasa y mortalidad por pesca, particularmente en los primeros años del período de estudio.

Las estimaciones anuales de la abundancia en recursos de corto ciclo de vida puede conducir a interpretaciones equivocadas de la dinámica del stock. En efecto, el reclutamiento de sardina común ocurre en noviembre de cada año como grupo de edad 0, mientras que la fracción 1+ es la que recibe la mayor intensidad de pesca a lo largo del año. En este contexto, la biomasa total 0+ es un artificio y no daría cuenta de los cambios interanuales de la biomasa del stock ya que la mortalidad sufrida por el grupo de edad cero sólo ocurre durante un corto período de tiempo, así como las capturas. En este contexto, el supuesto de distribución uniforme de la mortalidad por pesca a lo largo del año no se cumple para el modelo de evaluación indirecta.

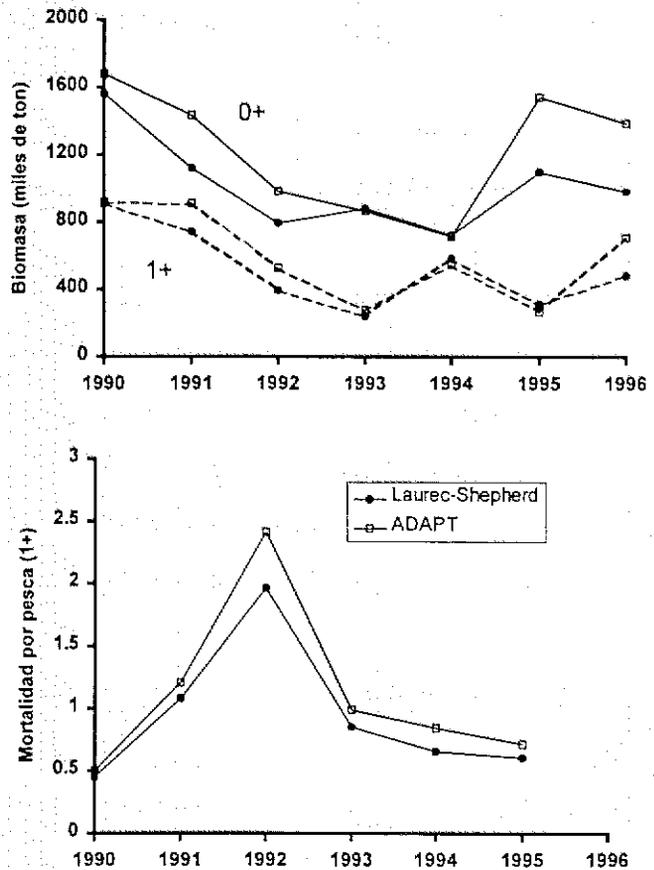


Figura 3. Cambios anuales en la biomasa y la tasa de mortalidad por pesca de sardina común, según dos métodos edad-estructurados.

### Discusión

La evaluación indirecta de sardina común y anchoveta se ha realizado con métodos de población virtual. Estos métodos constituyen modelos estándar de análisis de pesquerías y no necesariamente consideran el comportamiento y las características de la pesquería de sardina común. El APV III utilizado por Pauly *et al.* (1987) y Pauly & Palomares (1989) para la pesquería de anchoveta del norte-centro de Perú; por Cubillos (1991) para la anchoveta de la zona norte de

Chile; por Cubillos & Arancibia (1993a,b) para el stock de sardina común y anchoveta de la zona centro-sur de Chile es un método que sí internaliza las características del crecimiento y la estacionalidad de la pesquería, pero cae inevitablemente en la categoría de método descriptivo. La etapa predictiva y analítica del método no está bien implementada en el paquete FiSAT, lo que impide considerar el desarrollo de otros aspectos relativos a la evaluación de stock.

La desventaja del método anterior es la ventaja de los métodos edad-estructurados, pero en el caso de la sardina común el número de grupos de edad es demasiado reducido lo que de alguna manera tiene incidencia en la propiedad de convergencia de estos modelos (solución hacia atrás). Podría ocurrir que el efecto del escaso número de clases de edad no sea una causa importante, pero sí el comportamiento fuertemente estacional de la pesquería, donde el supuesto de distribución uniforme de la mortalidad por pesca no se cumple. Este solo hecho podría generar errores graves en la percepción de la situación del stock (ver Sims, 1982), particularmente por que las capturas son mayores a comienzos del año, por que las capturas del grupo de edad 0 ocurren mayoritariamente en los últimos dos meses del año y porque la tasa de mortalidad natural y de explotación son altas.

Por otra parte, la dinámica del recurso se ve seriamente mal interpretada con evaluaciones anuales ya que el grupo de edad cero recluta a fines de año mientras que la estimación anual con estos métodos suponen que la abundancia estimada es a comienzos de año, es decir la abundancia del grupo de edad 0 al primero de enero debería ser importante durante el resto del año, pero en realidad es el grupo de edad 1 el que sustenta la pesquería. Sin duda, hay problemas con la evaluación indirecta considerando como datos de entrada captura anual por grupos de edad anuales.

La alternativa para evitar los problemas mencionados sería fraccionar los datos anuales en períodos de tiempo más cortos (trimestres) donde la distribución de la tasa de mortalidad por pesca sea efectivamente más uniforme. Este es un aspecto que no ha sido analizado y podría mejorar notablemente la interpretación de la evaluación indirecta. Sin embargo, el inconveniente asociado a la reducida cantidad de grupos de edad podría continuar siendo un ruido analítico, sobre todo cuando algunos grupos de edad hayan estado más disponibles en algunos años que en otros, aspecto que se podría minimizar aplicando un Análisis de Captura a la edad, tomando en cuenta la hipótesis de separabilidad de la mortalidad por pesca (ver Deriso *et al.*, 1985).

## Referencias

- Butterworth, D.S., G. Hughes & F. Strumpfer. VPA with ad hoc tuning: implementation for disaggregated fleet data, variance estimation, and application to the Namibian stock of Cape horse mackerel, *Trachurus trachurus capensis*. S. Afr. J. mar. Sci. 9:327-357.
- Cubillos, L. 1991. Estimación mensual de la biomasa, reclutamiento, y mortalidad por pesca de la anchoveta (*Engraulis ringens*) de la zona norte de Chile en el período 1986-1989. *Biología Pesquera* 20:49-59.
- Cubillos, L. & H. Arancibia. 1993a. Análisis de la pesquería de sardina común y anchoveta del área de Talcahuano, situación actual y perspectivas. Documentos Técnicos del Instituto de Investigación Pesquera (IIP), Talcahuano, Chile 2(2):1-19.
- Cubillos, L. & H. Arancibia. 1993b. Análisis de la pesquería de sardina común (*Strangomera bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) del área de Talcahuano, Chile. *Investigaciones Marinas* 21:3-21.
- Cubillos, L. & H. Arancibia. 1993c. On the seasonal growth of common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) off Talcahuano, Chile. *Revista de Biología Marina* 28(1):43-49.
- Cubillos, L.; H. Arancibia, S. Núñez, R. Alarcón, G. Valenzuela, L. Vilugrón, y D. Arcos. 1994. Evaluación indirecta del stock de sardina común en la VIII Región. Informe Final, Fondo de Investigación Pesquera/Instituto de Investigación Pesquera. Documentos Técnicos del Instituto de Investigación Pesquera (IIP), Talcahuano, Chile 2(2), 19 p.
- Cubillos, L., R. Gili, R. Alarcón, L. Vilugrón, A. Hernández, L. Miranda & H. Arancibia. 1996. Informe final proyecto FIP N° 94-11: "Evaluación de la pesquería y del stock de sardina común en la zona centro-sur".
- Gavaris, S. 1988. An adaptative framework for the estimation of population size. *Can. Atl. Fish. Sci. Adv. Comm. Res. Doc.* 88/29: 12 p.
- Gavaris, S. 1994. ADAPT (ADAP'Tive framework) user guide. Version 1.1., 36 p. (documento dactilografiado).
- Gayanilo, F.C.Jr., M. Soriano & D. Pauly. 1988. A draft guide to the Compleat ELEFAN. *ICLARM Software* 2, 65 p.
- Gayanilo, F.C.Jr.; P. Sparre & D. Pauly. 1995. The FAO-ICLARM Stock Assessment Tools (FiSAT) user guide. *FAO Computerized Information Series (Fisheries)*, N° 7, 186 p. (FAO, Roma).
- Gulland, J.A. 1965. Estimation of mortality rates. Annex to the report of the Arctic Fisheries Working Group. *Cons. Int. Explor. Mer C.M.* 1965/3: 9 p.

- Mendoza, J.J.; P. Freón, R. Guzmán. 1994. VPA estimates of fishing mortality and exploited biomass from *Sardinella aurita* catch-at-length data in Eastern Venezuela, In Fishbyte Section of NAGA, The ICLARM Quarterly 17(4):32-36.
- Hilborn, R. & C.J. Walters. 1992. Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty. Chapman and Hall, NY, 570 p.
- McCall, A.D. 1986. Virtual population analysis (VPA) equations for nonhomogeneous populations, and a family of approximations including improvements on Pope's cohort analysis. Can.J. Fish. Aquat. Sci. 43:2406-2409.
- Megrey, B.A. 1989. Review and comparison of age structured stock assessment model from theoretical and applied points of view. Amer. Fish. Soc. Symposium. 6:8-48.
- Pauly, D. 1987. Managing the Peruvian upwelling ecosystem: a synthesis, In: The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of changes. D. Pauly & I. Tsukayama (Eds.). ICLARM Studies and Reviews 15:325-342.
- Pauly, D. & I. Tsukayama. 1983. On the seasonal growth, monthly recruitment and monthly biomass of Peruvian anchoveta (*Engraulis ringens* J.) from 1961 to 1979. FAO Fish. Rep. 291(3):987-1004.
- Pauly, D.; M.L. Palomares & F.C. Gayanilo. 1987. VPA estimates of monthly population length composition, recruitment, mortality, biomass and related statistics of anchoveta, 1953-1981. In: The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of changes. D. Pauly & I. Tsukayama (Eds.). ICLARM Studies and Reviews 15:142-166.
- Pauly, D. & M.L. Palomares. 1989. New estimates of monthly biomass, recruitment and related statistics of anchoveta (*Engraulis ringens*) off Peru (4 -14 S), 1953-1985. In: The Peruvian upwelling system: dynamics and interactions. D. Pauly, P. Munck, J. Mendo & I. Tsukayama (Eds.) ICLARM Conference Proceedings, 18:189-206.
- Pope, J.G. 1972. An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. ICNAF Res. Bull., (9): 65-74.
- Powers, J.E. y V.R. Restrepo. 1993. Evaluation of stock assessment research for Gulf of Mexico king mackerel: benefits and costs of management. North American Journal of Fisheries Management, 13:15-26.
- Restrepo, V.R.; J.M. Hoenig, J.E. Powers, J.W. Baird, S.C. Turner. 1992. A simple simulation approach to risk and cost analysis, with applications to swordfish and cod fisheries. Fish. Bull., U.S., 90:736-748.
- Sims, S.E. 1982. The effect of unevenly distributed catches on stock-size estimates using Virtual Population Analysis (Cohort Analysis). J. Cons. Int. Explor. Mer, 40(1):47-52.

*2.2. Desarrollo y validación de  
un método de evaluación  
indirecta.*

# Un método de evaluación indirecta para sardina común y anchoveta de la zona centro-sur de Chile: Planteamiento y validación

Luis Cubillos

## Resumen ejecutivo

Se desarrolla un procedimiento metodológico para evaluar los stocks de sardina común y anchoveta en una escala de tiempo mensual utilizando conceptos y modelos estándar para el análisis y evaluación de pesquerías. La aproximación internaliza los procesos estacionales y las características propias de la pesquería, *i.e.* crecimiento estacional de los individuos, época de reclutamiento, corto ciclo de vida y la estacionalidad del régimen operacional. El método estima simultáneamente la abundancia sobreviviente de todas las clases anuales presentes en el período 1990-1997, reconstruye la abundancia, biomasa y mortalidad por pesca por mes, controlando el proceso de estimación con datos de esfuerzo y captura por unidad de esfuerzo. La eficiencia del método se evalúa utilizando una población simulada tipo sardina común, considerando dos procedimientos de estimación: "estimación controlada" por los datos de esfuerzo y "estimación controlada" por la captura por unidad de esfuerzo. Los resultados indican que el método es capaz de reconstruir la biomasa, la abundancia, y la tasa de mortalidad por pesca. La validación favorece el uso de una función objetivo que considera el esfuerzo de pesca para controlar la estimación de los parámetros desconocidos que permiten reconstruir la abundancia de las clases anuales.

### Introducción

Al considerar las limitaciones y desventajas de los métodos de evaluación estándar que se han aplicado para evaluar indirectamente los stocks de sardina común y anchoveta, los cuales no necesariamente consideran el comportamiento y las características de la pesquería de sardina común y anchoveta, el objetivo de este trabajo es desarrollar un procedimiento metodológico alternativo para la evaluación utilizando modelos estándar, pero adaptados a las características de la pesquería y del stock. Este procedimiento metodológico parece no haber sido utilizado previamente para evaluar pesquerías que consisten en especies de corto ciclo de vida, con fuertes cambios estacionales que necesariamente deben ser tomados en cuenta.

De acuerdo con Cubillos & Arancibia (1993a,c), Cubillos *et al.*, (1994, 1996), las principales características biológicas del recurso sardina común y anchoveta son: (i) especies con ciclo de vida corto, de hasta un máximo de 36 meses de edad, (ii) rápido crecimiento corporal, con oscilaciones estacionales en la tasa de crecimiento, (iii) tasa de mortalidad natural alta, lo que da cuenta de la mortalidad por predación principalmente; (iv) reproductores parciales, con desoves a lo largo de todo el año pudiendo generar cohortes secundarias dentro de un ciclo anual. Las principales características de la pesquería son: (i) rendimientos fuertemente dependientes del pulso de reclutamiento de sardina común en noviembre de cada año, (ii) fuerte estacionalidad de las capturas y esfuerzo de pesca, con niveles máximos entre enero y marzo.

De acuerdo a estas características principales, se propone evaluar la abundancia de sardina común y anchoveta sobre bases mensuales utilizando en el proceso de estimación el esquema ADAPT (Parrack, 1986; Gavaris, 1988, Restrepo *et al.*, 1992; Gavaris, 1994) utilizando la captura por unidad de esfuerzo o el esfuerzo de pesca como variables auxiliares para controlar la estimación de los parámetros del modelo (mortalidad por pesca terminal o abundancia sobreviviente) a través de un algoritmo formal de minimización de suma de cuadrados. El desarrollo del método es original en dos aspectos:

- a) Es una formulación ADAPT especialmente diseñada para la evaluación de sardina común y anchoveta, sobre la base de todas las cohortes que han manifestado presencia en las capturas comprendidas entre julio de 1990 y julio de 1997.

- b) El método es edad estructurado y toma en cuenta la estacionalidad típica de esta pesquería, tanto de los aspectos biológicos (crecimiento, cambios estacionales en el peso promedio de los ejemplares) como pesqueros (distribución temporal del esfuerzo de pesca).

### Descripción del método de evaluación

El reclutamiento de sardina común ocurre en noviembre de cada año y se expresa en las capturas por la fuerte presencia de juveniles con una moda de 6,0 cm LT. En cambio, el reclutamiento de anchoveta es menos persistente en su expresión interanual, pero se detecta consistentemente un importante ingreso de juveniles usualmente en otoño-invierno (mayo-junio).

La formulación matemática se desarrolla en términos de modelos pesqueros tradicionales, independiente de las cohortes detectadas en el período comprendido entre julio de 1990 y julio de 1997, los cambios de la abundancia para las edades más jóvenes se calcula desde las edades más viejas (calcula hacia atrás) de cada una de las cohortes hasta la edad de reclutamiento. El modelo que se utilizará para reconstruir la abundancia de las cohortes, corresponde a la ecuación propuesta por MacCall (1986), *i.e.*

$$1)... \quad N_i = N_{i+1} \exp(M') + C_i M' / (1 - \exp(-M'))$$

donde el subíndice "i" representa la edad en meses de la cohorte, N es la abundancia en número, C es la captura y M' es la tasa de mortalidad natural mensual (=M/12)l. Este modelo de estimación es mejor que la aproximación de Pope (1972), en términos que amplía los límites de aplicación de la ecuación de este último autor, siendo la propiedad de convergencia muy similar a los resultados del método de Gulland (1965). Una vez reconstruida la abundancia de la cohorte, la tasa de mortalidad por pesca (F) se estima por

$$2)... \quad F_i = \ln(N_i / N_{i+1}) - (M')$$

La biomasa a la edad "i" de una cohorte, se estima por

3)...

$$B_i = w_i N_i$$

donde  $w_i$  es el peso promedio a la edad  $i$  y  $B$  es la biomasa.

La abundancia y biomasa total en el mes "t" corresponderá a la suma de las biomazas de todas las cohortes presentes ese mes. La biomasa promedio en el mes "t" es la suma de las biomazas promedio de todas las cohortes presentes en ese mes, generalmente 2 ó mas cohortes, según análisis preliminares. La biomasa promedio a la edad "i" de una cohorte, se estima según la siguiente ecuación

4)...

$$\bar{B}_i = B_i (1 - \exp(-(F_i + M'))) / (F_i + M')$$

Los datos básicos necesarios para cuantificar la abundancia y biomasa son capturas en número por edad, peso promedio y la tasa de mortalidad natural. Un ejemplo hipotético del ordenamiento de la matriz de captura en número de ejemplares se muestra en la Tabla 1, según 3 años de explotación (1990 a 1992) y en las cuales se detectan 5 clases anuales ó cohortes. En este ejemplo, basado en sardina común, las clases anuales se reclutan el mismo año a la edad de 4 meses en noviembre de cada año. Nótese que la captura total en un mes cualquiera puede estar sustentada por dos ó más cohortes distintas, p.e. en mayo de 1991 la captura total es de 625 ejemplares (25 ejemplares de edad 22 y 600 ejemplares de edad 10, de las clases anuales de 1989 y 1990, respectivamente).

Una matriz similar se construye para los pesos promedio (como dato de entrada), y asimismo las matrices de salida del modelo de evaluación serán similares y corresponderán a:

- (i) abundancia en número,
- (ii) biomasa total,
- (iii) biomasa promedio,
- (iv) mortalidad por pesca.

El ordenamiento de estas matrices será similar a la de la Tabla 1, la abundancia total, la biomasa total y biomasa promedio total corresponderá a la suma de las filas, mientras que la mortalidad por pesca mensual corresponde al promedio aritmético por filas.

**Tabla 1.** Ejemplo del ordenamiento de la matriz de captura de un recurso de corto ciclo de vida (en número). Se indica la edad de cada cohorte o clase anual (C.A.), y la edad máxima (m) en las capturas mensuales. El reclutamiento ocurre a los 4 meses en noviembre de cada año.

ANOS	MESES	C.A. 88	Edad (meses)	C.A. 89	Edad (meses)	C.A. 90	Edad (meses)	C.A. 91	Edad (meses)	C.A. 92	Edad (meses)
90	ENE	200	18	4500	6						
90	FEB	36	19	3000	7						
90	MAR	56	20	2000	8						
90	ABR		21	1000	9						
90	MAY	12	22	500	10						
90	JUN	15	23	250	11						
90	JUL	10	24	100	12						
90	AGO		25	100	13						
90	SEP	5	26	100	14						
90	OCT	4	27	50	15						
90	NOV	3	28	300	16	2560	4				
90	DIC	2	29	450	17	3658	5				
91	ENE	1	30	450	18	5645	6				
91	FEB			200	19	3658	7				
91	MAR			100	20	2856	8				
91	ABR			50	21	1200	9				
91	MAY			25	22	600	10				
91	JUN			25	23	500	11				
91	JUL			2	24	400	12				
91	AGO			2	25	350	13				
91	SEP				26	100	14				
91	OCT				27		15				
91	NOV				28	250	16	2300	4		
91	DIC			3	29	350	17	3500	5		
92	ENE			45	30	450	18	4000	6		
92	FEB			50	31	200	19	3500	7		
92	MAR			20	32	100	20	2700	8		
92	ABR			10	33	50	21	200	9		
92	MAY			2	34		22	500	10		
92	JUN			2	35	25	23	300	11		
92	JUL						24	200	12		
92	AGO					10	25		13		
92	SEP						26	50	14		
92	OCT						27		15		
92	NOV						28	150	16	1500	4
92	DIC					7	29	250	17	2850	5

Para reconstruir la abundancia de las cohortes se requiere de una estimación de la abundancia a la edad terminal (T). Esto se puede realizar de dos maneras: (i) estimando la mortalidad por pesca terminal y posterior estimación de la abundancia con la ecuación de captura, *i.e.*

$$N_T = C_T (F_T + M') / (F_T (1 - \exp(-(F_T + M'))))$$

o bien, (ii) estimando la abundancia sobreviviente a la edad terminal, directamente.

Cualquiera sea el procedimiento, la abundancia terminal sobreviviente o la mortalidad por pesca terminal de las cohortes son parámetros desconocidos a ser estimados por el método de estimación. Para ello se utiliza un algoritmo iterativo que resuelve simultáneamente todos los parámetros desconocidos minimizando la siguiente función objetivo, que es una suma de cuadrados residuales (SCR), y que permite controlar la estimación de los parámetros:

$$5)... \quad SCR = \min \sum_{t=1}^{T_{max}} \sum_{i=1}^{12} (\ln(CPUE_{i,t}) - \ln(q_i \bar{B}_{i,t}))^2$$

donde:

CPUE = Captura por unidad de esfuerzo estándar (toneladas por viajes con pesca estándar) en el mes i del año t (en este caso toda la serie de tiempo),

q<sub>i</sub> = Coeficiente de capturabilidad para el mes i,

$\bar{B}_{i,t}$  = Biomasa promedio en el mes i del año t.

También se puede considerar la siguiente función objetiva (estimación controlada por los datos de esfuerzo de pesca):

$$6)... \quad SCR = \min \sum_{t=1}^{T_{max}} \sum_{i=1}^{12} (\ln(E_{i,t}) - \ln(F_{i,t} / q))^2$$

donde:

- E = Esfuerzo estándar en el mes  $i$  del año  $t$  (en este caso toda la serie de tiempo),  
 $q_i$  = Coeficiente de capturabilidad para el mes  $i$ ,  
 $F_{i,t}$  = Tasa de mortalidad por pesca promedio para el mes  $i$  del año  $t$ .

El algoritmo descrito estima los parámetros condicionando dicha estimación a las fluctuaciones exhibida por la captura por unidad de esfuerzo o esfuerzo de pesca, o ambos. Se destaca que si existe otra información auxiliar que puede dar cuenta de la abundancia ó biomasa de sardina común y anchoveta en un mes de un año dado, por ejemplo biomasa estimada por métodos hidroacústicos (BACU), se puede agregar a la función objetivo de minimización de suma de cuadrados multiplicada por un ponderador (Hilborn & Walters, 1992), *i.e.*

$$7)... SCR = \min \sum_{t=1}^{T_{max}} \sum_{i=1}^{12} (\ln(CPUE_{i,t}) - \ln(q_i \bar{B}_{i,t}))^2 + \varpi \sum (\ln(BACU_{i,t}) - \ln(QB_{i,t}))^2$$

donde:  $\varpi$  es el ponderador ó peso estadístico para la información extra.

Si se asigna  $\varpi = 0$ , entonces la minimización sólo tomará en cuenta la CPUE. Sin embargo, si se asignan un valor muy grande a  $\varpi$ , entonces el procedimiento forzará el ajuste, en la medida de lo posible, a tomar en cuenta la información auxiliar.

Para minimizar la función objetivo se puede utilizar el siguiente algoritmo:

- (1) Inicialización, que consiste en asignar valores iniciales para los parámetros que serán estimados con el algoritmo de búsqueda. Por razones computacionales y robustez, a los parámetros de inicio se impondrá límites superiores e inferiores amplios al valor ingresado.

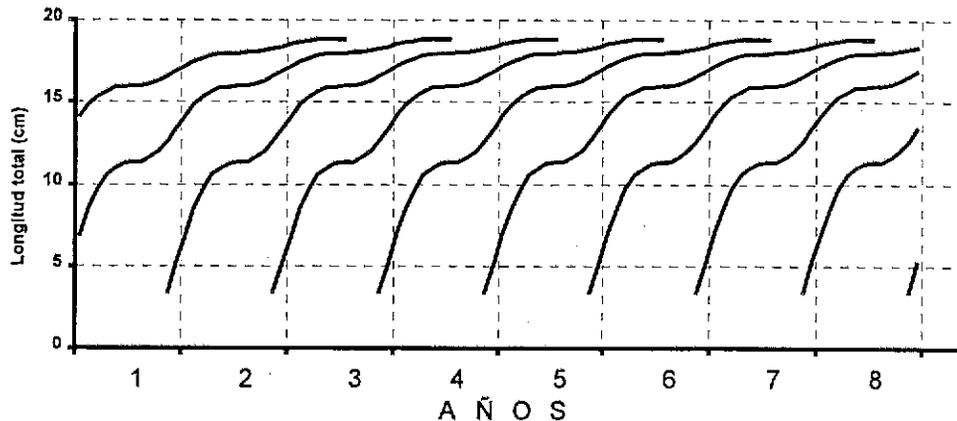
- (2) Estimación, que consiste en calcular la abundancia, biomasa y mortalidades por pesca de las edades más jóvenes de todas las cohortes utilizando la ecuación de MacCall (1986), la ecuación de biomasa, y de mortalidad por pesca.
- (3) Calcular la CPUE estimada para cada mes (o esfuerzo) y determinar la suma de cuadrados residual.
- (4) Obtener nuevos valores a través del algoritmo Newton, chequeando la existencia de mínimos locales, minimizando la función objetivo. La búsqueda con el algoritmo se detendrá si cualquiera de las siguientes condiciones son satisfechas:
  - Si se alcanza el límite máximo de iteraciones (100)
  - Si el cambio exhibido en la suma de cuadrados residuales (SCR) de la función objetivo es menor que 0,001% entre iteraciones.
  - Si los cambios en los parámetros que se estiman no es más allá de un 0,05% entre iteraciones.
- (5) Iterar los pasos (2)-(4) hasta que se cumpla una de las condiciones establecidas en el paso (4).

El algoritmo de ADAPT aquí expuesto se puede aplicar a los datos de sardina común y anchoveta, considerando la captura por unidad de esfuerzo en unidades de biomasa y considerando que los datos de captura por edad y años son conocidos.

#### **Aplicación y validación del método con una población simulada**

Con el objeto de analizar la ejecución del método propuesto y validar los resultados se simuló una población con características similares a la sardina común. En la población simulada se consideró 10 cohortes (clases anuales) de sardina, cada una de las cuales se reclutó a los 4 meses de edad en noviembre de cada año y alcanzó una longevidad de 4 años. Estas 10 cohortes cubren un período de 8 años.

El crecimiento en longitud de los individuos se consideró con el modelo de crecimiento estacional, según los siguientes parámetros:  $L_{\infty}=19,5$  cm ;  $K=0,85$  año<sup>-1</sup>;  $t_0=-0,1$  año;  $C=0,9$  y  $t_s=0,5$  (Figura 1). Otros parámetros fueron el coeficiente de capturabilidad (transformado a logaritmo) ( $\ln(q)=-9,845$ ,  $\sigma_q=0,8$ ) y el reclutamiento promedio (en millones, transformado a logaritmo) ( $\ln(R)=11,7$ ;  $\sigma_R=0,3$ ). El esfuerzo de pesca se consideró sin cambios interanuales según la señal anual observada en el período 1990-1996. La tasa de mortalidad por pesca de cada cohorte fue simulada variando aleatoriamente el coeficiente de capturabilidad, en tanto la tasa de mortalidad natural se consideró en  $0,9$  año<sup>-1</sup>. A partir de la abundancia reclutada, se estimó la sobrevivencia hasta alcanzar los cuatro años de edad, se obtuvo la biomasa por cohortes y total, la captura en número y peso, y la CPUE.



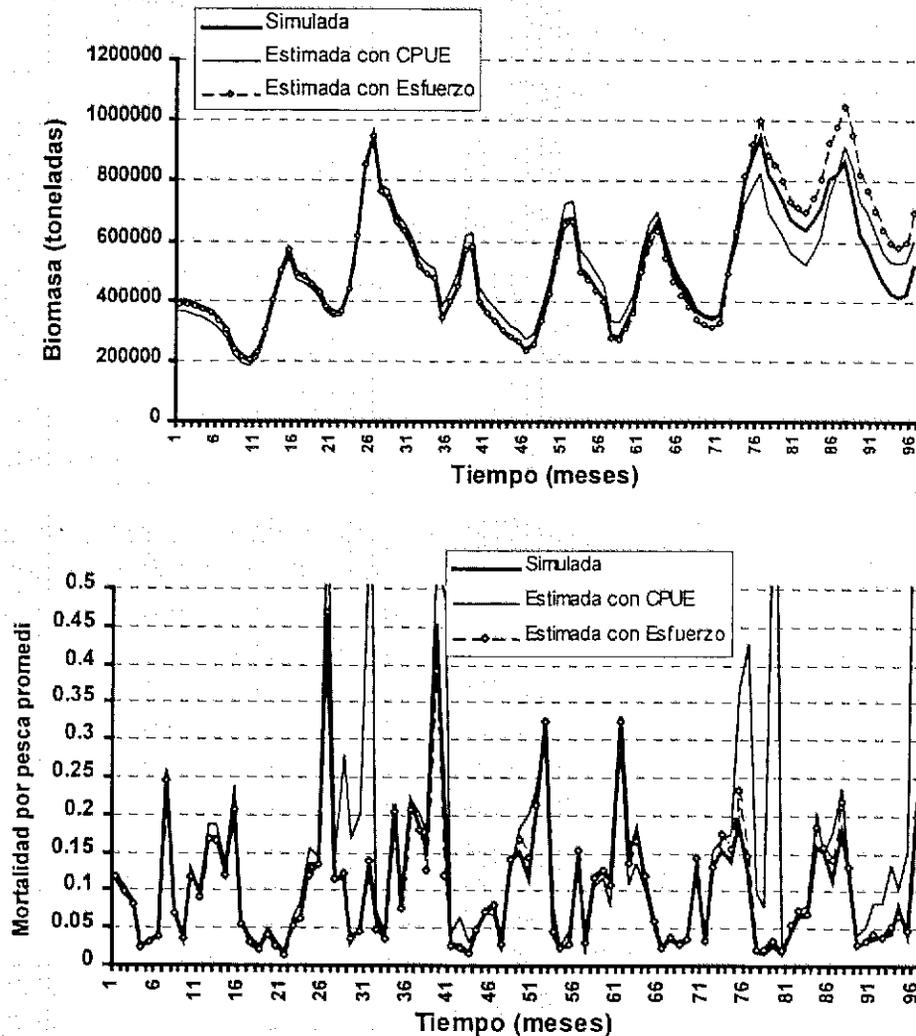
**Figura 1.** Curvas de crecimiento en longitud de las cohortes de la población simulada tipo sardina común, con reclutamiento en noviembre de cada año.

Con los datos simulados se aplicó el algoritmo de estimación propuesto, utilizando como función objetivo aquella que utiliza la CPUE y también la que considera el esfuerzo de pesca. Los resultados del procedimiento de estimación se comparan con los datos simulados, y para evaluar la eficiencia del método de estimación se utilizó los siguientes criterios: promedio, mediana, límites de confianza de 95% (con un método percentil), y la varianza del error porcentual, *i.e.*

$$EP=(\text{Valor Estimado}-\text{Valor Real}) * 100 / \text{Valor Real}.$$

donde EP es el error porcentual, que mide las desviaciones del valor estimado respecto del valor verdadero de la población simulada.

Los resultados indican que el método de estimación reproduce muy bien la biomasa de la población simulada (Figura 2, Tabla 2), particularmente tomando en cuenta que la CPUE y la tasa de mortalidad por pesca fueron bastante ruidosas.

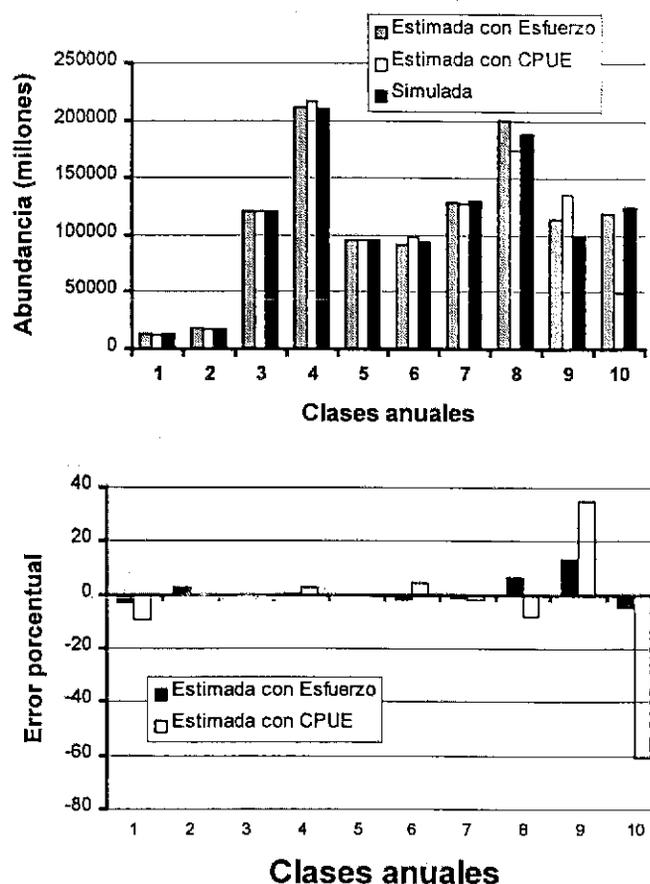


**Figura 2.** Comparación entre la biomasa y mortalidad por pesca de la población simulada con las estimadas utilizando el método y los procedimientos desarrollados.

El reclutamiento de la población simulada fue también muy bien estimado, pero las mayores desviaciones se presentaron en las cohortes más recientes, especialmente cuando el proceso de estimación fue controlado con la CPUE (Figura 3).

Desde el punto de vista de la función objetivo, el procedimiento que toma en cuenta los datos de esfuerzo de pesca fue el que mejor se ajustó a lo valores verdaderos de biomasa y de mortalidad por pesca de la población simulada (Tabla 2).

De acuerdo con estos resultados, se puede concluir que procedimiento metodológico y el algoritmo de estimación propuesto para evaluar recursos con corto ciclo de vida y cambios estacionales en la tasa de crecimiento, esfuerzo de pesca con pulsos estacionales, aparece siendo adecuado para estos recursos pelágicos pequeños.



**Figura 3.** Comparación entre la abundancia de reclutas de la población simulada con las estimadas con el método de evaluación y procedimientos descritos.

**Tabla 5.** Criterios de comparación del error porcentual para la biomasa y la tasa de mortalidad por pesca.

	Biomasa		Mortalidad por pesca	
	Estimación Con CPUE	Estimación con Esfuerzo	Estimación Con CPUE	Estimación con Esfuerzo
Prom	2.65	3.57	79.12	2.08
Mediana	4.96	0.03	14.00	0.67
Var	122.24	130.67	85374.75	136.95
CV	4.18	3.20	3.69	5.62
LI (0,025)	-16.13	-7.17	-26.08	-17.66
LS(0,975)	23.02	38.29	448.76	24.16

## Ventajas y limitaciones de la aproximación propuesta

- Las principales ventajas del método son:

- (i) Permite tener estimaciones mensuales de la población, en número de ejemplares y biomasa, y asimismo de la mortalidad por pesca promedio ejercida por mes.
- (ii) Está especialmente diseñado para recursos de corto ciclo de vida y rápido crecimiento como la sardina común y la anchoveta.
- (iii) Incorpora un algoritmo formal de estimación de parámetros, haciéndolo 100% objetivo.
- (iv) Las herramientas matemáticas y estadísticas incorporadas en el proceso de estimación son flexibles (ADAPTABLES) y se puede considerar toda la información relevante que pueda ser de utilidad para la evaluación.
- (v) Permite la estimación simultánea de todos los parámetros y dado que las edades están en meses, la propiedad de convergencia de las ecuaciones respecto de errores en la mortalidad por pesca de las edades más viejas debería generar estimaciones menos inciertas del reclutamiento.
- (vi) Toma en cuenta los procesos biológicos estacionales (crecimiento) y pesqueros.
- (vii) A partir de los resultados del modelo, utilizando un patrón de explotación temporal, se podría obtener proyecciones con errores de procesos (reclutamiento) y de estimación, para fijar cuotas de captura y para evaluar otras medidas de administración o regulación (p.e. duración y fijación de vedas).
- (viii) La mortalidad por pesca mensual se puede descomponer según categorías de flota utilizando capturas parciales por flota.

- (ix) Las estimaciones de la biomasa desovante puede ser mucho más precisas y la biomasa total se podría comparar con las estimaciones de biomasa realizada con método directos (p.e. cruceros hidroacústicos que se realizan en un determinado mes.
- Las principales limitaciones son:
  - (i) La tasa de mortalidad natural de los individuos se supone constante entre meses y tamaño de los peces.
  - (ii) El reclutamiento se considera como un pulso que ocurre en un determinado mes.
  - (iii) Las muestras de frecuencia de tallas deben internalizar adecuadamente el proceso de crecimiento de las cohortes y los componentes normales de edad deben ser fácilmente identificables desde la mezcla distribucional.

El punto (i) y (ii) son limitaciones propias del estado del arte de los modelos de evaluación de stock. La tercera limitante es superada ya que como ha sido demostrado brevemente en este proyecto, la mezcla distribucional puede ser descompuesta en sus componentes normales de edad lo que permite seguir el crecimiento de las cohortes con facilidad.

### Referencias

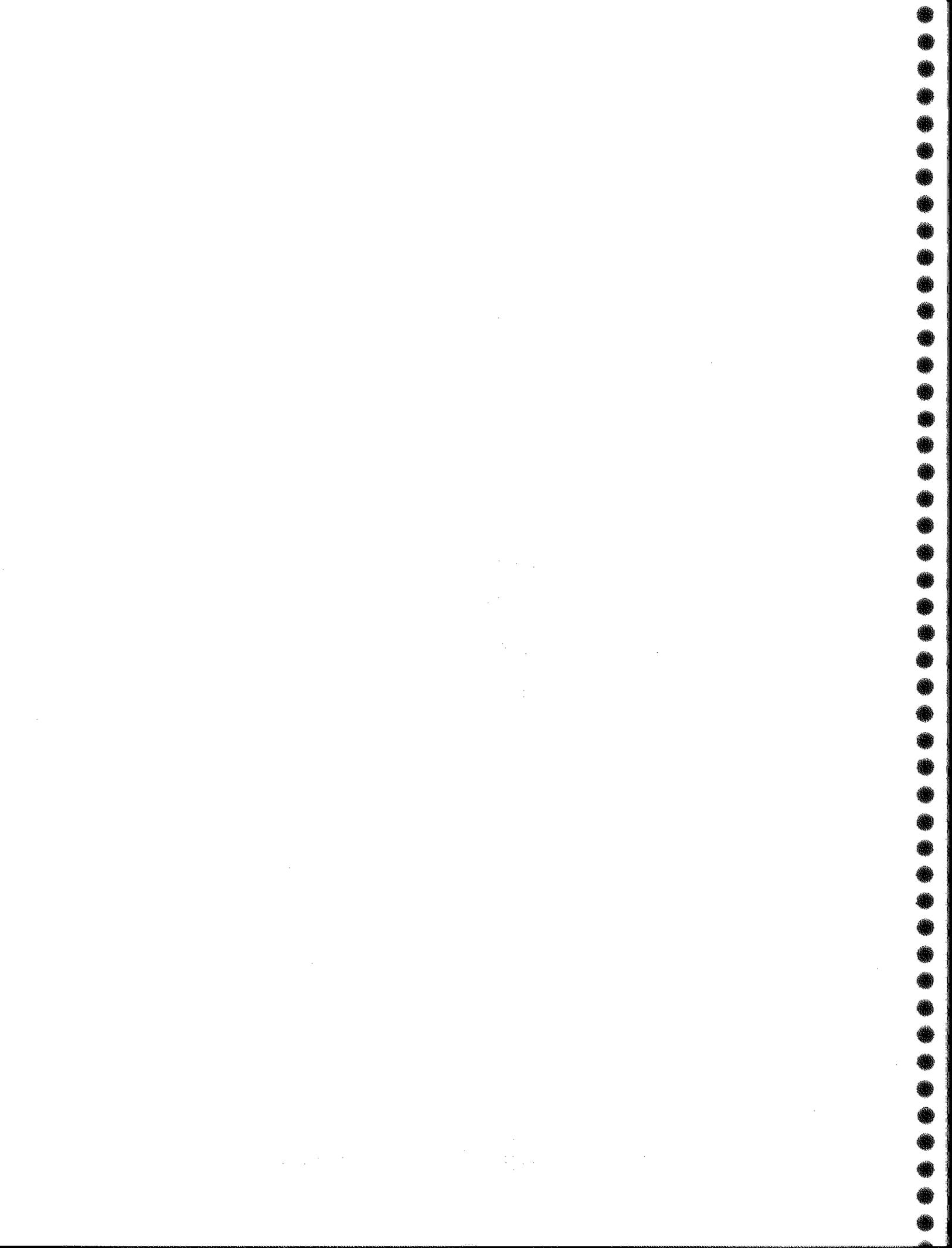
- Butterworth, D.S., G. Hughes & F. Strumpfer. VPA with ad hoc tuning: implementation for disaggregated fleet data, variance estimation, and application to the Namibian stock of Cape horse mackerel, *Trachurus trachurus capensis*. S. Afr. J. mar. Sci. 9:327-357.
- Cubillos, L. 1991. Estimación mensual de la biomasa, reclutamiento, y mortalidad por pesca de la anchoveta (*Engraulis ringens*) de la zona norte de Chile en el período 1986-1989. *Biología Pesquera* 20:49-59.
- Cubillos, L. & H. Arancibia. 1993a. Análisis de la pesquería de sardina común y anchoveta del área de Talcahuano, situación actual y perspectivas. Documentos Técnicos del Instituto de Investigación Pesquera (IIP), Talcahuano, Chile 2(2):1-19.

- Cubillos, L. & H. Arancibia. 1993b. Análisis de la pesquería de sardina común (*Strangomera bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) del área de Talcahuano, Chile. Investigaciones Marinas 21:3-21.
- Cubillos, L. & H. Arancibia. 1993c. On the seasonal growth of common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) off Talcahuano, Chile. Revista de Biología Marina 28(1):43-49.
- Cubillos, L.; H. Arancibia, S. Núñez, R. Alarcón, G. Valenzuela, L. Vilugrón, y D. Arcos. 1994. Evaluación indirecta del stock de sardina común en la VIII Región. Informe Final, Fondo de Investigación Pesquera/Instituto de Investigación Pesquera. Documentos Técnicos del Instituto de Investigación Pesquera (IIP), Talcahuano, Chile 2(2), 19 p.
- Cubillos, L., R. Gili, R. Alarcón, L. Vilugrón, A. Hernández, L. Miranda & H. Arancibia. 1996. Informe final proyecto FIP N° 94-11: "Evaluación de la pesquería y del stock de sardina común en la zona centro-sur".
- Gavaris, S. 1988. An adaptative framework for the estimation of population size. Can. Atl. Fish. Sci. Adv. Comm. Res. Doc. 88/29: 12 p.
- Gavaris, S. 1994. ADAPT (ADAP'Tive framework) user guide. Version 1.1., 36 p. (documento dactilografiado).
- Gayanilo, F.C.Jr., M. Soriano & D. Pauly. 1988. A draft guide to the Compleat ELEFAN. ICLARM Software 2, 65 p.
- Gayanilo, F.C.Jr.; P. Sparre & D. Pauly. 1995. The FAO-ICLARM Stock Assessment Tools (FiSAT) user guide. FAO Computerized Information Series (Fisheries), N° 7, 186 p. (FAO, Roma).
- Gulland, J.A. 1965. Estimation of mortality rates. Annex to the report of the Arctic Fisheries Working Group. Cons. Int. Explor. Mer C.M. 1965/3: 9 p.
- Mendoza, J.J.; P. Freón, R. Guzmán. 1994. VPA estimates of fishing mortality and exploited biomass from *Sardinella aurita* catch-at-length data in Eastern Venezuela, In Fishbyte Section of NAGA, The ICLARM Quarterly 17(4):32-36.
- Hilborn, R. & C.J. Walters. 1992. Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty. Chapman and Hall, NY, 570 p.
- McCall, A.D. 1986. Virtual population analysis (VPA) equations for nonhomogeneous populations, and a family of approximations including improvements on Pope's cohort analysis. Can.J. Fish. Aquat. Sci. 43:2406-2409.
- Megrey, B.A. 1989. Review and comparison of age structured stock assessment model from theoretical and applied points of view. Amer. Fish. Soc. Symposium. 6:8-48.

- Pauly, D. 1987. Managing the Peruvian upwelling ecosystem: a synthesis, In: The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of changes. D. Pauly & I. Tsukayama (Eds.). ICLARM Studies and Reviews 15:325-342.
- Pauly, D. & I. Tsukayama. 1983. On the seasonal growth, monthly recruitment and monthly biomass of Peruvian anchoveta (*Engraulis ringens* J. from 1961 to 1979. FAO Fish. Rep. 291(3):987-1004.
- Pauly, D.; M.L. Palomares & F.C. Gayanilo. 1987. VPA estimates of monthly population length composition, recruitment, mortality, biomass and related statistics of anchoveta, 1953-1981. In: The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of changes. D. Pauly & I. Tsukayama (Eds.). ICLARM Studies and Reviews 15:142-166.
- Pauly, D. & M.L. Palomares. 1989. New estimates of monthly biomass, recruitment and related statistics of anchoveta (*Engraulis ringens*) off Peru (4 -14 S), 1953-1985. In: The Peruvian upwelling system: dynamics and interactions. D. Pauly, P. Munck, J. Mendo & I. Tsukayama (Eds.) ICLARM Conference Proceedings, 18:189-206.
- Pope, J.G. 1972. An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. ICNAF Res. Bull., (9): 65-74.
- Powers, J.E. y V.R. Restrepo. 1993. Evaluation of stock assessment research for Gulf of Mexico king mackerel: benefits and costs of management. North American Journal of Fisheries Management, 13:15-26.
- Restrepo, V.R.; J.M. Hoenig, J.E. Powers, J.W. Baird, S.C. Turner. 1992. A simple simulation approach to risk and cost analysis, with applications to swordfish and cod fisheries. Fish. Bull., U.S., 90:736-748.

## CAPITULO 3:

*Evaluación indirecta y situación del stock de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur.*



### 3.1 *Evaluación indirecta.*

## **Evaluación indirecta del stock de sardina común y anchoveta de la zona centro-sur de Chile**

**Luis Cubillos, P. Sobarzo, D. Bucarey, M. Canales**

### **Resumen ejecutivo**

Se realiza una evaluación indirecta del stock de sardina común y anchoveta de la zona centro-sur reconstruyendo la abundancia mensual de las clases anuales presentes en el período comprendido entre julio de 1990 y julio de 1997. El modelo de evaluación supone que el reclutamiento ocurre a la forma de un pulso, cuya abundancia posteriormente disminuye por pesca y mortalidad natural. La estimación de la abundancia sobreviviente de cada una de las cohortes se controla minimizando una suma de diferencias al cuadrado entre datos observados y estimados del esfuerzo de pesca y de la captura por unidad de esfuerzo estándar. Se utilizó el algoritmo Newton para la minimización no lineal. La biomasa de sardina común y anchoveta manifiesta un comportamiento estacional con valores máximos en primavera-verano y mínimos en invierno. Interanualmente, la biomasa promedio anual de sardina presenta una disminución sostenida desde niveles de 1 millones de ton en 1991 hasta alcanzar cerca de 400 mil ton en 1995. En 1996 y 1997 la biomasa promedio se recupera a niveles por sobre el millón de toneladas. En el caso de la anchoveta, la biomasa promedio anual fue del orden de 350 mil ton entre 1991 y 1992, se incrementó a 680 mil ton en 1994 y luego comenzó a disminuir hasta alcanzar cerca de 500 mil ton en 1997 (primer semestre). La tasa de explotación en el primer semestre de 1997 se estima en 27,9% para la sardina común y en 31,7% para la anchoveta, siendo éstas las más altas en el período de estudio.

## Introducción

Varias evaluaciones indirectas de la biomasa de sardina común y de anchoveta se han realizado, utilizando distintos métodos de evaluación. Varias de estas evaluaciones se basan en métodos tradicionales y podrían no ser adecuadas para estos recursos. Una de las principales desventajas radica en el supuesto de distribución uniforme de la tasa de mortalidad por pesca dentro del ciclo anual y la otra es una limitante asociada a la escala anual de la evaluación de stock, donde varios procesos importantes que están ocurriendo dentro del ciclo anual no quedan bien representados con las estimaciones anuales dando origen a interpretaciones equivocadas de la dinámica de la abundancia (ver Cubillos *et al.*, 1997 en este informe).

En este trabajo, nosotros presentamos estimaciones de biomasa que internalizan fielmente los procesos biológicos estacionales del crecimiento y las características del régimen operacional de la flota, adoptando los procedimientos y metodología de evaluación desarrollada en el marco de este proyecto. Se destaca que la unidad básica de tiempo es el mes, lo que permite analizar mejor los cambios que están ocurriendo en los stocks, así como los procesos biológicos que se desarrollan dentro del ciclo anual.

## Materiales y Métodos

### Datos básicos

Los datos básicos para la evaluación de stock son:

- i) Pesos promedio por edad y mes de cada cohorte,
- ii) Tasa de mortalidad natural por mes (asumida constante),
- iii) Esfuerzo y Captura por unidad de esfuerzo estándar mensual,
- iv) Captura en número por edad y mes de cada cohorte.

La metodología para el tratamiento y obtención de los datos necesarios ha sido descrita previamente en este informe, restando sólo detallar la metodología para estimar la captura en número por edad y mes de cada cohorte.

### Captura en número por edad y mes de las cohortes

Para determinar la captura en número, se utilizó la siguiente expresión:

1)...

$$C_t = \frac{Y_t}{W_t}$$

Donde  $C_t$  es la captura en número en el mes "t",  $Y_t$  es la captura en peso (toneladas) y  $W_t$  es el peso promedio de los individuos en la captura en el mes t. El peso promedio se obtuvo utilizando la distribución de frecuencia de tallas y los parámetros de la relación longitud peso, i.e.

2)...

$$W_t = \frac{\sum_{j=1}^m w_{jt} f_{jt}}{\sum_{j=1}^m f_{jt}}$$

donde  $w_{jt}$  es el peso promedio de los ejemplares de la clase de longitud j en el mes t, y  $f_{jt}$  es la frecuencia de los ejemplares de la clase de longitud j en el mes t. El peso promedio de la clase de longitud j se calcula con la siguiente expresión (Beyer, 1987)

3)...

$$w_{jt} = \frac{1}{L_{j2} - L_{j1}} \cdot \frac{a}{b+1} \left( L_{j2}^{(b+1)} - L_{j1}^{(b+1)} \right)$$

donde a y b son los parámetros de la relación longitud-peso, mientras que  $L_{j1}$  y  $L_{j2}$  son los límites inferior y superior de la clase de longitud j.

El método de evaluación considera la identificación de todas las cohortes reclutadas a la pesquería en el período 1990-1997, las cuales han sido separadas desde los datos mensuales de frecuencia de tamaños con el programa MIX de Macdonald & Pitcher (1979). Este análisis se

utilizó también para estudiar el crecimiento de sardina común y anchoveta (ver Cubillos, 1997 en este informe).

La descomposición de la captura total en número del mes "j" del año t en grupos de edad presentes en la distribución de frecuencia de tamaños se realizó según la siguiente expresión:

$$4)... \quad C_{i,j,t} = p_{i,j} C_{j,t}$$

donde:

$C_{i,j,t}$  = Captura en número del grupo de edad i en el mes j del año t.

$p_{i,j}$  = Proporción del grupo de edad i en la mezcla distribucional del mes j, estimados con el programa MIX.

$C_{j,t}$  = Captura en número total en el mes "j" del año t

#### Método de evaluación

El método de evaluación reconstruye la abundancia de cada una de las cohortes utilizando la ecuación de MacCall (1986), i.e.

$$5)... \quad N_i = N_{i+1} \exp(M') + C_i M' / (1 - \exp(-M'))$$

donde el subíndice "i" representa la edad en meses de la cohorte, N es la abundancia de la cohorte (número), M' es la tasa instantánea de mortalidad natural mensual, y C es la captura en número.

La tasa de mortalidad por pesca aplicada sobre una cohorte a la edad "i", se estima según la siguiente ecuación:

$$6)... \quad F_i = \ln(N_i / N_{i+1}) - M'$$

La biomasa a la edad "i" se estima por

$$10) \dots B_i = w_i N_i$$

donde  $w_i$  es el peso promedio y  $B$  la biomasa. La biomasa promedio entre la edad "i" e "i+1" de una cohorte, se estima según la siguiente ecuación

$$11) \dots \bar{B}_i = B_i (1 - \exp(-(F_i + M'))) / (F_i + M')$$

La abundancia y biomasa total del stock en un mes corresponderá a la suma de las biomazas de todas las cohortes presentes ese mes, generalmente 2 ó 3 cohortes. Las ecuaciones presentadas modelan la dinámica de cada cohorte, pero la captura total en un mes "i" cualquiera puede estar sustentada por dos ó más cohortes distintas (clases anuales).

Para reconstruir la abundancia con la Ecuación (5), se considera como parámetro desconocido a la abundancia sobreviviente de cada cohorte. El algoritmo de estimación consiste en resolver simultáneamente los parámetros desconocidos utilizando el algoritmo Newton, minimizando la siguiente función objetivo:

$$9) \dots SCR = \min \sum_{t=1}^{T_{max}} \sum_{j=1}^{12} \left[ \lambda (\ln(CPUE_{j,t}) - \ln(q \bar{B}_{j,t}))^2 + (1 - \lambda) (\ln(E_{j,t}) - \ln(F_{j,t} / q))^2 \right]$$

donde:

CPUE = Captura por unidad de esfuerzo estándar (toneladas por viajes con pesca estándar) en el mes j del año t,

q = Coeficiente de capturabilidad,

-

$B_{j,t}$  = Biomasa promedio en el mes j del año t.

- E = Esfuerzo estándar en el mes j del año t,  
 $F_{j,t}$  = Tasa de mortalidad por pesca promedio en el mes j del año t.  
 $\lambda$  = Ponderador, que permite controlar el grado de influencia de cada variable en la función objetivo.

Tanto el esfuerzo de pesca como la captura por unidad de esfuerzo provienen de la misma fuente de información, pero se usó un coeficiente de capturabilidad diferente. El coeficiente de capturabilidad es un parámetro que no necesita ser estimado directamente, ya que puede ser deducido analíticamente. El coeficiente de capturabilidad puede ser distinto dependiendo de la definición de la estimación de la tasa de mortalidad por pesca, la cual se puede estimar utilizando un promedio aritmético o bien un promedio ponderado por la biomasa promedio, *i.e.*

10)...

$$F_j = \frac{\sum_{k=1}^{K_{max}} F_{k,j} B_{k,j}}{\sum_{k=1}^{K_{max}} B_{k,j}} = \frac{Y_j}{B_j}$$

donde  $F_{k,j}$  es la mortalidad por pesca de la k-ésima cohorte en el mes j, B es la biomasa promedio. Se puede demostrar que la estimación de esta tasa de mortalidad por pesca es equivalente a dividir la captura total en peso en el mes j por la biomasa promedio total, lo que está definido después del segundo signo igual en la Ecuación (10).

La estimación de la tasa de mortalidad con la Ecuación (10) se basa en la biomasa y puede estar mejor relacionada con la CPUE, *i.e.*  $CPUE=Y/E=qB$ . Desde el punto de vista del número de ejemplares y considerando el esfuerzo de pesca, un cálculo apropiado de la mortalidad por pesca consiste en el promedio aritmético de las mortalidades por pesca obtenidas de cada cohorte, *i.e.*

11)...

$$F_j = \frac{\sum_{k=1}^{K_{max}} F_{k,j}}{K_{max}}$$

La evaluación de stock, considera el análisis de distintos ponderadores ( $\lambda$ ) en la función objetivo y su influencia en los indicadores más relevantes de la situación del stock, i.e. la biomasa, el reclutamiento, y la intensidad de explotación.

### **Estimación de la varianza de las estimaciones**

La estimación de la varianza de la abundancia, biomasa y mortalidad por pesca se realiza utilizando el método bootstrap condicional no-paramétrico, evaluado numéricamente a través de técnicas Monte Carlo. El método se basa en el remuestreo de los residuales que resultan de la diferencia entre el esfuerzo observado y el estimado a partir del modelo de evaluación, aspecto que también es válido para la captura por unidad de esfuerzo. La elección aleatoria de los residuales permiten construir nuevas series de observaciones a las cuales se les aplica el método de evaluación aquí implementado. El algoritmo básico consiste en:

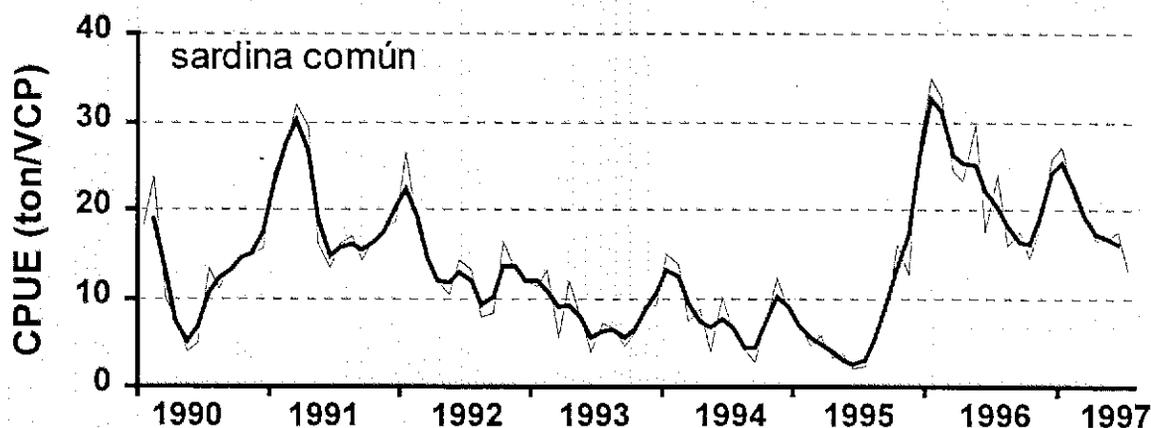
- a) En base a los resultados de la evaluación indirecta, obtener los residuales y las estimaciones de las observaciones,
- b) Obtener una muestra de los residuales con un método que permita seleccionar con igual probabilidad a cada residual obtenido,
- c) Generar una nueva serie de observaciones con propiedades similares a la original,
- d) Aplicación del método de evaluación controlando la estimación de los parámetros con la nueva serie originada en el punto anterior,
- e) Repetir los pasos (b)-(d) un número elevado de veces, digamos  $R_{max} > 100$ .

En este estudio se utilizó  $R_{max} = 150$ , valor que se obtuvo controlando la estimación de la variabilidad en los estimados promedios y la varianza, lo que ocurrió a partir de 50 muestras bootstrap.

## Resultados

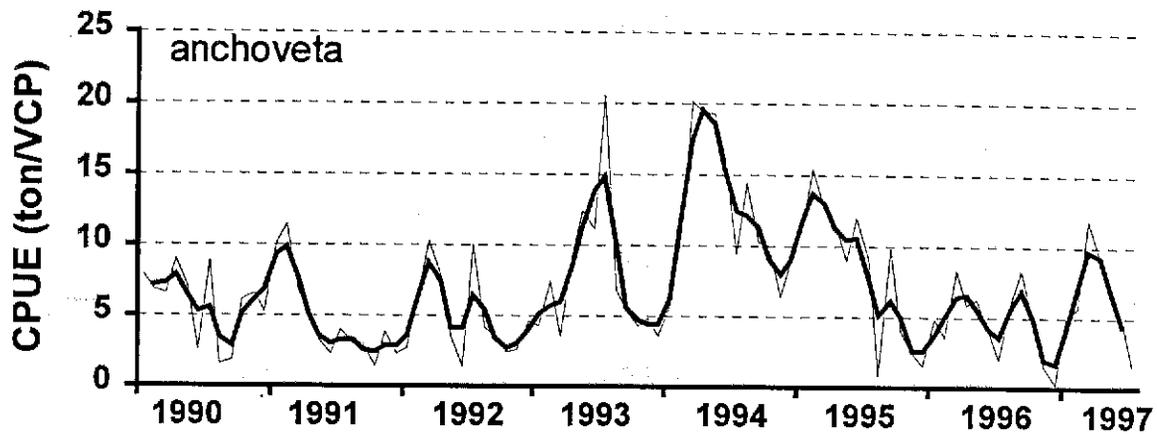
- **Indices de abundancia**

La captura por unidad de esfuerzo estándar (CPUE) de sardina común ha presentado una tendencia decreciente desde comienzos de 1991 hasta mediados de 1995. Posteriormente, a comienzos de 1996 se observa una recuperación importante de la CPUE, para nuevamente exhibir una tendencia decreciente a comienzos de 1996 (Figura 1).



**Figura 1.** Cambios en la captura por unidad de esfuerzo de sardina común en el período enero de 1990-julio de 1997. La línea gruesa corresponde a un suavizamiento de la serie original (líneas delgadas).

En el caso de la anchoveta, la CPUE no presenta tendencias significativas en el período de estudio, identificándose cierta estabilidad aunque con fluctuaciones estacionales. La mayor abundancia relativa de anchoveta ocurrió en el período 1993-1995 (Figura 2), justamente cuando la abundancia relativa de sardina alcanzó los valores más bajos.



**Figura 2.** Cambios en la captura por unidad de esfuerzo de anchoveta en el período enero de 1990-julio de 1997. La línea gruesa corresponde a un suavizamiento de la serie original (líneas delgadas).

- **Evaluación de stock**

- a) **sardina común**

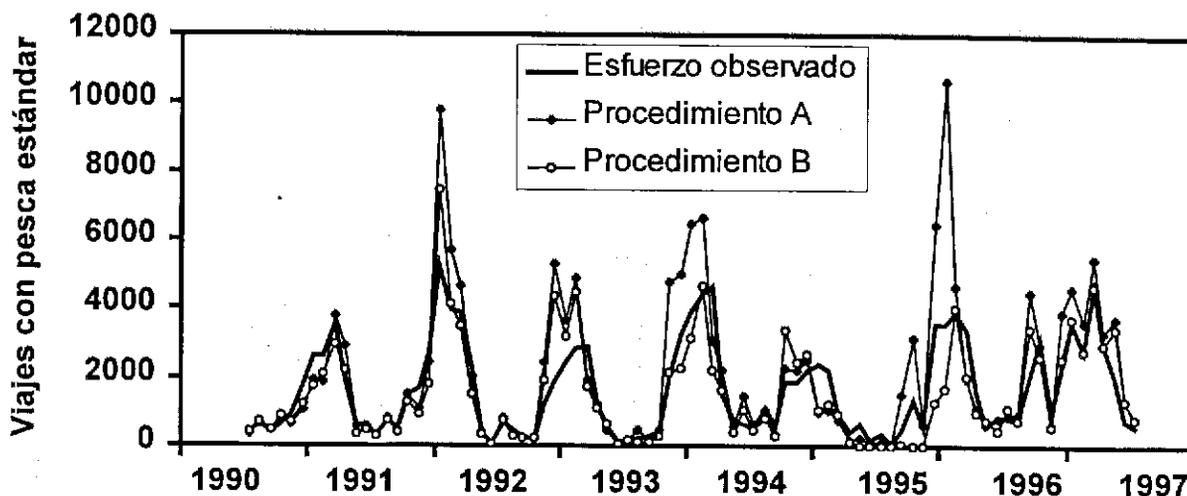
La evaluación de sardina común consideró todas las cohortes presentes en las capturas durante el período julio de 1990-julio de 1997. Las cohortes que reclutaron en noviembre de cada año fueron denominadas cohortes principales, mientras que se denominó cohortes secundarias a las que reclutaron en otros meses y cuya presencia en las capturas se presentó virtualmente durante algunos pocos meses. En el período de estudio se identificó 9 cohortes principales de sardina común, las cuales representan las clases anuales de 1988 a 1996. La Tabla 1 resume la estimación de la abundancia sobreviviente de cada una de las cohortes, considerando todas las cohortes (14) y considerando sólo las cohortes principales. Este último procedimiento se consideró con el objeto de investigar si los cambios de la abundancia y biomasa de sardina común sufre algún cambio significativo si las cohortes secundarias no se consideran como parte de la dinámica poblacional global.

**Tabla 1.** Abundancia terminal de las cohortes de *S. bentincki* estimada considerando todas las cohortes (Procedimiento A) y sólo las cohortes principales (Procedimiento B). La estimación se basa en el logaritmo de las cantidades (=P), SRC se refiere a la suma de residuos al cuadrado de los datos de CPUE, esfuerzo y total.

Parámetro (N°)	Nombre parámetro	Procedimiento (A)		Procedimiento (B)	
		P	exp(P) (miles)	P	exp(p) (miles)
1	Cohorte Principal	16,464	14134198	15,796	7249579
2	Cohorte Principal	15,850	7647406	15,990	8800460
3	Cohorte Principal	16,267	11610534	15,729	6779413
4	Cohorte Principal	15,693	6535859	15,468	5222088
5	Cohorte Principal	15,659	6318614	15,160	3838102
6	Cohorte Principal	15,660	6328018	15,423	4987866
7	Cohorte Principal	14,401	1795894	14,042	1254515
8	Cohorte Principal	17,253	31109033	16,416	13465256
9	Cohorte Principal	17,701	48701794	17,734	50326568
10	Cohorte Secundaria	17,367	34863093	-	-
11	Cohorte Secundaria	16,413	13423777	-	-
12	Cohorte Secundaria	15,298	4405319	-	-
13	Cohorte Secundaria	13,943	1135981	-	-
14	Cohorte Secundaria	17,243	30803832	-	-
	q(CPUE)		1,2900E-05		2,0284E-05
	q(Esfuerzo)		1,3197E-05		2,1432E-05
	Lambda		0,5		0,5
	SRC(CPUE)		14,129		12,746
	SRC(Esfuerzo)		20,201		233,912
	SRC(total)		17,165		123,329

La abundancia sobreviviente de cada cohorte fue estimada simultáneamente con el algoritmo Newton, asignando igual ponderación ( $\lambda=0,5$ ) a los datos de captura por unidad de esfuerzo y esfuerzo de pesca en la función objetivo. Sin embargo, cuando se consideró solamente a las cohortes principales, la suma de residuos al cuadrado asociada al esfuerzo de pesca se incrementó notablemente (Tabla 1), lo que se debe exclusivamente a que en algunos meses el esfuerzo de pesca de algunos meses se aplicó directamente a la abundancia de las cohortes secundarias. Por lo tanto, la mortalidad por pesca fue cero y afectó la suma de cuadrados residual. En todo caso, el esfuerzo de pesca estimado sigue muy de cerca el esfuerzo observado, pero la magnitud de la tasa de mortalidad por pesca es algo mayor cuando se considera sólo las cohortes principales (Figura 3).

a) Esfuerzo de pesca:



b) Tasa de mortalidad por pesca:

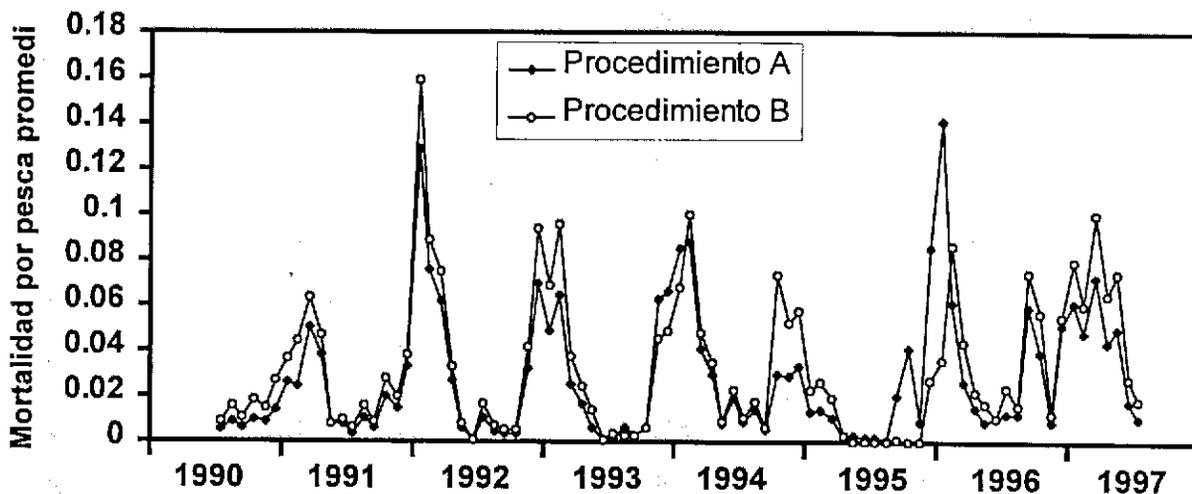
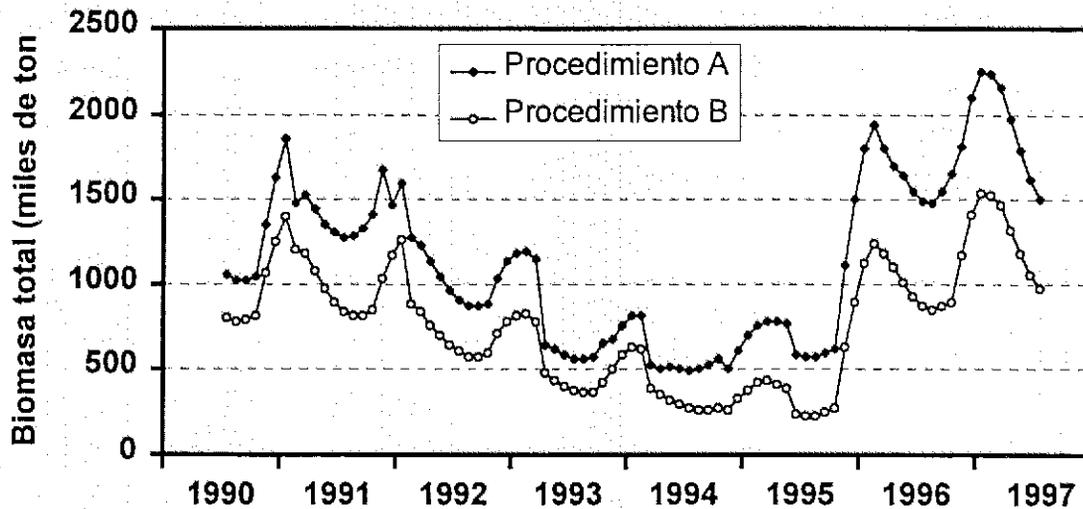


Figura 3. Arriba: esfuerzo de pesca observado y estimado. Abajo: tasa de mortalidad por pesca promedio aplicada al stock de sardina común. Procedimiento A: todas las cohortes; y Procedimiento B: sólo las cohortes principales.

En ambos caso se observa un buen grado de ajuste entre el esfuerzo de pesca observado y la tasa de mortalidad por pesca promedio, con coeficientes de correlación de 0,841 y 0,846 para el procedimiento A y B, respectivamente ( $n=85$ ;  $P<0,05$ ). Esta situación indica que la mayor suma

de cuadrados encontrada con el procedimiento B sólo se debe a la presencia de mortalidades por pesca con valores cero, ya que en general ambos procedimientos recogen adecuadamente los cambios en el esfuerzo (Figura 3).

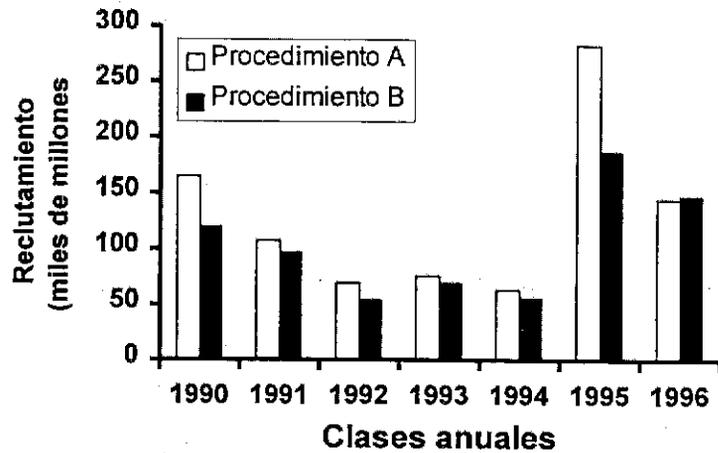
Desde el punto de vista de la dinámica de la biomasa, las diferencias en los cambios de un mes a otro y en la tendencia general no fueron muy evidentes entre los distintos procedimientos, pero sí en la magnitud de la estimación (Figura 4). El procedimiento B, que sólo considera a las cohortes principales, subestima la biomasa en 389,3 mil toneladas (promedio) en relación con el procedimiento A, aspecto que se ve reflejado en el aumento del coeficiente de capturabilidad (Tabla 1).



**Figura 4.** Estimación de la biomasa total del stock de sardina común según todas las cohortes (procedimiento A) o sólo las cohortes principales que se reclutan en noviembre (procedimiento B).

Al considerar los cambios en la biomasa, se observa que desde comienzos de 1991 hasta fines de 1995, la biomasa de sardina venía con una tendencia decreciente. Sin embargo, en 1996 y 1997 se observa una notable recuperación, lo que se debe a la alta abundancia de las clases anuales de 1995 y 1996, reclutadas en noviembre de los mismos años (Figura 5).

Al respecto, el reclutamiento de las cohortes principales presentó la misma tendencia con ambos procedimientos de estimación. Sin embargo, con el procedimiento B la abundancia de las clases anuales al momento de reclutarse fueron estimaciones más bajas (Figura 5).



La contribución de las cohortes secundarias a la dinámica de la biomasa del stock de sardina común es virtualmente esporádica. Estas cohortes tienden a reclutar en mayo de cada año, excepto aquella que ingresó en diciembre de 1990 y que perduró hasta noviembre de 1991 (Figura 6). Sin embargo, la cohorte secundaria más importante, tanto desde el punto de vista de la permanencia como del aporte a la biomasa total y a las capturas de la flota, fue la cohorte que reclutó en mayo de 1994 (Figura 6).

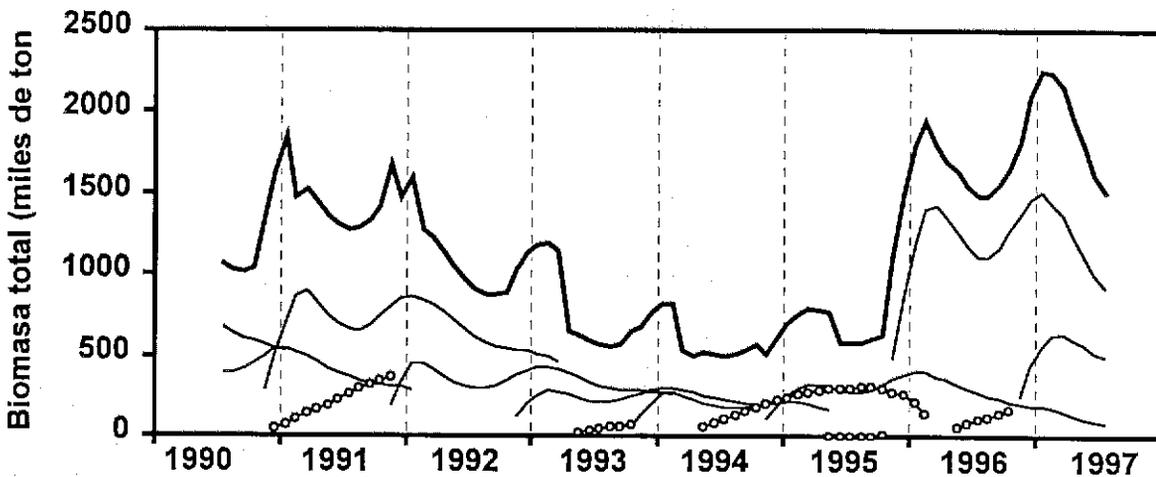


Figura 6. Evolución de la biomasa total del stock y contribución de cada cohortes al total. Las cohortes principales reclutan en noviembre de cada año (líneas delgadas), mientras que las cohortes secundarias usualmente lo hacen en mayo de cada año (líneas con círculos vacíos). Procedimiento A de estimación.

Aún cuando sólo en 1992 no se registró el ingreso de una cohorte secundaria, se puede considerar que estas cohortes son efímeras. Desde el punto de vista de la dinámica del recurso es importante investigar el rol que estas cohortes secundarias tienen, tanto en términos de su contribución al potencial reproductivo, al éxito reproductivo como en la incidencia que tengan sobre los cambios de la biomasa. Sin embargo, estas cohortes secundarias no perduran por más de un año ya que la biomasa de éstas es muy baja, razón por la cual no deberían jugar un rol importante en los cambios del stock explotado. En efecto, las cohortes que reclutan en noviembre son las que inciden mayormente en los cambios de la biomasa, y aunque en determinados meses la flota operó sobre algunas cohortes secundarias, éstas podrían estar afectando positivamente la estimación de la abundancia favoreciendo la sobreestimación de la biomasa del stock de sardina común (Figura 4). Por estas razones, sólo la evaluación que considera las cohortes principales (Procedimiento B) se utilizó para analizar la situación y dinámica del recurso.

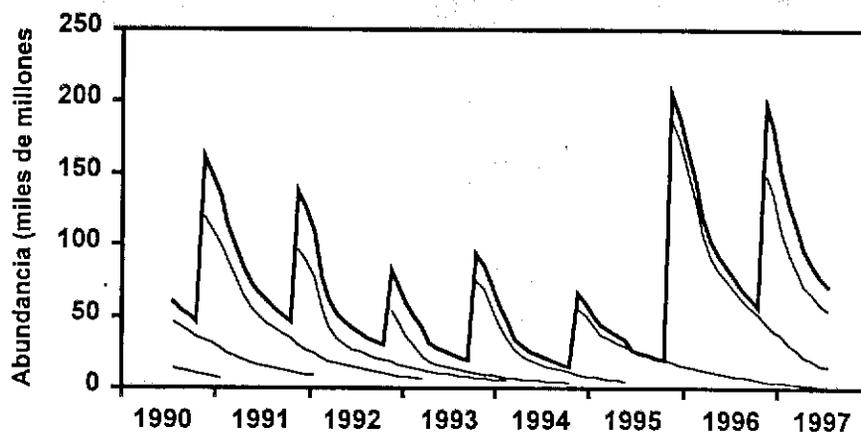
La biomasa promedio anual se presenta en la Tabla 2, observándose la tendencia a declinar desde un nivel promedio 1 millón de ton en 1991 hasta cerca de 360 mil ton en 1994 y 400 mil ton en 1995. En 1996, la biomasa se recupera a un nivel promedio de 1 millón de toneladas. En 1997, la biomasa promedio es del orden de 1,3 millones de ton, aunque dicho promedio representa solamente el primer semestre del año.

**Tabla 2.** Biomasa de sardina común (miles de ton) a comienzos de cada mes (Procedimiento B).

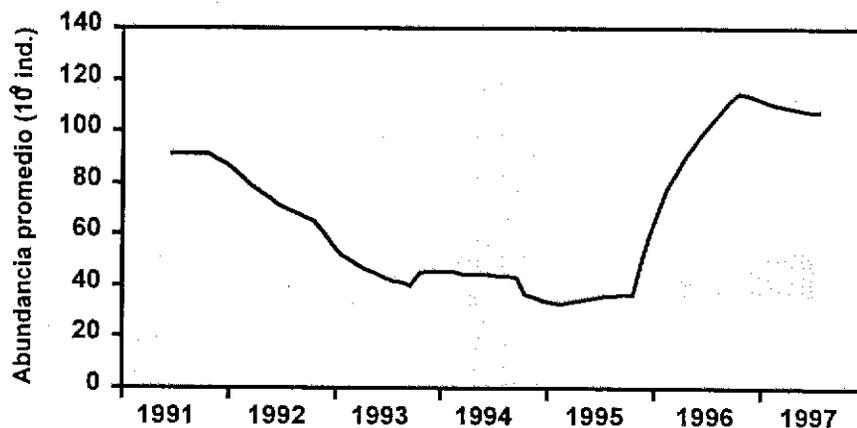
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	Prom.
<b>ENE</b>	-	1395,6	1259,4	819,3	627,0	384,0	1121,2	1535,7	1020,3
<b>FEB</b>	-	1200,8	879,0	822,0	621,9	423,2	1236,0	1523,5	958,1
<b>MAR</b>	-	1184,7	832,4	777,6	388,1	432,2	1186,6	1470,3	896,0
<b>ABR</b>	-	1081,2	758,9	476,5	359,6	418,0	1096,9	1313,5	786,4
<b>MAY</b>	-	970,0	694,4	437,6	326,1	393,0	1011,1	1178,6	715,8
<b>JUN</b>	-	896,6	641,5	403,1	300,9	243,0	929,6	1050,2	637,8
<b>JUL</b>	801,3	839,6	604,5	379,4	277,9	232,5	872,5	977,4	623,1
<b>AGO</b>	779,4	816,1	577,1	366,8	269,3	233,8	847,5	-	555,7
<b>SEP</b>	785,6	817,6	577,3	366,9	269,2	248,1	869,3	-	562,0
<b>OCT</b>	819,1	847,2	593,1	429,3	279,8	272,5	896,4	-	591,1
<b>NOV</b>	1063,2	1032,5	707,3	506,2	259,6	625,2	1173,8	-	766,8
<b>DIC</b>	1247,2	1166,2	783,6	580,2	328,7	897,6	1410,8	-	916,3
<b>Prom.</b>	916,0	1020,7	742,4	530,4	359,0	400,3	1054,3	1292,8	789,5

La abundancia en número de ejemplares en el stock se muestra en la Figura 7, indicándose la contribución de cada cohorte principal (procedimiento B). El modelo que describe la disminución en el número de ejemplares es la ecuación de sobrevivencia de MacCall (1986), lo que implica considerar la evolución temporal de la abundancia de sardina común como pulsátil, con el mayor componente de cambio atribuido exclusivamente a la fortaleza del reclutamiento y la intensidad de pesca. Al considerar la abundancia promedio anual del stock, se puede apreciar los cambios interanuales, observándose la tendencia decreciente del stock entre 1991 y 1995 y la posterior recuperación en 1996 y 1997 (Figura 7b).

a)



b)



**Figura 7.** Abundancia de sardina común: a) mensual y b) promedio anual móvil.

La tasa de mortalidad por pesca por mes sigue un comportamiento similar al esfuerzo de pesca (Figura 3), razón por la cual el efecto acumulado de enero a diciembre debe reflejar la tasa de mortalidad por pesca anual sobre el stock de sardina común (Tabla 3). Considerando la tasa de mortalidad natural anual ( $M=0,96 \text{ año}^{-1}$ ), entonces las tasas de explotación anuales han sido relativamente bajas, fluctuando entre 6,1% en 1995 y 27,7% en 1992 (Tabla 3, última fila).

**Tabla 3.** Mortalidad por pesca por mes aplicada sobre el stock de sardina común (Procedimiento B).

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	Prom.
ENE	-	0,0369	0,1596	0,0684	0,0677	0,0230	0,0358	0,0794	0,0673
FEB	-	0,0444	0,0887	0,0955	0,1004	0,0264	0,0861	0,0603	0,0717
MAR	-	0,0634	0,0745	0,0376	0,0478	0,0195	0,0437	0,1003	0,0552
ABR	-	0,0469	0,0328	0,0240	0,0351	0,0024	0,0216	0,0643	0,0324
MAY	-	0,0075	0,0077	0,0137	0,0090	0,0000	0,0162	0,0736	0,0183
JUN	-	0,0099	0,0008	0,0012	0,0229	0,0000	0,0104	0,0282	0,0105
JUL	0,0088	0,0065	0,0163	0,0038	0,0101	0,0000	0,0231	0,0179	0,0108
AGO	0,0155	0,0160	0,0066	0,0027	0,0170	0,0000	0,0158	-	0,0105
SEP	0,0103	0,0089	0,0054	0,0027	0,0059	0,0007	0,0739	-	0,0154
OCT	0,0187	0,0276	0,0056	0,0057	0,0728	0,0000	0,0568	-	0,0267
NOV	0,0151	0,0198	0,0417	0,0456	0,0519	0,0000	0,0120	-	0,0266
DIC	0,0268	0,0381	0,0937	0,0488	0,0576	0,0271	0,0546	-	0,0495
<b>Anual</b>	0,0952 <sup>a</sup>	0,3259	0,5334	0,3497	0,4983	0,0991	0,4500	0,4240 <sup>b</sup>	0,3950
<b>Expl.<sup>c</sup></b>	7,2 <sup>a</sup>	18,3	27,7	19,5	26,2	6,1	24,1	27,9 <sup>b</sup>	
	(%)								

<sup>a</sup>sólo el segundo semestre de 1990.

<sup>b</sup>sólo el primer semestre de 1997.

<sup>c</sup>tasa de explotación anual.

Con el objeto de analizar los cambios interanuales de la tasa de mortalidad por pesca, se obtuvo una suma móvil cada 12 meses. Este indicador elimina el componente de fluctuación estacional y mide el efecto acumulativo cada 12 meses y los cambios no estacionales de la mortalidad por pesca sobre el stock en el período de estudio (Figura 8). Así, se observa que la mortalidad por pesca anual se incrementó entre 1991 y 1992 para luego exhibir una tendencia decreciente hasta fines de 1993. Durante 1994 se incrementa levemente, pero en 1995 ocurre una brusca disminución de la mortalidad por pesca. Durante 1996 y 1997, el efecto acumulado de la

mortalidad por pesca ha sido creciente desde noviembre de 1995 hasta julio de 1997, lo cual explica la alta tasa de explotación en el primer semestre del año más reciente (Tabla 2).

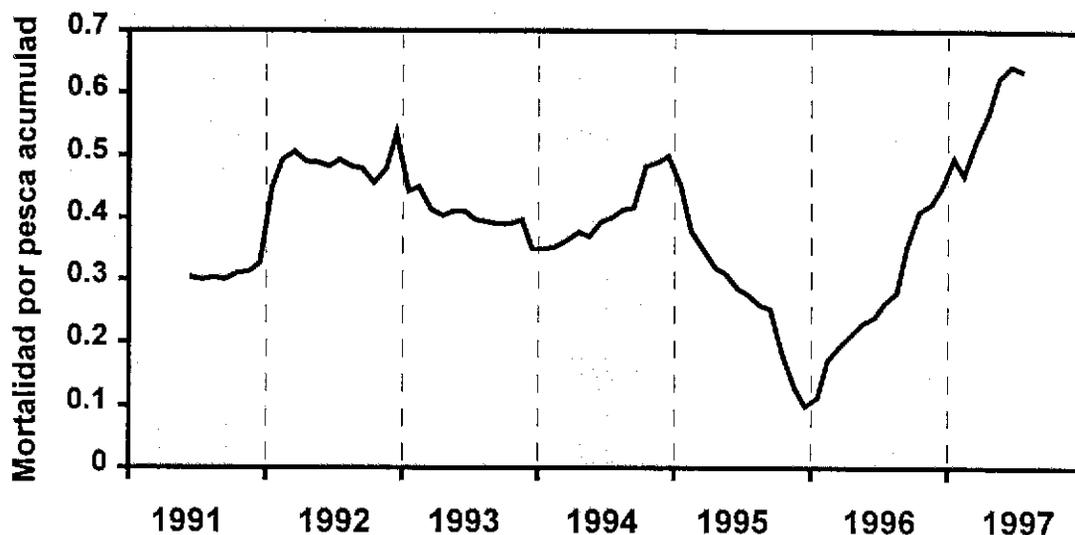


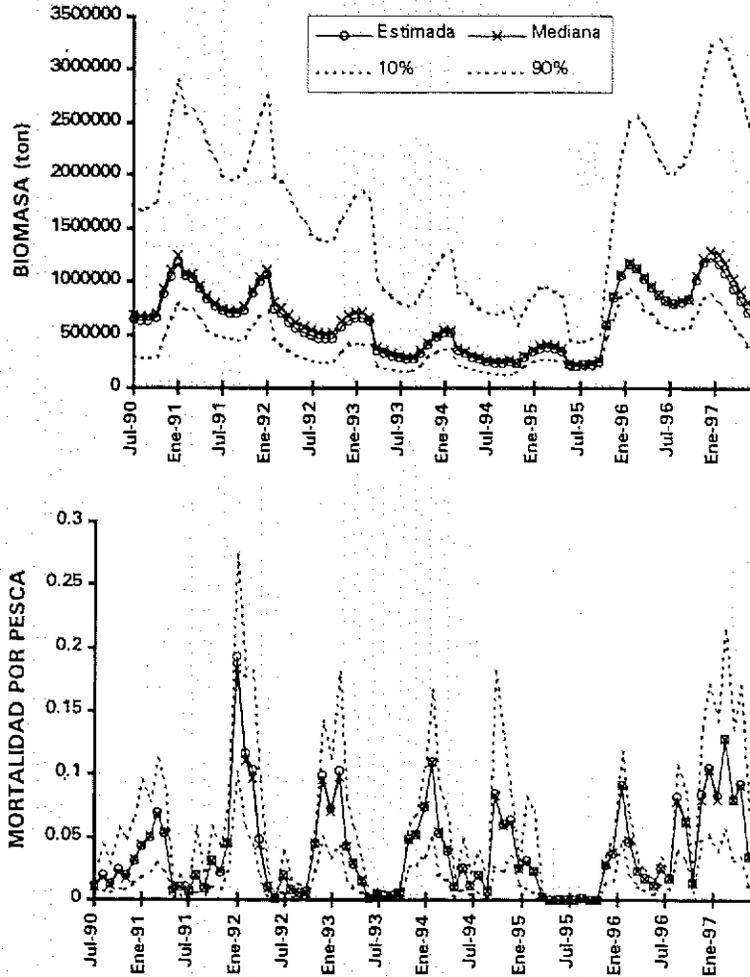
Figura 8. Mortalidad por pesca acumulada cada 12 meses móviles aplicada sobre el stock de sardina común entre junio de 1991 y julio de 1997.

- **Estimación de varianzas**

La distribución de 150 remuestreos de residuales del esfuerzo de pesca y de la captura por unidad de esfuerzo, genera estimaciones de biomasa y de abundancia de sardina común que se distribuyen log-normal. Por esta razón, los límites de confianza se han obtenido con un método percentil al nivel del 80% de confianza (percentil 0,10 para el límite inferior y 0,90 para el límite superior).

Lo anterior es un resultado esperado ya que la minimización de la función objetivo (Ecuación 9) supone una función log-normal. Se observa que la mediana sigue muy de cerca el comportamiento de la estimación original, la que se realizó asignando  $\lambda=0,9$  para la CPUE y  $\lambda=0,1$  para el esfuerzo de pesca (Figura 9). Desde el punto de vista de la teoría de distribución log-normal, el límite inferior de la clase de longitud es estimado con mayor certidumbre que el límite superior, de tal manera que el límite inferior se ha utilizado para calcular el coeficiente de error de las estimaciones de biomasa, mortalidad por pesca y abundancia (Tabla 4). Por otra

parte, esta es una ventaja ya que se puede indicar cual es la cantidad mínima de biomasa, mortalidad por pesca y abundancia que se estima para el recurso.



**Figura 9.** Biomasa y mortalidad por pesca mensual de sardina común, con los límites de confianza de 80% estimados con un método percentil a partir de 150 muestras bootstrap.

**Tabla 4.** Error de estimación inferior (%) de la biomasa, mortalidad por pesca y abundancia de sardina común.

<b>a) Biomasa:</b>								
MESES	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
ENE	-	-33.0	-32.8	-35.1	-27.8	-28.3	-20.1	-29.2
FEB	-	-28.9	-37.6	-36.1	-29.9	-27.8	-21.7	-32.1
MAR	-	-29.6	-40.6	-36.9	-36.1	-27.6	-24.3	-34.0
ABR	-	-31.6	-43.7	-38.9	-38.0	-27.4	-26.2	-37.8
MAY	-	-33.4	-45.1	-39.9	-39.5	-27.3	-27.0	-40.4
JUN	-	-33.7	-45.6	-40.4	-39.9	-18.2	-27.4	-43.0
JUL	-52.7	-34.2	-45.7	-40.3	-40.9	-18.2	-27.9	-44.0
AGO	-53.5	-34.4	-46.9	-40.2	-41.3	-18.2	-28.8	-
SEP	-54.6	-34.8	-47.6	-39.9	-42.4	-18.2	-29.6	-
OCT	-55.2	-35.9	-47.7	-33.0	-42.9	-18.2	-31.3	-
NOV	-44.8	-33.1	-39.3	-30.0	-33.4	-18.6	-29.3	-
DIC	-38.6	-32.5	-35.5	-28.2	-29.0	-19.1	-28.0	-
Prom.	-49.9	-32.9	-42.3	-36.6	-36.8	-22.2	-26.8	-37.2
<b>b) Tasa de mortalidad por pesca:</b>								
MESES	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
ENE	-	-57.9	-47.5	-54.0	-52.7	-48.1	-55.4	-52.3
FEB	-	-55.3	-51.9	-58.3	-56.0	-65.8	-48.8	-52.8
MAR	-	-57.9	-57.4	-61.6	-60.6	-70.2	-60.2	-56.6
ABR	-	-58.9	-61.0	-63.7	-63.0	-50.9	-52.0	-59.2
MAY	-	-60.6	-60.7	-63.7	-62.8	0.0	-45.4	-64.0
JUN	-	-61.3	-61.0	-63.7	-63.7	0.0	-54.4	-64.0
JUL	-61.2	-61.5	-64.9	-64.1	-64.5	0.0	-45.2	-64.906
AGO	-61.9	-62.8	-63.2	-64.4	-65.2	0.0	-47.5	-
SEP	-59.8	-62.1	-68.4	-63.9	-65.8	-51.0	-52.4	-
OCT	-63.5	-61.9	-67.8	-59.4	-66.9	0.0	-50.5	-
NOV	-61.4	-61.4	-47.8	-43.0	-61.3	-53.1	-50.1	-
DIC	-57.5	-49.4	-49.7	-46.7	-46.1	-53.8	-43.4	-
Prom.	-60.9	-59.3	-58.5	-58.9	-60.7	-32.7	-50.4	-59.1
<b>c) Abundancia en número:</b>								
MESES	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
ENE	-	-25.2	-22.0	-29.2	-23.6	-19.6	-22.7	-33.6
FEB	-	-25.3	-28.7	-32.1	-27.2	-20.4	-24.3	-38.2
MAR	-	-26.9	-33.6	-36.3	-32.4	-20.7	-27.1	-41.7
ABR	-	-29.8	-38.3	-38.8	-35.1	-20.9	-29.4	-46.4
MAY	-	-31.8	-40.6	-40.1	-37.2	-21.0	-30.2	-48.8
JUN	-	-32.2	-41.0	-40.9	-37.7	-18.2	-30.7	-51.2
JUL	-53.9	-32.7	-41.1	-41.0	-39.3	-18.2	-31.2	-52.0
AGO	-54.1	-33.1	-41.8	-41.2	-39.9	-18.2	-31.8	-
SEP	-54.6	-33.6	-42.2	-41.4	-41.1	-18.2	-32.1	-
OCT	-55.0	-34.1	-42.4	-18.4	-41.5	-18.2	-33.1	-
NOV	-24.6	-20.3	-24.1	-18.5	-17.3	-21.6	-28.5	-
DIC	-24.6	-20.6	-25.6	-20.8	-17.8	-21.6	-28.8	-
Prom.	-44.5	-28.8	-35.1	-33.2	-32.5	-19.7	-29.1	-44.5

b) anchoveta

La evaluación de anchoveta considera todas las cohortes presentes en las capturas durante el período enero de 1990-julio de 1997. En este período, se identificó 10 clases anuales de anchoveta, cuya estimación de la abundancia terminal se realizó considerando diferentes ponderadores ( $\lambda$ ) a los datos de captura por unidad de esfuerzo y esfuerzo de pesca en la función objetivo (Tabla 5).

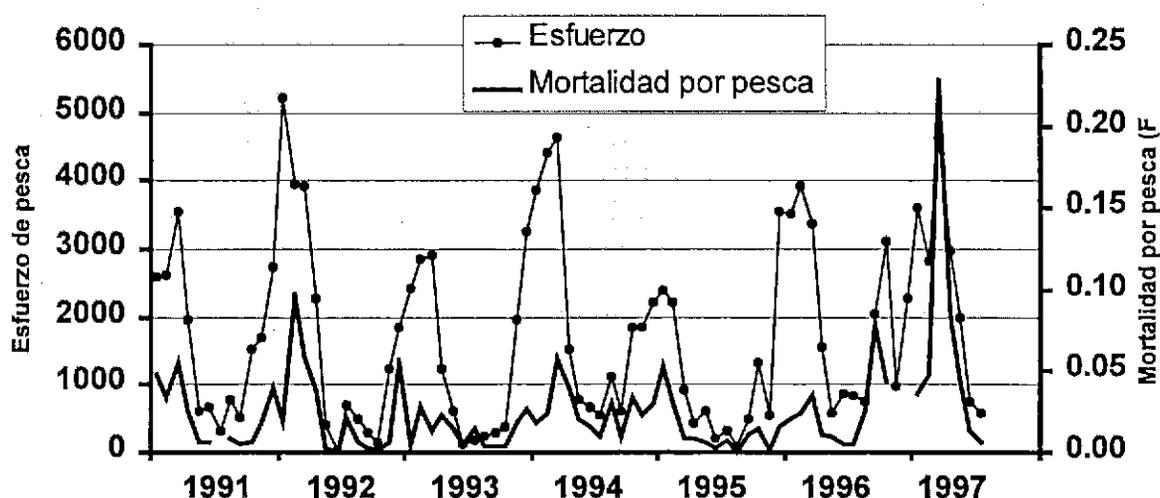
**Tabla 5.** Abundancia terminal de las cohortes de *E. ringens*, estimada según diferentes ponderadores (Lambda) en la función objetivo. La estimación se basa en el logaritmo de las cantidades ( $=P$ ), SRC se refiere a la suma de residuos al cuadrado de los datos de CPUE, esfuerzo y total.

Paráme Tro (N°)	Clase Anual Abund. Terminal	Procedimiento A		Procedimiento B		Procedimiento C		Procedimiento D	
		P	EXP(P) (miles)	P	EXP(P) (miles)	P	EXP(P) (miles)	P	EXP(P) (miles)
1	CA87	14,162	1413614	14,135	1375991	14,091	1316731	14,038	1249206
2	CA88	12,563	285914	12,496	267266	12,525	275202	12,517	272914
3	CA89	13,749	935352	13,401	660836	13,694	886011	13,691	882907
4	CA90	14,178	1436230	13,820	1004420	14,072	1292800	14,052	1266600
5	CA91	14,766	2586967	15,000	3269017	14,577	2142505	14,547	2077669
6	CA92	15,000	3269017	15,000	3269017	14,802	2682779	14,765	2584158
7	CA93	14,300	1622878	13,504	732380	14,505	1993578	14,559	2102638
8	CA94	14,746	2534779	13,931	1122427	14,874	2880967	14,892	2935553
9	CA95	15,000	3269017	14,378	1754299	15,000	3269017	15,000	3269017
10	CA96	17,600	44026699	17,907	59853559	17,307	32836850	17,290	32271382
	q(CPUE)		1,3712E-05		1,5399E-05		1,5285E-05		1,3660E-05
	q(Esf.)		1,4804E-05		1,8719E-05		1,4307E-05		1,5375E-05
	Lambda		0,5		0,9		0,1		0
	SCR(CPUE)		44,701		41,675		46,790		48,859
	SRC(Esf.)		46,456		57,507		45,472		45,446
	SRC(total)		45,578		43,258		45,604		45,446

La estimación de la abundancia terminal de las clases anuales de 1987 a 1995 fue restringida a un máximo valor, representado por el antilogaritmo de 15, i.e. 3.269 millones de individuos (Tabla 5). Cuando no se impuso restricción, la abundancia y biomasa del stock alcanzó valores excesivamente altos y poco razonables, aspecto que se podría deber a que la información auxiliar carece de contraste para la estimación o, a que la captura por unidad de esfuerzo y esfuerzo de

pesca no serían muy buenos indicadores de la abundancia y de la mortalidad por pesca del stock de anchoveta en la zona centro-sur, respectivamente.

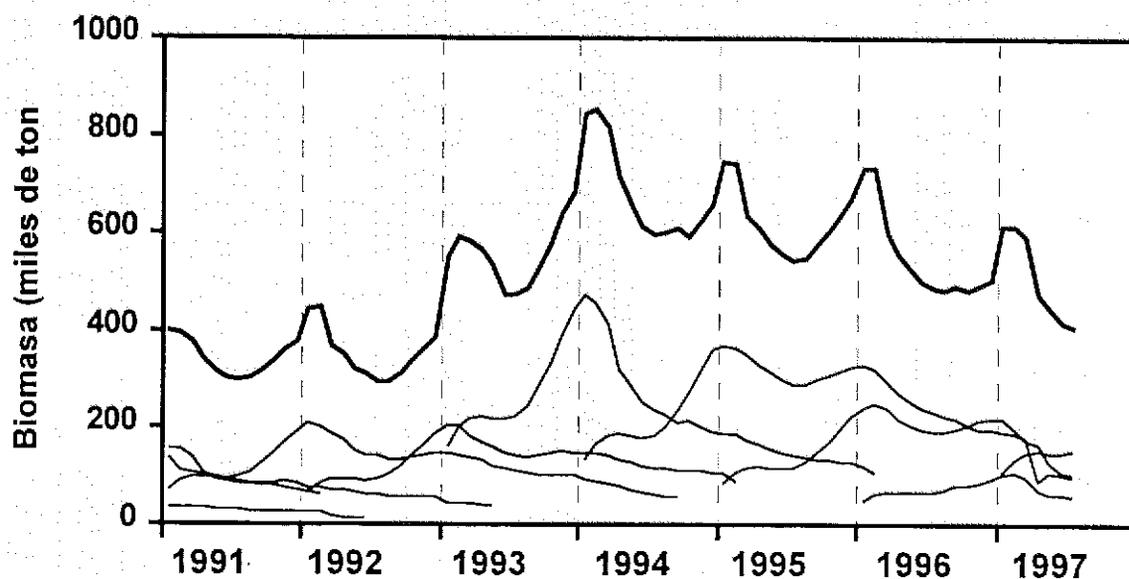
La estimación de la abundancia no fue muy dependiente de los ponderadores asignados a la función objetivo, excepto la clase anual más reciente que mostró la mayor variación (Tabla 5). Cuando se considera igual ponderación a la CPUE y esfuerzo de pesca ( $\lambda=0,5$ , Procedimiento A) la abundancia de las clases anuales de 1992 y 1995 alcanzaron el límite máximo permitido, pero cuando se asignó una ponderación de 90% a la CPUE ( $\lambda=0,9$ , Procedimiento B), la abundancia sobreviviente de las clases anuales de 1991 y 1992 fueron las que alcanzaron el valor máximo. Al asignar  $\lambda=0,1$  y  $\lambda=0$  (100% a los datos de esfuerzo), sólo la clase anual de 1995 alcanza el máximo valor (Tabla 5).



**Figura 10.** Esfuerzo de pesca estándar y mortalidad por pesca promedio aplicada al stock de anchoveta de la zona centro-sur de Chile (procedimiento D), período enero de 1991-julio de 1997.

El uso de la CPUE en la función objetivo podría no ser adecuada para estimar la abundancia terminal ya que al menos dos clases anuales alcanzan el límite máximo impuesto (Tabla 5). En este contexto, se considera apropiado utilizar los resultados del Procedimiento D para analizar la situación del recurso. La relación entre el esfuerzo de pesca estándar y la mortalidad por pesca

promedio es muy baja en el caso de la anchoveta ( $r=0,592$ ;  $n=76$ ) (Figura 10), lo que se podría deber a que el esfuerzo de pesca de la flota es mayormente dirigido a la sardina común en la zona centro-sur.



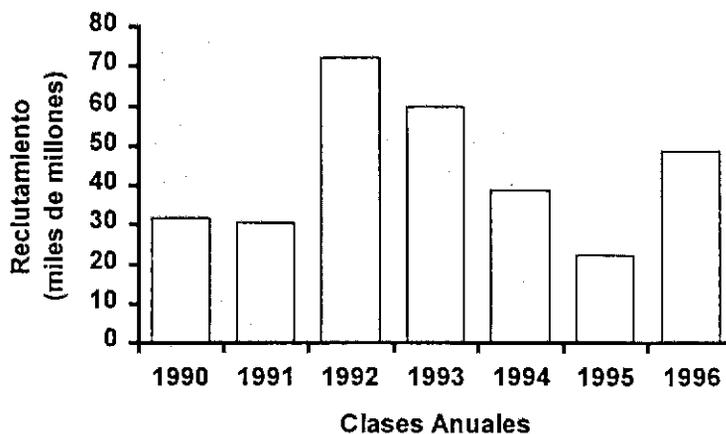
**Figura 11.** Evolución de la biomasa total del stock de anchoveta y contribución de cada cohorte al total. Procedimiento D de estimación, período enero de 1991-julio de 1997.

La contribución de cada clase anual a la biomasa total se muestra en la Figura 11, apreciándose los cambios estacionales e interanuales que a exhibido el stock de anchoveta de la zona centro-sur entre 1991 y 1997. La biomasa de anchoveta se incrementa desde fines de 1993 hasta comienzos de 1995, para posteriormente exhibir una tendencia decreciente. Esta tendencia interanual también se observa en la biomasa promedio anual (Tabla 6).

**Tabla 6.** Biomasa de anchoveta (miles de ton) a comienzos de cada mes (Procedimiento D).

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	Prom.
<b>ENE</b>	399,1	444,2	554,2	843,3	747,1	733,2	616,6	619,7
<b>FEB</b>	392,4	448,1	592,9	854,1	742,8	732,8	615,1	625,5
<b>MAR</b>	375,0	366,8	584,2	818,9	635,3	600,9	592,7	567,7
<b>ABR</b>	339,5	349,8	565,2	716,4	610,5	556,4	473,6	515,9
<b>MAY</b>	316,1	319,9	534,3	660,3	581,3	525,1	446,7	483,4
<b>JUN</b>	302,6	308,4	475,5	616,8	556,1	499,9	415,0	453,5
<b>JUL</b>	296,1	293,9	472,7	597,1	545,7	485,0	405,2	442,2
<b>AGO</b>	301,6	293,8	487,1	600,9	550,0	484,1	-	452,9
<b>SEP</b>	314,4	310,2	525,7	609,3	575,0	489,4	-	470,7
<b>OCT</b>	335,4	335,6	580,3	594,7	606,0	483,2	-	489,2
<b>NOV</b>	359,0	364,1	640,5	627,1	639,4	489,4	-	519,9
<b>DIC</b>	375,3	386,3	686,3	659,7	671,0	503,4	-	547,0
<b>Prom.</b>	342,2	351,8	558,2	683,2	621,7	548,6	509,3	515,6

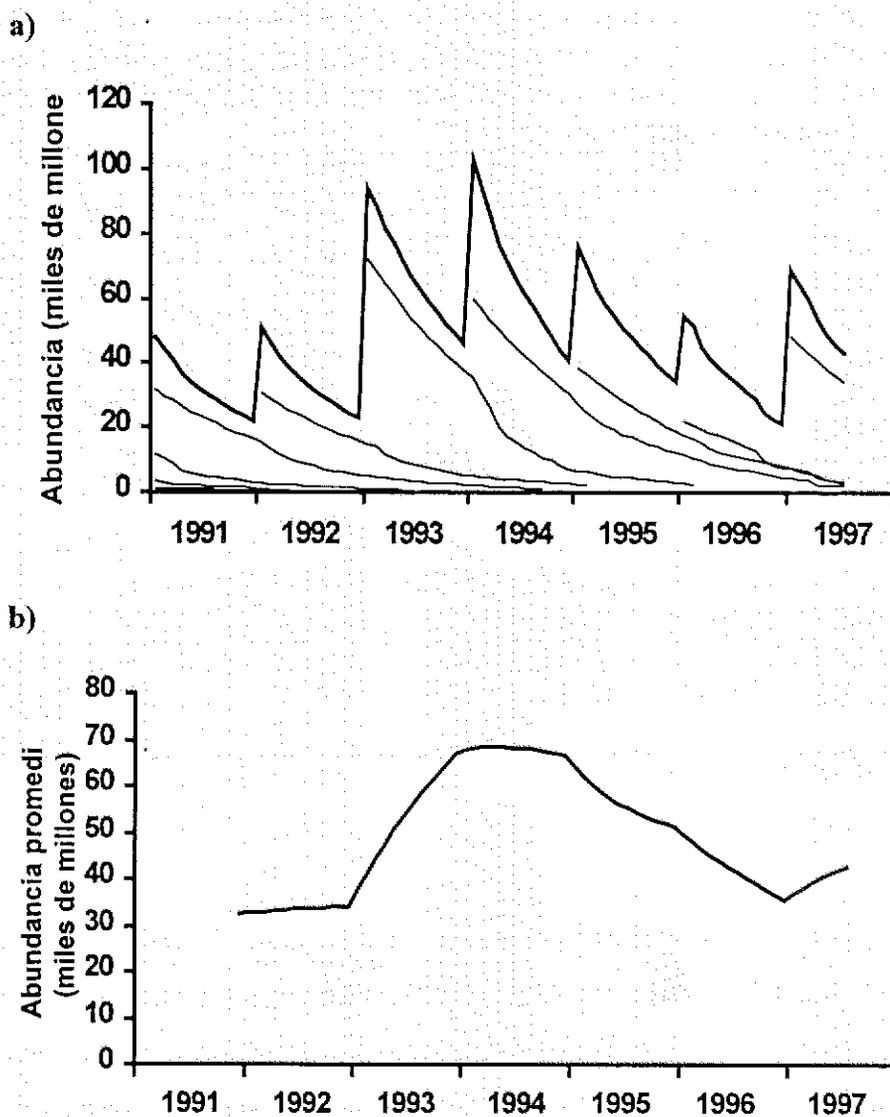
La biomasa de anchoveta presenta un comportamiento estacional, aspecto que se debe tanto a la ocurrencia del reclutamiento en enero de cada año como al mayor peso corporal promedio que alcanza este recurso en la época estival (Figura 11).



El reclutamiento de anchoveta fue **Figura 12.** Reclutamiento en enero de las clases del orden de 30 mil millones de anuales de anchoveta en el período 1991-1997. ejemplares en 1991 y 1992 (clases anuales de 1990 y 1991, respectivamente), se incremento prácticamente al doble. en 1993 y 1994, para posteriormente iniciar una tendencia decreciente (Figura 12).

La abundancia de anchoveta en la zona centro-sur depende del pulso de reclutas y de la intensidad de pesca aplicada. En efecto, en la Figura 13a se observa que los cambios en la abundancia están dominados por la fortaleza de cada clase anual y cómo la intensidad de pesca en

el período estival modifica la disminución del número de ejemplares, p.e. a comienzos de 1994 se observa un cambio en la pendiente de la curva de sobrevivencia de la clase anual de 1992, aspecto que se debe a la mayor intensidad de pesca. Al considerar la abundancia promedio anual del stock, se puede apreciar el incremento de la abundancia durante 1993 y 1994, y el retorno a niveles promedio de 30 mil millones de ejemplares (Figura 13b).



**Figura 13.** Abundancia de anchoveta: a) mensual y b) promedio anual móvil.

La tasa de mortalidad por pesca anual a fluctuado entre 0,16 y 0,46; siendo el último valor el correspondiente al período enero-julio de 1997 (Tabla 7). La tasa de explotación anual fluctúa entre 10,5% y 32%. El comportamiento estacional promedio de la mortalidad por pesca indica valores máximos (por sobre 0,03 mes<sup>-1</sup>) entre diciembre y abril, con un máximo en marzo (Tabla 7).

**Tabla 7.** Mortalidad por pesca por mes aplicada sobre el stock de anchoveta (Procedimiento D). Los valores entre paréntesis fueron interpolados linealmente, en esos meses no se pudo estimar la captura en número debido a la ausencia de información de frecuencia de tamaños.

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	Prom
<b>ENE</b>	0,0477	0,0187	0,0045	0,0177	0,0528	0,0200	0,0360	0,0282
<b>FEB</b>	0,0338	0,0963	0,0278	0,0244	0,0317	0,0239	0,0481	0,0409
<b>MAR</b>	0,0548	0,0584	0,0127	0,0578	0,0088	0,0350	0,2295	0,0653
<b>ABR</b>	0,0251	0,0383	0,0234	0,0397	0,0087	0,0104	0,0842	0,0328
<b>MAY</b>	0,0062	0,0024	0,0141	0,0200	0,0065	0,0091	0,0448	0,0147
<b>JUN</b>	0,0062	0,0001	0,0050	0,0160	0,0029	0,0050	0,0137	0,0070
<b>JUL</b>	(0,0070)	0,0199	0,0139	0,0099	0,0066	0,0054	0,0062	0,0098
<b>AGO</b>	0,0079	0,0056	0,0036	0,0298	0,0001	0,0247	-	0,0120
<b>SEP</b>	0,0049	0,0023	0,0034	0,0099	0,0104	0,0778	-	0,0181
<b>OCT</b>	0,0055	0,0009	0,0032	0,0338	0,0141	0,0437	-	0,0169
<b>NOV</b>	0,0177	0,0065	0,0183	0,0230	0,0017	(0,0411)	-	0,0180
<b>DIC</b>	0,0397	0,0555	0,0263	0,0298	0,0153	(0,0386)	-	0,0342
<b>Anual</b>	0,2566	0,3048	0,1561	0,3119	0,1595	0,3346	0,4625 <sup>a</sup>	
<b>Expl.</b>	16,52	19,23	10,49	19,62	10,70	20,85	31,66 <sup>a</sup>	
<b>(%)</b>								

<sup>a</sup>sólo primer semestre.

Interanualmente, la tasa de mortalidad por pesca anual (acumulada cada 12 meses móviles) se mantuvo cerca de 0,3 por año durante 1991 y 1992, disminuyó durante 1993, para exhibir una tendencia creciente durante 1994. Dicho incremento fue transitorio, ya que durante 1995 se observa una continua disminución. No obstante, desde fines de 1995 hasta julio de 1997 la mortalidad por pesca se incrementa notablemente (Figura 14).

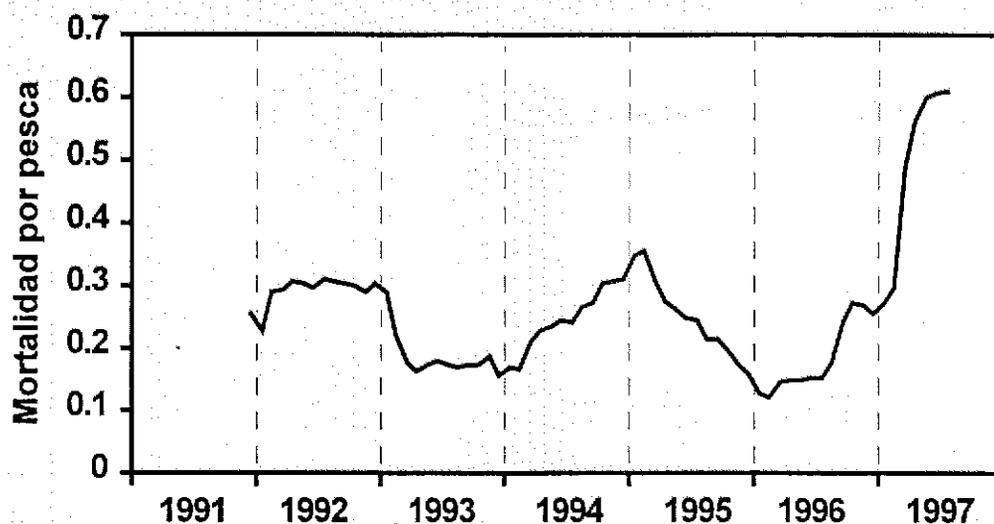


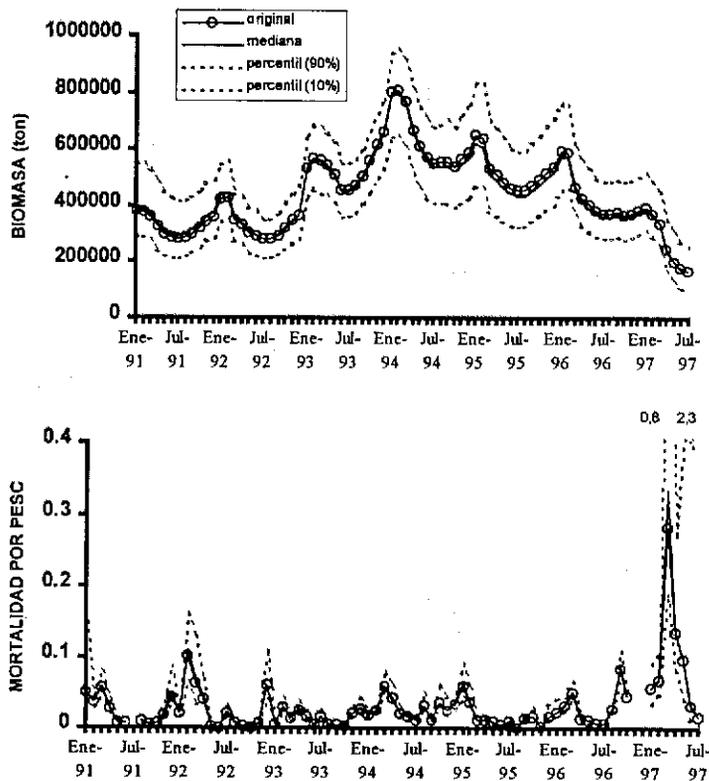
Figura 14. Mortalidad por pesca acumulada cada 12 meses (móviles) aplicada sobre el stock de anchoveta entre junio de 1991 y julio de 1997.

- **Estimación de varianzas**

La obtención de muestras bootstrap se basó en la evaluación del procedimiento (D) de la Tabla 5. Sin embargo, para inicializar el proceso de estimación se asignó  $P=14$  para todas las clases anuales y se restringió la búsqueda de las clases anuales a un máximo de  $P=15$  (ca. 3.269 millones de individuos). Nótese que en la Tabla 5, la clase anual de 1996 (CA96) alcanza  $P=17,29$  (ca. 32.271 millones de individuos), sin embargo cuando se inicializó con  $P=14$ , la abundancia sobreviviente de dicha clase anual no exhibió cambios durante la obtención de muestras bootstrap, lo que determinó una menor biomasa y abundancia durante el primer semestre de 1997. Dicho comportamiento se puede deber a la escasa influencia que dicha clase anual tiene en el proceso de estimación, ya que sólo cubre el primer semestre de 1997 (enero-julio) (Figura 11), careciendo de contraste con la información auxiliar.

Los intervalos de confianza, obtenidos con el método percentil fueron estrechos y simétricos, lo que probablemente está en relación directa con las restricciones impuesta a la búsqueda de los

parámetros. Nótese el efecto de la clase anual de 1996 durante el primer semestre de 1997 (Figura 15). El error relativo inferior, consistente en la diferencia del límite inferior de confianza respecto de la estimación original, se presenta en la Tabla 8. La mayor incertidumbre ocurre en el primer semestre de 1997, con errores mayores a 30%.



**Figura 15.** Biomasa y mortalidad por pesca mensual de sardina común, con los límites de confianza de 80% estimados con un método percentil a partir de 150 muestras bootstrap.

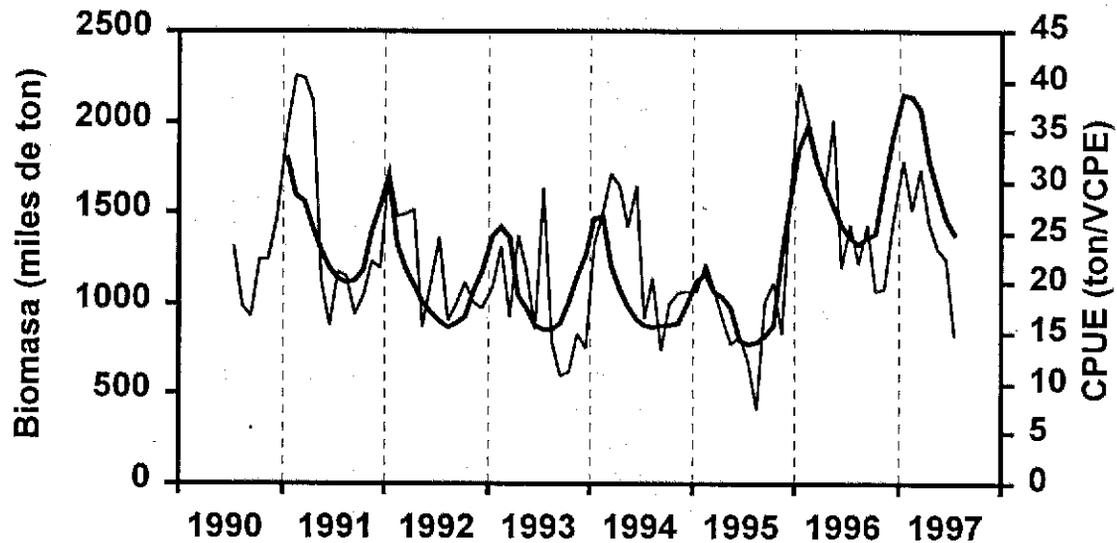
Tabla 8. Error de estimación inferior (%) de la biomasa, mortalidad por pesca y abundancia de anchoveta.

<b>a) Biomasa:</b>							
MESES	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
ENE	-23.0	-19.2	-19.9	-19.1	-27.8	-23.8	-21.7
FEB	-22.8	-19.3	-19.9	-20.3	-27.8	-23.2	-22.7
MAR	-23.2	-21.7	-20.6	-21.3	-28.4	-21.5	-24.0
ABR	-24.7	-22.2	-20.8	-23.8	-28.8	-22.6	-31.5
MAY	-25.3	-23.4	-21.0	-24.8	-28.8	-22.9	-36.0
JUN	-25.3	-23.3	-21.2	-25.5	-28.6	-23.0	-39.0
JUL	-25.0	-23.0	-20.8	-25.8	-28.2	-23.0	-39.7
AGO	-24.2	-23.5	-20.9	-25.7	-28.0	-22.6	-
SEP	-23.4	-23.5	-20.7	-26.7	-27.4	-22.4	-
OCT	-22.5	-23.3	-20.6	-27.0	-26.1	-23.1	-
NOV	-21.0	-23.0	-20.4	-28.0	-25.7	-23.0	-
DIC	-21.1	-23.0	-20.2	-28.3	-25.9	-22.3	-
Prom	-23.5	-22.3	-20.6	-24.7	-27.6	-22.8	-30.7
<b>b) Mortalidad por pesca:</b>							
MESES	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
ENE	-52.0	-18.2	-25.3	-9.3	-28.0	-23.3	-39.6
FEB	-21.0	-38.1	-26.6	-10.1	-24.4	-23.3	-32.3
MAR	-22.7	-46.8	-28.3	-11.7	-36.3	-23.6	-33.2
ABR	-27.3	-25.3	-20.2	-21.4	-18.2	-23.3	-40.1
MAY	-28.6	-36.6	-29.9	-14.2	-20.3	-15.6	-57.0
JUN	-29.1	-20.1	-30.6	-17.4	-20.1	-26.0	-61.7
JUL		-23.6	-22.8	-15.6	-20.4	-11.3	-63.4
AGO	-25.1	-26.5	-30.1	-16.7	-22.2	-8.2	-
SEP	-22.6	-26.8	-29.1	-19.3	-21.0	-11.9	-
OCT	-20.2	-26.9	-28.7	-18.3	-20.3	-8.1	-
NOV	-21.0	-27.1	-31.2	-19.8	-25.4		-
DIC	-21.8	-36.7	-24.7	-24.9	-22.9		-
Prom	-26.5	-29.4	-27.3	-16.6	-23.3	-17.5	-46.8
<b>c) Abundancia en número:</b>							
MESES	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
ENE	-14.3	-19.6	-17.6	-20.6	-19.6	-11.7	-17.0
FEB	-14.6	-20.0	-17.6	-21.1	-20.2	-11.8	-17.8
MAR	-15.0	-21.6	-17.9	-21.8	-20.3	-11.4	-18.9
ABR	-15.7	-21.8	-18.1	-23.5	-20.5	-11.8	-23.7
MAY	-16.0	-22.5	-18.2	-24.1	-20.7	-11.9	-26.6
JUN	-16.1	-22.5	-18.4	-24.7	-20.9	-12.0	-28.2
JUL	-16.2	-22.6	-18.5	-25.0	-21.0	-12.1	-28.7
AGO	-16.2	-23.0	-18.5	-25.2	-21.3	-12.2	-
SEP	-16.3	-23.1	-18.6	-25.9	-21.3	-12.7	-
OCT	-16.4	-23.1	-18.6	-25.5	-21.8	-14.1	-
NOV	-16.5	-23.1	-18.6	-26.1	-22.0	-14.9	-
DIC	-16.6	-23.2	-18.8	-26.5	-22.1	-14.9	-
Prom	-15.8	-22.2	-18.3	-24.2	-21.0	-12.6	-23.0

**Discusión**

El procedimiento metodológico para evaluar la abundancia y biomasa de los stocks de sardina común y anchoveta, considera que el reclutamiento ocurre a la forma de un pulso en un mes en particular y que posteriormente la abundancia numérica disminuye continuamente en el tiempo, con una mayor disminución asociada a las pérdidas por captura durante la época estival. La evaluación indica que los cambios interanuales de la abundancia de sardina común y anchoveta están dominados por la fortaleza del reclutamiento. Este es el componente de variación más importante, ya que la intensidad de pesca sólo afecta la abundancia de las clases anuales durante el ciclo anual cuando éstas están más o menos disponibles en el área de operación de la flota.

Los cambios en la biomasa total, de ambos recursos, son consistentes con los cambios de la CPUE total ( $r^2=0,414$ ,  $n=79$ ,  $P<0,01$ ; Figura 16). A su vez, aunque las tendencias y fluctuaciones de la biomasa de cada stock son distintas en el período de estudio, los cambios interanuales de la tasa de mortalidad por pesca presentan las mismas tendencias que el esfuerzo de pesca estándar (Figura 17).



**Figura 16.** Biomasa de sardina común y anchoveta y su relación con la captura por unidad de esfuerzo total. Período: julio de 1990-julio de 1997.

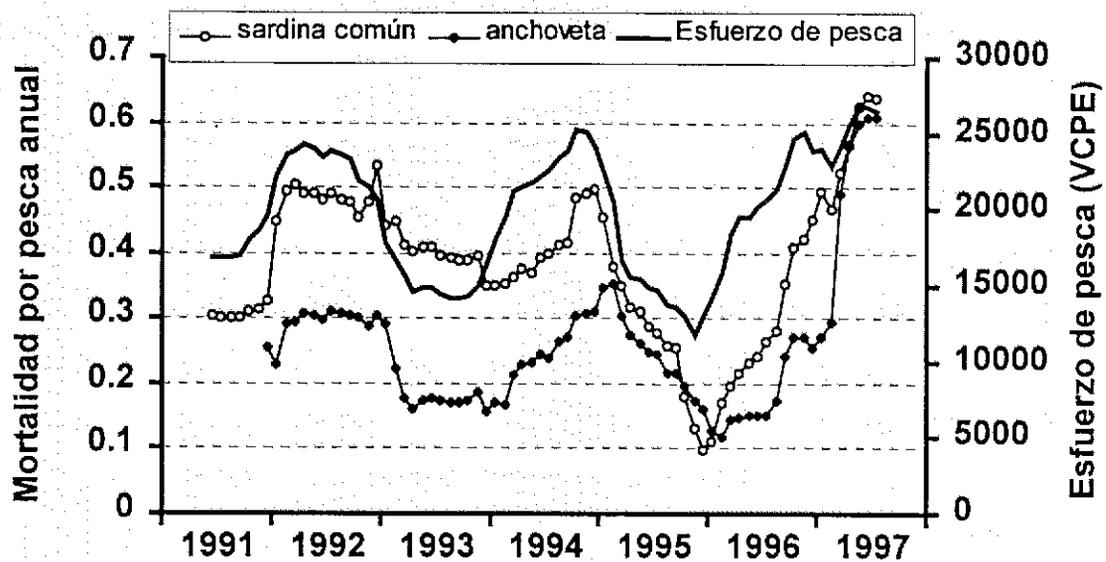


Figura 17. Cambios interanuales en la tasa de mortalidad por pesca anual móvil (suma de 12 meses móviles) y su relación con el esfuerzo de pesca.

El hecho de que la tasa de mortalidad por pesca estimada para la sardina común se correlacione mejor con el esfuerzo de pesca estándar indica que en esta pesquería el esfuerzo de pesca de la flota está orientado a la sardina común más que a la anchoveta. Esta situación también debe incidir en el proceso de estimación de la abundancia de la anchoveta, la cual fue limitada imponiendo un valor máximo para la abundancia terminal de las clases anuales. En efecto, siendo la anchoveta un recurso secundario en la pesquería de pequeños pelágicos de la zona centro-sur, entonces el índice de abundancia basado en la captura por unidad de esfuerzo debe ser más ruidoso para la anchoveta que para la sardina común, puesto que sólo en determinados meses la captura de anchoveta es consecuencia del esfuerzo aplicado.

Las tasas de mortalidad por pesca anuales son bajas en ambos recursos, lo que podría conllevar a plantear una sobreestimación de la abundancia. En diciembre de 1995 se realizó una evaluación hidroacústica de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur (FIP-IT/95-08). La evaluación consideró el área correspondiente al litoral de la V a la VIII Región dentro de las primeras 50 mn. La biomasa total se estimó en 262,7 mil ton, siendo la sardina común la especie más abundante con 78,1%, seguido por la anchoveta con 20,2% y el 1,7% restante debido a jurel. Para igual

período, en este estudio se estima indirectamente una biomasa de 1,569 millones de ton (Figura 16), de las cuales 57,2% corresponde a sardina común (897,6 mil ton) y 42,8% a anchoveta (671 mil ton). La evaluación indirecta estima 497,1% más biomasa que la evaluación directa con el método hidroacústico para el mes de diciembre de 1995. Sin embargo, el área de distribución de la sardina común y anchoveta se extiende hasta Puerto Montt, de tal manera que existe la probabilidad de que la evaluación directa haya subestimado la biomasa de ambos recursos al cubrir sólo hasta la VIII Región. De hecho una fracción significativa de las capturas de sardina común y anchoveta han sido obtenidas por la flota industrial en el área de Queule-Corral.

Se destaca, además, que el procedimiento de estimación fue validado con una población simulada (ver Cubillos *et al.*, en este informe), de tal manera que es factible que los cambios de biomasa estimados reflejen correctamente la situación de los stocks durante el período de estudio. No obstante, la estimación de la biomasa de sardina común se incrementó en 389 mil ton (en promedio) cuando se tomó en cuenta las cohortes secundarias. En este contexto, el uso de índices de abundancia independientes de la pesquería podría ser de utilidad si evaluaciones directas son mantenidas en el tiempo. Es factible que las cohortes secundarias sean efímeras desde el punto de vista de la dinámica poblacional, sin embargo el efecto y la contribución de estas cohortes debe continuar siendo investigada en futuros estudios.

Uno de los aspectos más interesantes de la evaluación de stock realizada radica en la baja tasa de mortalidad por pesca anual, si aceptamos que la estimación de la abundancia no está sobreestimada. En efecto, la respuesta más simple para justificar las bajas tasas de mortalidad anuales podría ser un problema de sobreestimación de la abundancia. No obstante, es probable que el simple hecho de considerar los procesos biológicos y pesqueros que están ocurriendo dentro del ciclo anual sea uno de los factores determinantes en la estimación correcta de la tasa de mortalidad por pesca anual. En efecto, cuando se realiza una evaluación de stock edad-estructuradas, donde la edad se refiere a lectura de annulis en otolitos, el supuesto de distribución uniforme de la mortalidad por pesca se ve seriamente comprometido. Por otra parte, la escala de tiempo anual aparece siendo demasiado alta para recursos de rápido crecimiento y ciclo de vida corto, ya que los procesos más determinantes están ocurriendo dentro del ciclo anual. En este contexto, las bajas tasas de mortalidad por pesca no deberían ser sólo una consecuencia asociada

a un problema de sobreestimación de la abundancia, sino más bien de distribución de la intensidad de pesca dentro del ciclo anual.

Por otra parte, uno de los supuestos más fuertes del análisis es considerar que la tasa de mortalidad natural es constante por meses. Este aspecto se puede mejorar si se considera el consumo de estos recursos por los principales depredadores. Sin embargo, tal aproximación requiere de un mayor acopio de información e investigación para no sólo establecer la relaciones tróficas sino también cuantificar las cantidades que están siendo removidas por los distintos depredadores y en qué época dentro del ciclo anual.

### Referencias

- Beyer, J. 1987. On length-weight relationship. Part. I. Computing the mean weight of the fish in a given length class. *Fishbyte* 5(1): 12 - 14.
- Cubillos, L. 1997. Un método de evaluación indirecta para sardina común y anchoveta de la zona centro-sur de Chile: planteamiento y validación. En: Preinforme final FIP 96-10 "Evaluación del stock de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur", Instituto de Investigación Pesquera (IIP), Talcahuano (Chile).
- Cubillos, L. 1997. Crecimiento de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur de Chile, 1990-1997. En: Preinforme final FIP 96-10 "Evaluación del stock de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur", Instituto de Investigación Pesquera (IIP), Talcahuano (Chile).
- McDonald, P.D.M. & T.J. Pitcher. 1979. Age groups from size-frequency data: a versatile and efficient method for analyzing distribution mixtures. *J. Fish. Res. Board Can.* 36:987-1001.
- MacCall, A.D. 1986. Virtual population analysis (VPA) equations for nonhomogeneous populations, and a family of approximations including improvements on Pope's cohort analysis. *Can.J. Fish. Aquat. Sci.* 43:2406-2409.

### 3.2 *Situación actual del recurso.*

**Situación actual del stock de anchoveta  
y de sardina común en la zona  
centro-sur de Chile (1990-1997)**

**Luis Cubillos**

**Resumen ejecutivo**

Se compara la mortalidad por pesca actual, en el período 1990-1997, con mortalidades por pesca de referencia asociadas a puntos biológicos de referencia, así como la magnitud de las capturas actuales respecto de los excedentes productivos anuales. Desde el punto de vista de la intensidad de pesca la mortalidad por pesca actual es inferior a la tasa de mortalidad por pesca  $F_{0,1}$  y  $F_{40\%SPR(F=0)}$  y sólo en el primer semestre de 1997 la tasa de mortalidad por pesca se acerca a estos puntos biológicos de referencia, lo que indica que no hay riesgos de sobreexplotación por reclutamiento en estas pesquerías. No obstante, la forma de la curva de rendimiento sugiere que la intensidad de pesca está concentrada sobre la fracción juvenil, ya que la mayor intensidad de pesca ocurre en primavera-verano cuando ocurre el reclutamiento. Si la intensidad de pesca se incrementa significativamente, el problema de la sobreexplotación por crecimiento podría generar una disminución en el tamaño del stock desovante, y los efectos de la sobreexplotación por reclutamiento podrían manifestarse. En relación con los excedentes productivos, éstos son positivos durante el segundo semestre de cada año, en ambos recursos. Considerando la escala anual (calendario), los excedentes productivos están mejor relacionados con las capturas anuales del año siguiente. Se observa que la pesquería está operando en niveles muy cercanos a los excedentes productivos, de tal manera que la situación de la pesquería de sardina común y anchoveta se puede considerar como de explotación plena.

## Introducción

La sobreexplotación biológica de un recurso pesquero puede ocurrir a través de dos formas: (i) la sobrepesca por crecimiento y (ii) la sobrepesca por reclutamiento. La sobreexplotación por crecimiento ocurre cuando los peces comienzan a ser capturados antes de que puedan crecer hasta alcanzar un tamaño lo suficientemente adecuado para contribuir substancialmente a la biomasa (Sparre & Venema, 1995). Además, como lo indica Troadec (1984), la sobreexplotación por crecimiento sucede debido a una pesca demasiado intensiva para el conjunto de la fase explotada, la cual se puede encontrar demasiado concentrada en los individuos más juveniles. La sobreexplotación por reclutamiento, en cambio, ocurre cuando la intensidad de pesca es alta y provoca una disminución excesiva de la biomasa desovante impidiendo mantener el reclutamiento en niveles que permitan sustentar la intensa explotación pesquera (Troadec, 1984).

El propósito de esta sección es establecer el grado de explotación actual de los stocks de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur de Chile. El enfoque para establecer la situación se basa en dos criterios: (i) comparar la tasa de mortalidad por pesca actual con niveles de referencia que contengan un mínimo riesgo de sobreexplotación por crecimiento y por reclutamiento, y (ii) comparar la magnitud de los excedentes productivos con la capturas obtenidas por la flota.

## Materiales y Métodos

### Mortalidades por pesca de referencia

Las mortalidades por pesca de referencia o puntos biológicos de referencia (Caddy & Mahon, 1995) consisten en niveles de mortalidad por pesca o multiplicadores del nivel actual de la mortalidad por pesca que tienen asociado un mínimo riesgo de sobreexplotación para la pesquería y para el stock en un horizonte de largo plazo. Usualmente los puntos de referencia más tradicionales se basan en el análisis del rendimiento por recluta y de la biomasa desovante por recluta.

Se consideró los siguientes niveles de mortalidad por pesca de referencia:

$F_{max}$  = Tasa de mortalidad por pesca que genera el máximo rendimiento por recluta.

$F_{0,1}$  = Tasa de mortalidad por pesca a la cual la pendiente de la curva de rendimiento por recluta ( $dY/dF$ ) es 10% de la pendiente en el origen (Gulland & Boerema, 1973; Ricker, 1975),

$F_{40\%SPR(F=0)}$  = Tasa de mortalidad por pesca al nivel del 40% de la biomasa desovante por recluta en  $F=0$  (biomasa desovante por recluta virginal).

$F_{20\%SPR(F=0)}$  = Tasa de mortalidad por pesca al nivel del 20% de la biomasa desovante por recluta en  $F=0$  (biomasa desovante por recluta virginal).

Los primeros se basan en la curva de rendimiento por recluta (YPR) y se consideran adecuados como referencia para el aprovechamiento eficiente por la pesquería, minimizando los efectos de la sobrepesca por crecimiento. Sin embargo, aunque la adopción de las mortalidades por pesca referenciales  $F_{0,1}$  y  $F_{max}$  pueden ser recomendables desde el punto de vista de la prevención de la sobreexplotación por crecimiento, existe también la probabilidad de que a esos niveles de mortalidad la biomasa adulta desovante podría disminuir a niveles tan bajos que no es capaz de generar reclutamientos que permitan reemplazarla. En este contexto, los puntos biológicos de referencia basados en la curva de biomasa desovante por recluta (SPR) aparecen siendo recomendables. El  $F_{40\%SPR(F=0)}$  es un punto empírico recomendado cuando la relación stock recluta es incierta, mientras que el  $F_{20\%SPR(F=0)}$  constituye más bien un umbral a partir del cual existe un alto riesgo de generar sobreexplotación por reclutamiento (Mace, 1994; Caddy & Mahon, 1995).

Estos niveles de mortalidad por pesca pueden constituirse en estrategias de explotación dependiendo de los objetivos de manejo, particularmente el  $F_{0,1}$  y  $F_{40\%SPR(F=0)}$ . En el presente estudio, sólo se consideran como referenciales ya que se desconoce los objetivos de manejo de estos recurso y la efectividad de cada uno para lograr mantener la explotación.

**Rendimiento por recluta**

Con el objeto de estimar las mortalidades por pesca referenciales, se utilizará el siguiente modelo de captura en peso por recluta (YPR):

$$1) \dots \quad YPR = \sum_{t=1}^m w_t S_{t,i} F N_t (1 - \exp(-(M' + S_{t,i} F))) / (M' + S_{t,i} F)$$

donde:

$$N_t = N_{t-1} \exp(-(M' + S_{t-1,i-1} F))$$

$$N_1 = 1$$

t es la edad en meses (edad relativa); i es un mes calendario (i=1,2,...,12; enero a diciembre, respectivamente); w es el peso promedio. N es la abundancia en número, M' es la tasa instantánea de mortalidad natural por mes, F es la tasa de mortalidad por pesca anual, S es el patrón de explotación temporal dentro del año (vector constante) obtenido desde la evaluación de stock según

$$2) \dots \quad S_{t,i} = F_i / \sum_{i=1}^{12} F_i$$

donde el subíndice t denota edad en meses, mientras que "i" se refiere a un mes calendario en particular. Se destaca que S<sub>t,i</sub> es un vector constante de 12 valores cuya sumatoria es igual a la unidad. La mortalidad por pesca utilizada para calcular S corresponde al promedio de cada mes en el período 1990-1997 para la sardina común, y 1991-1997 para la anchoveta.

La mortalidad por pesca F<sub>max</sub> se estimó maximizando la Ecuación (1) en función de F. La mortalidad por pesca referencial F<sub>0,1</sub> (Gulland & Boerema, 1973), se estimó según

$$\left. \frac{dY}{dF} \right|_{F=F_{0,1}} = 0,1 \left. \frac{dY}{dF} \right|_{F=0}$$

La mortalidad por pesca que maximiza la captura por recluta es  $F_{max}$  y ocurre cuando la pendiente de la función de captura por recluta es cero veces la pendiente en el origen. Así,  $F_{0,1}$  será siempre menor que  $F_{max}$  y por lo tanto una mortalidad por pesca más baja. Una de las ventajas de  $F_{0,1}$ , desde el punto de vista matemático, es que esta es calculada siempre en casos donde  $F_{max}$  no es definido muy claramente. Además, la mortalidad por pesca  $F_{0,1}$  es menos sensitiva a pequeños cambios en el crecimiento o en el patrón de explotación (Rivard & Maguire, 1993).

### Biomasa desovante por recluta

Las mortalidades por pesca de referencia se estimaron en base a un análisis de biomasa desovante por recluta (SPR). El análisis se realiza simultáneamente con el análisis de captura por recluta. Sin embargo, el modelo a utilizar corresponde a

3)...

$$BPR_t = w_t N_t$$

donde:

$$N_t = N_{t-1} \exp(-(M' + S_{t-1,j-1} F))$$

$$N_i = 1$$

donde BPR es la biomasa por recluta a la edad t, siendo w, N, M', S y F definidos previamente. La biomasa promedio anual por recluta se estima según

4)

$$BPR = \sum_{i=1}^{12} BPR_i / 12$$

donde BPR<sub>i</sub> es la biomasa por recluta total en el mes i, estimada para cada mes a partir de:

$$5)... \quad BPR_i = BPR_t + BPR_{t+12} + BPR_{t+24} + BPR_{t+36}$$

Con el objeto de simplificar el análisis, la biomasa desovante por recluta se asumió corresponde a la biomasa total por recluta en el mes de julio ( $i=7$ ), i.e.

$$6)... \quad SPR = BPR_{i=7}$$

Cuando la mortalidad por pesca es cero, se obtiene el máximo valor de SPR ( $SPR_{F=0}$ ), representando la condición del stock cuando no existe explotación. Con el objeto de estimar la mortalidad por pesca para una fracción de  $SPR_{F=0}$ , por ejemplo 20%, se estimó variando la tasa de mortalidad por pesca anual hasta alcanzar la siguiente condición:

$$SPR(F) - 0,2SPR(F = 0) = 0$$

Debido a que existe una correspondencia entre la captura por recluta (YPR) con la biomasa desovante por recluta (SPR) a una tasa de mortalidad por pesca dada, las biomazas de referencia asociadas a los valores de mortalidad por pesca antes definidos serán  $SPR_{F0,1}$  y  $SPR_{Fmax}$ .

### Excedentes productivos

A partir de los resultados de la evaluación, se determinó la producción y los excedentes productivos utilizando las siguientes ecuaciones (Rivard,1979), donde para cada cohorte la producción total entre la edad  $i$  e  $i+1$  (o en un período  $\tau$  de tiempo) la producción se cuantifica a partir de:

a) el cambio observado en biomasa entre  $i$  e  $i+1$  es

$$7)... \quad \Delta B_i = N_i (w_{i+1} \exp(-(F_i + M)) - w_i)$$

b) las pérdidas debido a la mortalidad natural

$$8)... \quad D_i = \frac{M'}{F_i + M'} w_i N_i (1 - \exp(-(F_i + M')))$$

c) las pérdidas debido a la mortalidad por pesca

$$9)... \quad Y_i = \frac{F_i}{F_i + M'} w_i N_i (1 - \exp(-(F_i + M')))$$

Debido a que varias cohortes existen simultáneamente en el stock, la producción total en el período de tiempo  $\tau$  puede estimarse por

$$10)... \quad P_{+\tau} = B_{r,\tau} + G_{+\tau}$$

$$11).. \quad P_{+\tau} = B_{r,\tau} + \sum \Delta B + \sum D + \sum Y$$

donde  $B_{r,\tau}$  es el reclutamiento en unidades de biomasa (componente exógeno) y  $G$  es el incremento de biomasa debido al crecimiento solamente (componente endógeno). La producción neta (PN) se puede calcular como

$$12)... \quad PN_{+\tau} = EP_{+\tau} - \sum Y$$

donde EP, o excedente de producción, se define como

$$13)... \quad EP_{+\tau} = P_{+\tau} - \sum D$$

En este contexto, el excedente de producción es definido como el exceso de reclutamiento y crecimiento por sobre las pérdidas de biomasa debido a causas naturales.

## Resultados

## a) Análisis de la mortalidad por pesca

El patrón de explotación temporal promedio para la sardina común y anchoveta se muestra en la Figura 1. Se observa que entre 1990 y 1997 la mayor intensidad de pesca sobre sardina común ocurrió entre octubre y febrero. La anchoveta, en cambio, la mayor actividad pesquera ocurrió entre diciembre y abril en el período 1990-1997.

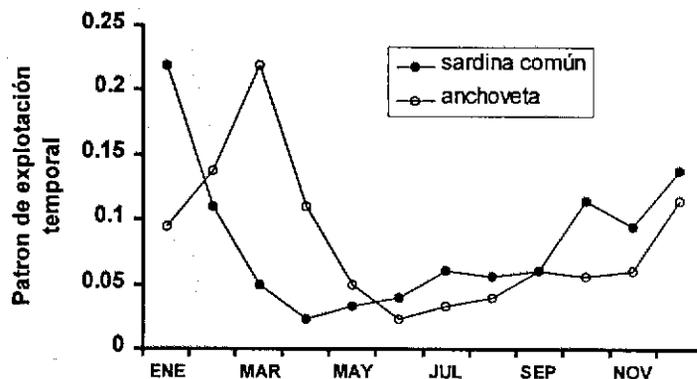


Figura 1. Patrón de explotación temporal en el período 1990-1997 para la sardina común y 1990-1997 para la anchoveta.

El patrón de explotación se consideró constante para el análisis del rendimiento y biomasa por recluta. El rendimiento y la biomasa de una cohorte de sardina común y anchoveta consideró 4 años completos (48 meses), siendo la sardina común reclutada en noviembre y la anchoveta en enero.

Las curvas de rendimiento y biomasa por recluta obtenidas para sardina común y anchoveta se muestran en la Figura 2 y 3, respectivamente. Las curvas de rendimiento y la localización de los puntos biológicos de referencia son muy similares entre ambas especies, lo que facilita -de alguna forma u otra- la adopción de medidas de manejo.

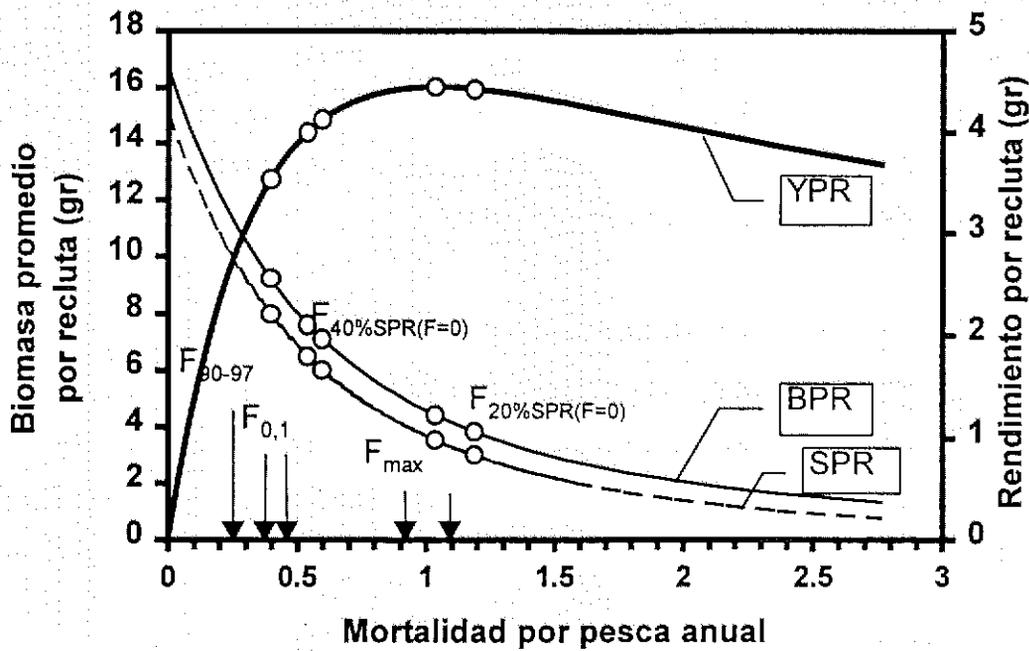


Figura 2. Curvas de rendimiento y biomasa promedio por recluta de sardina común en función de la tasa de mortalidad por pesca. Las flechas indican las mortalidades por pesca de referencia asociadas con los puntos biológicos de referencia.

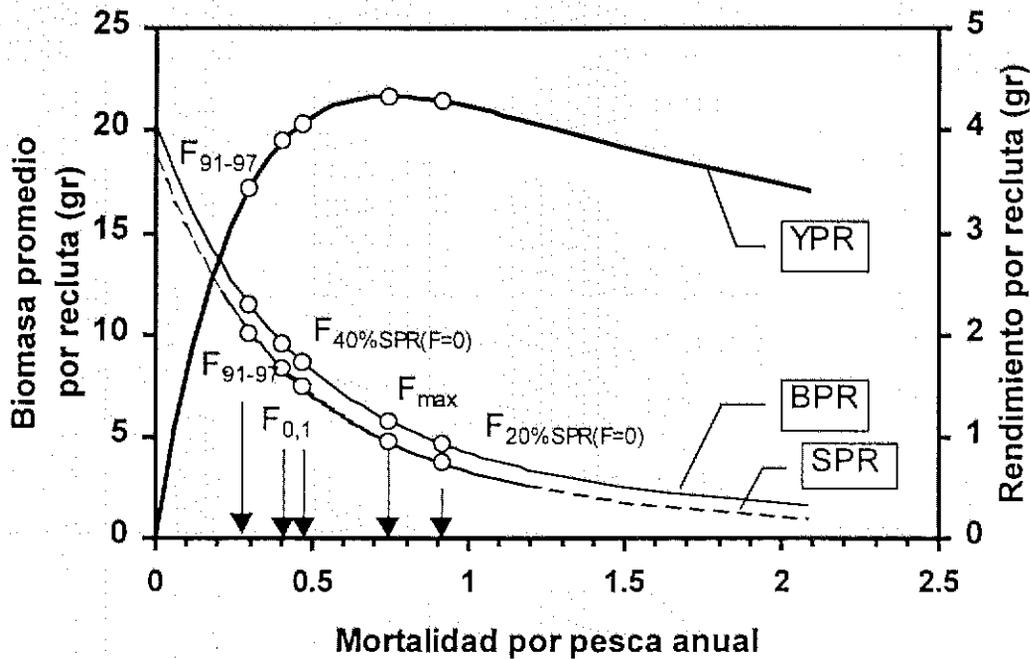


Figura 3. Curvas de rendimiento y biomasa promedio por recluta de anchoveta en función de la tasa de mortalidad por pesca. Las flechas indican las mortalidades por pesca de referencia asociadas con los puntos biológicos de referencia.

El valor de las tasas de mortalidad por pesca de referencia y del rendimiento por recluta y biomasa desovante por recluta se resume en la Tabla 1, indicándose los niveles asociados a la mortalidad por pesca actual. Se observa que la tasa de mortalidad por pesca actual se ubica por debajo de las tasas de mortalidad por pesca de referencia. El  $F_{0,1}$  y  $F_{40\%SPR(F=0)}$  son niveles de mortalidad muy similares entre sí, mientras que el  $F_{20\%SPR(F=0)}$  sólo es marginalmente superior al  $F_{max}$ , tanto en sardina común como anchoveta (Tabla 1).

Por otra parte, en ambos recursos la forma de la curva de rendimiento por recluta pasa por un máximo y posteriormente tiende a disminuir en niveles de mortalidad por pesca mayores al  $F_{max}$  (Figura 2 y 3). Esto indica que la intensidad de pesca está más concentrada en la fracción juvenil de ambos recursos lo que podría generar una sobrepesca por crecimiento. En efecto, cuando la edad de primera captura se incrementa, las curvas de rendimiento tienden a ser más asintóticas.

**Tabla 1.** Puntos biológicos de referencia (PBR) para sardina común y anchoveta. F= mortalidad por pesca anual, BPR = biomasa promedio anual por recluta, SPR=biomasa desovante por recluta al 1° de julio, YPR= rendimiento por recluta, Ws =peso promedio de los individuos en el stock explotado, Wc= peso promedio de los individuos en las capturas.

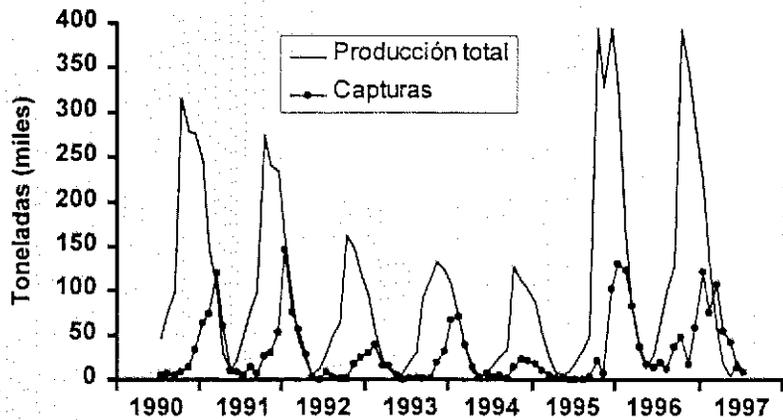
PBR	F (año-1)	BPR (gr)	SPR (gr)	YPR (gr)	Ws (gr)	Wc (gr)
<b>a) sardina común:</b>						
F=0	0	16,685	15,049	0	15,73	-
$F_{0,1}$	0,541	7,616	6,494	4,005	11,26	10,30
$F_{40\%SPR(F=0)}$	0,598	7,104	6,019	4,126	10,91	9,97
$F_{max}$	1,036	4,420	3,550	4,450	8,82	7,95
$F_{20\%SPR(F=0)}$	1,189	3,830	3,010	4,429	8,26	7,43
$F_{1990-97}$	0,395	9,204	7,973	3,535	12,23	11,26
<b>b) anchoveta:</b>						
F=0	0	20,264	18,660	0	14,51	-
$F_{0,1}$	0,404	9,618	8,364	3,900	10,53	10,11
$F_{40\%SPR(F=0)}$	0,468	8,665	7,464	4,078	10,04	9,63
$F_{max}$	0,744	5,779	4,779	4,334	8,32	7,92
$F_{20\%SPR(F=0)}$	0,916	4,631	3,733	4,282	7,50	7,12
$F_{1991-97}$	0,298	11,516	10,169	3,439	11,41	10,99

**b) Excedentes productivos**

La producción total comparada con las capturas obtenidas se muestra en la Figura 4, para sardina común y anchoveta. Se observa que la máxima producción ocurre en primavera-verano en ambos recursos y que la producción total es mayor en la sardina común que en la anchoveta.

La mayor producción en la época estival se debe tanto al componente exógeno asociado con la ocurrencia del reclutamiento como al crecimiento somático de los ejemplares. Por otra parte, se observa que la flota obtiene las más altas capturas uno o dos meses después de la ocurrencia de los máximos de producción. Esta situación se debe a que la producción asociada con el reclutamiento no es aprovechada en forma inmediata por la flota, aspecto que está relacionado con problemas de acceso a dicha producción, por parte de la flota.

**a) sardina común:**



**b) anchoveta:**

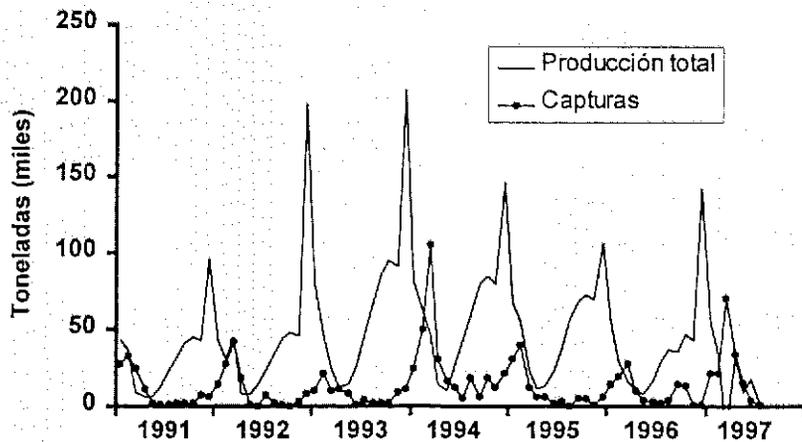


Figura 4. Producción biológica total del stock de sardina común y de anchoveta en la zona centro-sur comparada con las capturas obtenidas por la flota.

El excedente de producción, cuantificado como el exceso de biomasa por crecimiento y reclutamiento por sobre las pérdidas debido a la mortalidad natural se presenta en la Tabla 2 y 3 para sardina común y anchoveta, respectivamente.

**Tabla 2.** Excedente productivo (miles de toneladas) por mes y año del stock de sardina común en la zona centro-sur.

Mes	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	Prom.(a)
ENE	-	141,0	71,1	32,6	61,0	57,2	245,8	109,7	101,4
FEB	-	57,7	28,4	-5,4	24,3	20,2	74,7	21,7	33,3
MAR	-	15,8	-16,7	-35,7	10,0	-8,8	-7,6	-48,7	-7,2
ABR	-	-51,9	-36,1	-23,6	-18,7	-23,3	-49,4	-80,1	-33,8
MAY	-	-63,6	-48,5	-29,7	-21,5	-24,5	-64,6	-85,3	-42,1
JUN	-	-47,9	-36,5	-23,2	-15,2	-10,1	-42,9	-58,5	-29,3
JUL	-16,2	-18,3	-17,7	-11,3	-5,0	2,1	-5,3	-66,4	-9,3
AGO	13,9	14,9	3,9	1,7	4,7	14,8	33,9	-	12,3
SEP	39,3	37,0	18,4	63,8	12,4	28,8	63,4	-	37,3
OCT	253,6	211,0	116,9	79,3	105,3	374,3	325,4	-	202,1
NOV	198,0	163,8	94,1	93,0	92,1	279,5	254,9	-	162,9
DIC	182,3	145,4	59,7	79,2	76,8	326,3	183,6	-	145,2
<b>Anual</b>	<b>670,8(b)</b>	<b>604,8</b>	<b>237,0</b>	<b>220,8</b>	<b>326,2</b>	<b>1036,4</b>	<b>1012,1</b>	<b>-207,6(c)</b>	<b>572,9</b>

(a)promedio del período 1991-1996.

(b)sólo segundo semestre.

(c)sólo primer semestre.

**Tabla 3.** Excedente productivo (miles de toneladas) por mes y año del stock de anchoveta en la zona centro-sur.

Mes	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	Prom.(a)
ENE	20,9	17,9	49,3	35,2	26,3	13,5	20,3	27,2
FEB	14,7	6,0	12,7	15,1	13,7	-11,1	-1,5	8,5
MAR	-10,9	24,7	-8,6	3,0	-12,8	-16,6	-48,9	-3,5
ABR	-12,3	-11,5	-19,4	-25,3	-23,4	-21,5	6,7	-18,9
MAY	-11,5	-10,0	-15,4	-26,9	-19,1	-21,4	-16,0	-17,4
JUN	-4,9	-3,4	-1,4	-7,7	-8,1	-11,5	-5,7	-6,2
JUL	6,8	7,3	18,3	9,2	7,4	0,7	-21,4	8,3
AGO	15,1	18,4	40,3	26,3	25,1	9,1	-	22,4
SEP	22,6	26,5	56,2	45,7	35,9	8,6	-	32,6
OCT	25,7	28,9	61,9	51,1	38,6	19,9	-	37,7
NOV	22,9	25,3	55,3	44,7	33,0	15,5	-	32,8
DIC	75,3	176,5	168,5	108,9	67,9	113,8	-	118,5
<b>Anual</b>	<b>164,2</b>	<b>306,6</b>	<b>417,9</b>	<b>279,2</b>	<b>184,5</b>	<b>99,1</b>	<b>-66,5(b)</b>	<b>241,9</b>

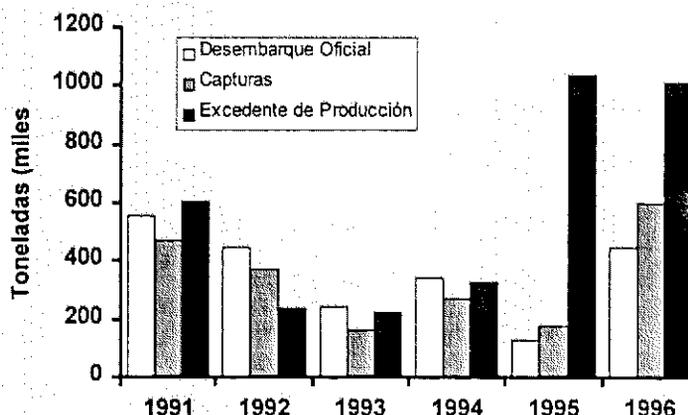
(a)promedio del período 1991-1996.

(b)sólo segundo semestre.

El excedente productivo, tanto en sardina común como en anchoveta, es positivo en primavera-verano, mientras que a partir de febrero-marzo se vuelve negativo. Para 1997 sólo se cuenta con los datos del primer semestre, pero si se impone el promedio 1991-1996 a los meses restantes, el excedente productivo podría alcanzar a 325 mil ton en el caso de la sardina común y a 177,4 mil ton en el caso de la anchoveta (Tabla 2 y 3).

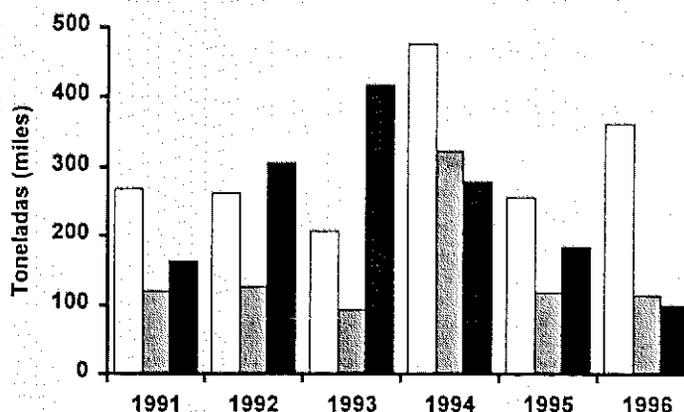
El excedente productivo anual se compara con el desembarque oficial (SERNAP) para la zona centro-sur y con las capturas estimadas por el Instituto de Investigación Pesquera en base a la operación de la flota que opera en la zona centro-sur (Figura 5).

**a) sardina común:**



Dado que el excedente productivo de sardina común se verifica por la contribución del reclutamiento a fines de año, el excedente productivo anual se debe comparar con las capturas del año siguiente. De esta manera, se observa que las capturas de sardina común obtenidas por la flota han sido del orden del excedente productivo en el período de estudio. Debido a que en 1995 el mayor excedente productivo se debe al reclutamiento ocurrido a fines del mismo año, gran parte de dicho excedente fue aprovechado durante 1996, similar situación ocurre con el excedente de 1996 el cual es aprovechado en 1997.

**b) anchoveta:**



**Figura 5.** Desembarque oficial, capturas y excedente productivo de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur de Chile, período 1991-1996.

En el caso de la anchoveta, el excedente productivo anual ha estado por debajo de las capturas. Sin embargo, desde el punto de vista del desembarque oficial éstos han cubierto los excedentes anuales, particularmente en los últimos 3 años (Figura 5). Se destaca que el reclutamiento de anchoveta se modela como un pulso que ocurre en enero, pero en las capturas la abundancia de estos recursos usualmente se advierte a contar de mayo.

### Discusión

La mortalidad por pesca aplicada en la actualidad sobre los recursos sardina común y anchoveta, en el período 1991-1997, es inferior a la tasa de mortalidad por pesca  $F_{0,1}$  y  $F_{40\%SPR(F=0)}$  y sólo en el primer semestre de 1997 la tasa de mortalidad por pesca se acerca a estos puntos biológicos de referencia. Estos resultados sugieren que la intensidad de pesca actual no es intensa y por lo tanto que no hay riesgos de sobreexplotación por reclutamiento. No obstante, la forma de la curva de rendimiento sugiere que la intensidad de pesca está concentrada sobre la fracción juvenil, ya que la mayor intensidad de pesca ocurre en primavera-verano cuando ocurre el reclutamiento. Si la intensidad de pesca se incrementa significativamente, el problema de la sobreexplotación por crecimiento podría generar una disminución en el tamaño del stock desovante, y por lo tanto los efectos de la sobreexplotación por reclutamiento se podrían manifestar.

El análisis de rendimiento y biomasa por recluta indican que las tasas de mortalidad por pesca anuales asociadas a puntos biológicos de referencia no son altas. Esto es un aspecto importante ya que el análisis realizado toma en cuenta tanto la estacionalidad de la intensidad de pesca como la estacionalidad del crecimiento de los individuos. Sparre (1991) analiza y demuestra que cuando no se considera el componente estacional del crecimiento se pueden producir serios sesgos en un análisis de rendimiento por recluta. El sesgo es positivo en términos que las mortalidades por pesca asociadas a puntos biológicos de referencia tienden a ser sobreestimadas generando serias consecuencias para el manejo de los stocks de pelágicos pequeños.

En relación con los excedentes productivos, éstos son positivos durante el segundo semestre de cada año, en ambos recursos. En este contexto, los excedentes anuales (calendario) de sardina

común están mejor relacionados con las capturas anuales del año siguiente. Esto no es de extrañar, ya que el mayor componente de fluctuación del excedente de producción lo constituye el reclutamiento, el cual ocurre a fines de año en el caso de la sardina común (noviembre) pero en enero en el caso de la anchoveta.

La pesquería está operando en niveles muy cercanos a los excedentes productivos, de tal manera que de este punto de vista, la situación de la pesquería de sardina común y anchoveta se puede considerar como de explotación plena.

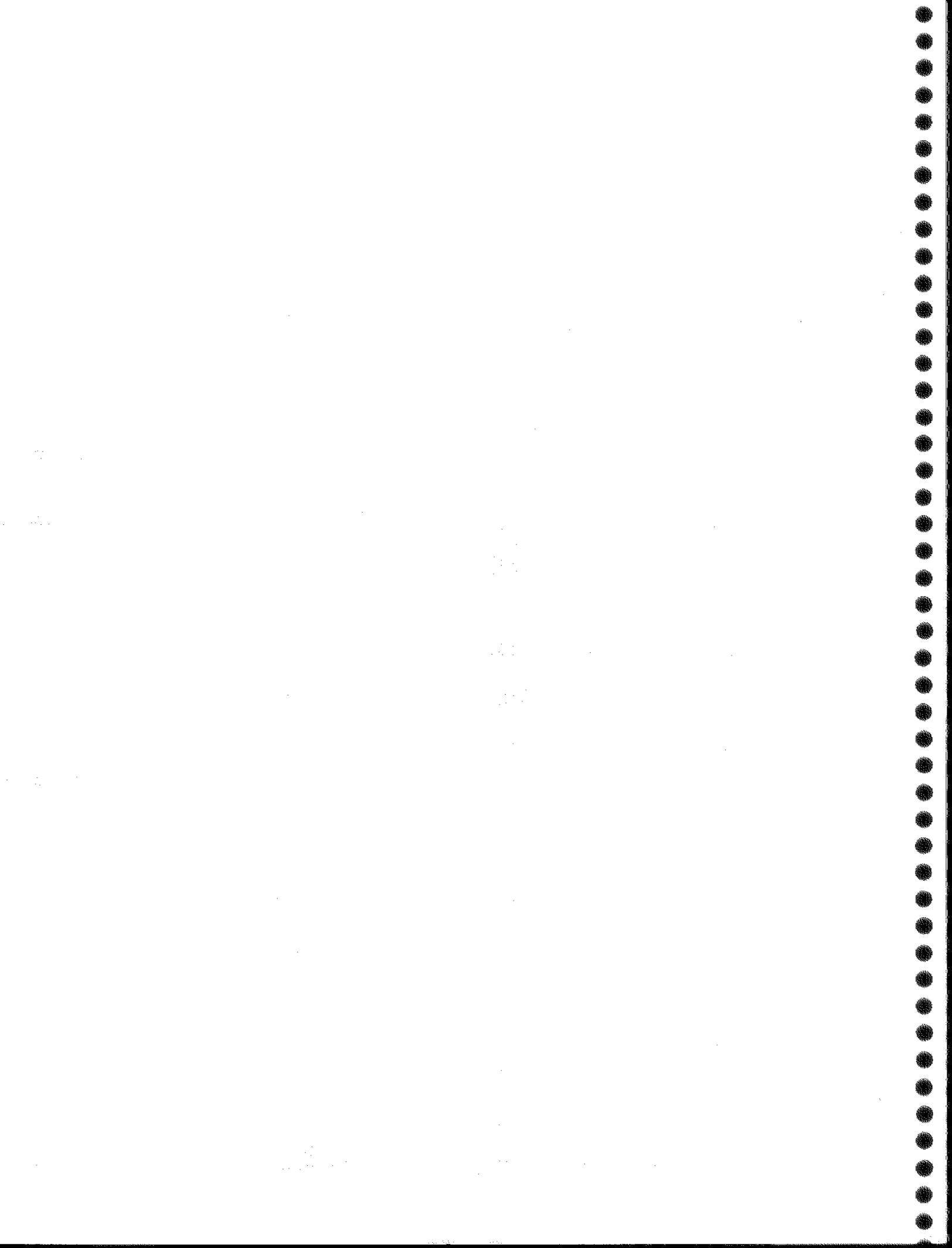
### Referencias

- Caddy, J.F. & R. Mahon. 1995. Reference points for fisheries management. FAO Fisheries Technical Paper. N° 347, Rome, FAO, 83 p.
- Gulland, J.A. & L.K. Boerema. 1973. Scientific advice on catch levels. Fish. Bull. (U.S.) 71:325-335.
- Mace, P.M. 1994. Relationships between common biological reference points used as thresholds and targets of fisheries management strategies. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 51:110-112.
- Mace, P.M. & M.P. Sissenwine. 1993. How much spawning per recruit is enough? In: Risk evaluation and biological reference points for fisheries management. S.J. Smith, J.J. Hunt and D. Rivard (Ed.s). Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 120:101-118.
- Ricker, W.E. 1975. Computations and interpretations of biologist statistics of fish populations. Bull. Fish. Res. Bd. Canada (191): 382 p.
- Rivard, D. & J.-J. Maguire. 1993. Reference points for fisheries management: the eastern Canadian experience. In: Risk evaluation and biological reference points for fisheries management. S.J. Smith, J.J. Hunt and D. Rivard (Ed.s). Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 120:31-57.
- Sparre, P. 1991. Estimation of yield per recruit when growth and fishing mortality oscillate seasonally. Fishbyte 9(1):40-44.
- Sparre, P. & S.C. Venema. 1995. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Part Y. Manual. FAO Documento Técnico de Pesca. N° 306.1, Rev. 1., 440 pp.

Troadec, J.-P., 1983. Introducción a la ordenación pesquera: su importancia, dificultades y métodos principales. FAO, Doc. Téc. Pesca, (224):60 p.

## CAPITULO 4:

*Síntesis y perspectivas de investigación para la evaluación de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur.*



# **Síntesis y perspectivas de investigación para la evaluación de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur**

**Luis Cubillos**

## **Presentación**

El objetivo de esta sección es realizar una síntesis de los capítulos previamente expuestos, tratando de obtener una conclusión así como también señalar las perspectivas y los lineamientos de investigación necesarios para avanzar en el conocimiento de la dinámica poblacional de la sardina común y anchoveta de la zona centro-sur de Chile.

### **Revisión y lineamientos de algunos aspectos relevantes**

#### **a) Cambios interespecíficos en la abundancia relativa.**

La sardina común y anchoveta habitan conjuntamente un ecosistema que se caracteriza por la estacionalidad de los eventos de surgencia costera, los cuales comienzan desde fines de septiembre hasta fines de marzo, aproximadamente (Arcos & Navarro, 1986). Ambas especies ocupan una posición trófica similar, exhiben un patrón de crecimiento corporal sin grandes cambios interanuales, y la época reproductiva es relativamente bien definida que tiende a presentarse a fines del invierno. A su vez, la tasa de mortalidad natural es similar en ambos recursos. Estas características similares, sin embargo, no permiten aseverar que los cambios o las respuestas de la abundancia sean similares. En efecto, los cambios en la abundancia relativa indican una correlación negativa entre la abundancia de sardina común y de anchoveta (Figura 1), el coeficiente de correlación y de regresión son bajos, pero significativos al nivel del 95% de confianza (n=91).

Los cambios opuestos en la abundancia de ambas especies puede estar relacionada con varias causas (MacCall, 1983), entre ellas una probable competencia interespecífica. No obstante, se debe tener presente que la hipótesis de competencia es difícil de demostrar, sobre todo debido a la corta serie de tiempo que aquí se analiza. En todo caso se debe tener presente que la hipótesis de competencia ha sido planteada más de una vez cuando se analiza la sustitución recíproca en el rol de especies dominante del llamado complejo "sardina-anchoveta" (Daan, 1980; Pauly, 1987; Serra & Tsukayama, 1988), así como para otras especies de clupeiformes (e.g. Cury & Fontana, 1988).

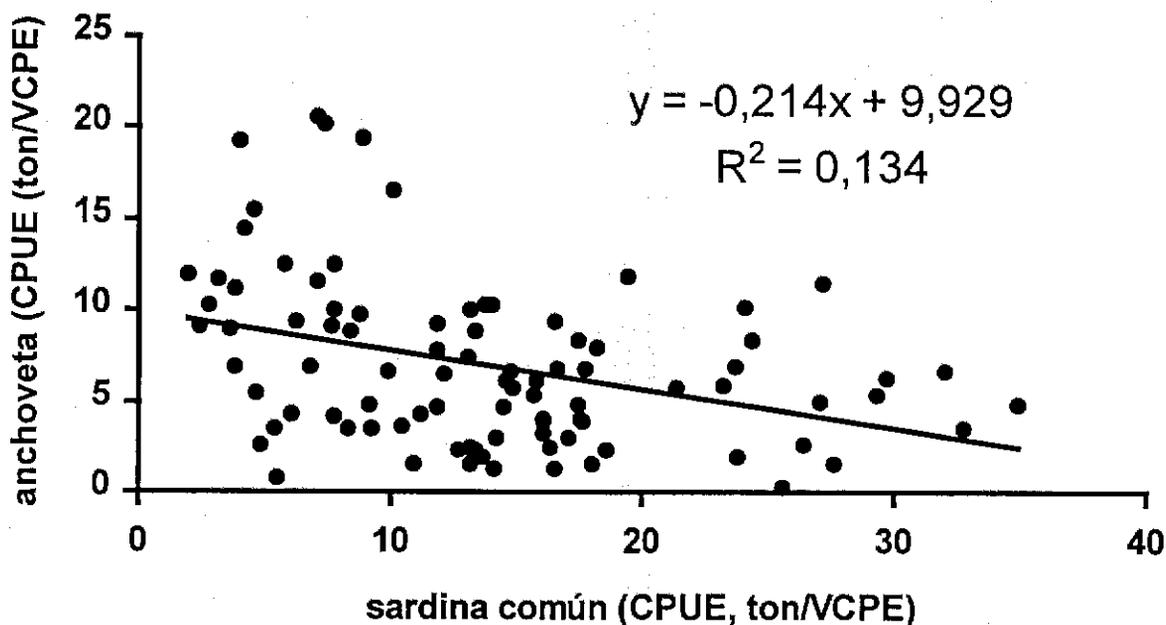


Figura 1. Relación entre la abundancia relativa de anchoveta y sardina común (1990-1997).

Se destaca que en la evolución histórica de las capturas anuales de estos recursos, no se observa un reemplazo de una especie por otra. En promedio, la capturas de sardina común son mayores que las de anchoveta; a su vez, en una escala de tiempo mayor, ambos recursos tienden a covariar lo que implica que la abundancia de ambas especies está supeditada a un problema de régimen, i.e. condiciones ambientales favorables que se mantienen interanualmente por un período relativamente largo de tiempo. Estos aspectos sugieren que la abundancia del stock de

sardina está mejor adaptado a las características del ambiente de la zona centro-sur de Chile, mientras que la anchoveta exhibe un rol más oportunista.

Respalda lo anterior, tres aspectos: a) la sardina común es una especie endémica; b) la dominancia de huevos y larvas de anchoveta en el ictiopláncton (Sepúlveda, 1990; Arcos *et al.*, 1996); c) la mayor abundancia de sardina común (este estudio).

#### **b) Regularidad en el crecimiento estacional**

El crecimiento es una de las variables más significativas en el análisis de pesquerías. En este estudio se demuestra que los individuos de sardina común y anchoveta exhiben un crecimiento que presenta oscilación estacional en la tasa de crecimiento, que se caracteriza por una reducción durante la época invernal. Dicha reducción es más pronunciada en la sardina común, muy cercana al límite máximo de detención del crecimiento. Este es un aspecto de notable importancia ya que usualmente las pesquerías pelágicas se caracterizan por la variabilidad. La hipótesis sugiere que la regularidad en el crecimiento corporal es consecuencia de la estrategia adaptativa que han tenido estas especies al sistema de surgencia estacional de la zona centro-sur de Chile. Ambos recursos exhiben una mayor actividad reproductiva justo antes del comienzo de la primavera (período de surgencias), así juveniles y adultos desovados pueden aprovechar la mayor productividad del sistema durante la época estival, particularmente la sardina común que presenta tasas de crecimiento más altas y cuyo ciclo de vida está mejor conectado con el sistema.

En efecto, la anchoveta es una especie de origen subtropical, y el stock de la zona centro-sur de Chile es el distribución más austral. De esta manera, los individuos el stock de la zona centro-sur de Chile exhibe una menor tasa de crecimiento que su cotraparte de aguas subtropicales (Perú y norte de Chile). Asimismo, el crecimiento exhibe una mayor variabilidad interanual que la sardina común.

La regularidad del crecimiento estacional es una característica notable e indica que ambos recursos son eficientes en el uso del sistema o están adaptados a la estacionalidad del sistema.

Sin embargo, es deseable validar el crecimiento estacional a través de la lectura directa de edades en sus otolitos. Para ello, es necesario utilizar la técnica de incrementos diarios ya que la lectura de annulis en los otolitos no resuelve el problema.

#### **d) Rol de las cohortes secundarias**

En este estudio queda en evidencia la presencia de cohortes secundarias en el stock de sardina común, las cuales acusan su presencia en las capturas de la flota entre los meses de mayo y agosto. La presencia de estas cohortes podría ser el resultado de algunas ventanas ambientales que promueven la sobrevivencia de huevos que han sido liberados fuera de la principal estación reproductiva. Se debe recordar que la sardina común es un desovante parcial y siempre existe una fracción de hembras que está desovando a lo largo del año.

Por otra parte, en algunos años ocurre un desove secundario, por lo general a fines del verano (marzo-abril). La existencia de esta época secundaria se podría deber a que una fracción de los individuos de algunas clases anuales puedan alcanzar tempranamente la talla de primera madurez sexual, desencadenando el desove. Estos ejemplares se encuentran desovados y en recuperación entre abril y mayo, y se deberían acoplar más tarde al grueso de los ejemplares de la clase anual que comienzan a alcanzar la talla de primera madurez a partir de junio, en concomitancia con la actividad reproductiva principal.

Desde el punto de vista de la dinámica del stock de sardina común, la evaluación indirecta indica que la abundancia de las cohortes secundarias es baja y no tienen una influencia en los cambios de la abundancia del stock, los cuales están siendo dominados por los cambios de la abundancia de las cohortes que provienen de la estación reproductiva principal y que se recluta precisamente entre noviembre y diciembre de cada año.

#### **e) Información independiente de la pesquería**

La evaluación indirecta que se realizó en este estudio está controlada por los cambios exhibidos en la captura por unidad de esfuerzo y en el esfuerzo de pesca, propiamente tal. Si bien es cierto

el procedimiento de estimación es objetivo, las tendencias en la biomasa será un reflejo de los cambios exhibidos en el rendimiento pesquero. Esta es una desventaja que debe ser resuelta. En efecto, cómo estar seguros que los rendimientos de la flota reflejan la abundancia del recurso, particularmente cuando la flota pesquera se dirige a zonas de pesca que tienen una mayor probabilidad de éxito de captura que otras. Mantener un programa de vigilancia independiente de la pesquería es un requisito necesario para validar los cambios en la abundancia de los stocks, no sólo en lo que respecta a los cambios relativos de la abundancia sino también en la estructura o composición de dicha abundancia (estructura de tallas o edades).

#### e) Pesquería versus consumo por depredadores naturales

La evaluación indirecta implementada en este estudio asigna un valor constante a las pérdidas por mortalidad natural. Este es un supuesto demasiado fuerte, especialmente para la sardina común y anchoveta que se sabe ocupa los niveles inferiores de la trama trófica. Para lograr mejores estimaciones es altamente necesario iniciar a la brevedad los estudios necesarios que permitan cuantificar el impacto que tienen algunos predadores, a través del consumo, sobre los cambios de la abundancia de sardina común y anchoveta. Algunas estimaciones sugieren evaluar la importancia que tiene la merluza común (*Merluccius gayi*), en cuyos estómagos normalmente la sardina común y la anchoveta aparecen como ítem presa.

Una vez estimado el consumo de sardina y anchoveta por los principales depredadores, se podría obtener un modelo que permita cuantificar la abundancia y biomasa de sardina común, liberando el supuesto de mortalidad natural constante.

#### f) Relación recurso-medio ambiente

La variabilidad ambiental se manifiesta en diversas escalas espaciales y temporales, y es una de las causas que provoca cambios en las poblaciones ícticas sometidas a la explotación pesquera, y en muchos casos explica las marcadas fluctuaciones que han exhibido algunos stocks a nivel mundial (MacCall, 1983). En Chile, algunos estudios han sido abordados al respecto, particularmente Fonseca et al. (1986) y Yañez et al. (1990, 1992). Fonseca et al. (1986) analizan

los cambios en la abundancia relativa de sardina común y anchoveta con los cambios en la temperatura superficial del mar, encontrando que primaveras cálidas se asocian con una mayor abundancia de estos recursos al año siguiente, excepto primaveras excesivamente cálidas asociadas con la presencia del evento El Niño. Yañez et al. (1990, 1992) demuestran que al incorporar la variabilidad ambiental a un modelo de producción, se mejora significativamente el poder predictivo del modelo y explica de mejor manera las consecuencias que determinan los cambios de la abundancia y la interacción con el esfuerzo de pesca.

La variabilidad ambiental no ha sido tomada en cuenta en este estudio, y es un aspecto que no debe ser descuidado, ya que cualquier anomalía oceanográfica y climática podría alterar las respuestas de los stocks a través de cambios en la disponibilidad y en los patrones de distribución, como también en la sobrevivencia de huevos y larvas.

#### **Sobre el método de evaluación indirecta implementado**

Los evaluadores de stocks y los biólogos pesqueros no están muy acostumbrados a la escala mensual de estimación de la abundancia, ya que las metodologías convencionales y el desarrollo de los modelos de evaluación toman en cuenta la escala anual. En este estudio, se han expuesto las desventajas de dicha aproximación para la evaluación de la abundancia con métodos edad-estructurados en recursos de corto ciclo de vida, y con procesos que son notablemente importantes dentro del ciclo anual, tal como la distribución y concentración del esfuerzo, la época de reclutamiento y la estacionalidad del crecimiento.

Como resultado del proceso de estimación, las tasas de mortalidad por pesca anuales son bajas y están mejor relacionadas con el esfuerzo de pesca estándar, particularmente en el caso de la sardina común que es la especie objetivo en esta pesquería. Esta situación no se debe, en teoría, a un problema de sobreestimación de la abundancia sino más bien se piensa es debido a la distribución de la mortalidad por pesca dentro del ciclo anual.

El modelo considera la dinámica del stock como un pulso de reclutas, el cual va siendo progresivamente removido por la pesca y por la mortalidad natural. Este es un supuesto necesario

para reconstruir la abundancia de las clases anuales. No obstante, una aproximación más cercana a la realidad podría considerar que dentro del ciclo anual el proceso de reclutamiento es continuo, con una mayor frecuencia en determinados meses. Esta es una aproximación fácil de implementar si fuera posible contar con la edad en meses de los individuos que están siendo capturados, o bien modelar la estructura de tamaños de las capturas. Este es un paso que debe ser abordado e implementado para contar con mejores estimaciones de la abundancia de estos recursos pesqueros.

### Referencias

- Arcos, D.F. & N. Navarro. 1986. Análisis de un índice de surgencia para la zona de Talcahuano, Chile (Lat. 37°S). *Investigación Pesquera (Chile)*, 33:91-98.
- Arcos, D.F., S. Núñez & A. Acuña. 1996. Variabilidad de pequeña escala en la zona nerítica del sistema de surgencia de Talcahuano (Chile central): Identificación y dinámica de áreas de retención larval. *Gayana Oceanol.*, 4(1):21-58.
- Cury, P. y A. Fontana. 1988. Compétition et stratégies démographiques comparées de deux espèces de sardinelles (*Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*) des côtes ouest-africaines. *Aquat. Living Resour.*, 1:165-180.
- Daan, N. 1980. A review of replacement of depleted stocks by other species and the mechanisms underlying such replacement. *Rapp. P-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer.*, 177:405-421.
- Fonseca, T.; E. Yáñez y O. Barra. 1986. Relación entre la temperatura superficial del mar y capturas comerciales en el área de Talcahuano (1965-1976). *In: "La Pesca en Chile"*, P. Arana (Ed.), Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso, pp. 243-248.
- MacCall, A. D. 1983. Informe del grupo de trabajo sobre investigación y monitoreo de recursos. En: *Informes de la consulta de expertos para examinar los cambios en la abundancia y composición por especies de recursos de peces neríticos*. FAO Inf. Pesca, (291) 1: 9-42.
- Pauly, D. 1987. Managing the Peruvian upwelling ecosystem: a synthesis. *In: "The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of changes"*, D. Pauly e I. Tsukayama (Eds.), ICLARM Stud. and Rev. 15, p. 325-342.
- Sepúlveda, A. 1990. Variabilidad temporal del ictioplancton en un área de surgencia costera de Chile central: Procesos ambientales y biológicos asociados. Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias con mención en Oceanografía. Universidad de Concepción. 81 p.
- Serra, J. y I. Tsukayama. 1988. Sinópsis de datos biológicos y pesqueros de la sardina, *Sardinops sagax*, en el Pacífico suroriental. FAO. Sinop. Pesca (13) Rev. 1:60 p.

- Yáñez, E.; M.A. Barbieri y A. Montecinos. 1990. Relaciones entre las variaciones del medio ambiente y las fluctuaciones de los principales recursos pelágicos explotados en la zona de Talcahuano, Chile. In: *Perspectivas de la Actividad Pesquera en Chile*, M.A. Barbieri (De.), Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso, pp. 49-62.
- Yáñez, E.; M.A. Barbieri y L. Santillán. 1992. Long-term environmental variability and pelagic fisheries in Talcahuano, Chile. In: *"The Benguela Trophic Functioning"*, A.I.L. Payne, K.H. Mann y R. Hilborn (Eds.), S. Afr. J. Mar. Sci. 12:175-188.

## ANEXO

*Elaboración del modelo de evaluación en lenguaje computacional,  
debidamente validado y estadísticamente fundado*

## **Elaboración del modelo de evaluación en lenguaje computacional**

**Luis Cubillos S.**

### **Presentación**

En este anexo se presenta los aspectos relativos al programa computacional que contiene el modelo de evaluación de stock, y que será adjuntado con el material magnético que contiene las bases de datos.

En la Oferta Técnica o informe complementario se ofreció implementar el modelo de evaluación en lenguaje QBASIC 4.5 de Microsoft. Sin embargo, debido a que es necesario contar con el programa QBASIC para leer el programa se ha preferido implementar el modelo de evaluación con las nuevas características de AD Model Builder© de la Otter Research Ltda (otter@island.net), la nueva herramienta para uso en modelaje no lineal y en estadística. Las características de AD Model Builder la hace superior a cualquier otro método de optimización no-lineal conocido. Además, cuenta con la facilidad y flexibilidad necesaria para construir diferentes modelos, y es capaz de generar una versión compilada en lenguaje de maquina.

AD Model Builder© trabaja con un template que se utiliza para indicar cómo serán leídos los datos, cómo éstos van a ser procesados y cual es la función objetivo que será evaluada. La compilación y evaluación del modelo es automática y permite obtener la desviación estándar de todos los parámetros de interés en el análisis.

Aquí sólo se describirá el template para sardina común, ya que para la anchoveta es básicamente el mismo código, pero se diferencia en la etapa de inicialización.

El template para sardina común es el siguiente:

```
//Este código intenta estimar la abundancia y biomasa mensual
//de un recurso de corto ciclo de vida, la sardina (Strangomera bentincki).
//La idea es ejecutar una reconstrucción de la abundancia de cada clase anual
//a través de un VPA tradicional. La abundancia terminal sobreviviente de las
clases anuales es estimada
//sintonizando los resultados del modelo utilizando un criterio de mínimos
cuadrados, i.e.
//SSQ = sum (L1*(log(cpue.obs)-log(cpue.est))**2+L2*(log(effort.obs)-
log(effort.est))**2)

DATA_SECTION
  init_int nmeses //numero de meses
  init_vector lambda(1,2) //lambdas para la cpue and effort
  init_int nca //numero de clases anuales
  init_ivector mes_recl(1,nca) //Mes en que reclutan las clases anuales
  init_ivector mes_surv(1,nca) //último mes de las clases anuales
(sobrevivencia terminal)
  init_matrix obs_captura(1,nmeses,1,nca) //captura por mes y clases anuales
  init_matrix avg_peso(1,nmeses,1,nca) //peso por mes y clases anuales (gr)

  //Conversión del peso a Kg
  !! avg_peso/=1000.; // Peso en Kg....
  init_matrix data_aux(1,nmeses,1,2) //Lee la matriz de esfuerzo y cpue
  int finmes
  int indterm; // variable auxiliar a ser utilizada más adelante
  int indrec; // " " " " " " " "
  vector effort(1,nmeses)
  vector cpue(1,nmeses)

LOCAL_CALCS
  //agrega un mes para estimar la abundancia terminal
  finmes=nmeses+1;
  cout<< mes_recl<<endl<<finmes<<endl; //Salida para debugging (para estar
seguros que los datos son leídos OK)
END_CALCS

INITIALIZATION_SECTION
  //Abundancia promedio terminal de las clases anuales
  log_avg_Nterm 15.75
  M .08 //Mortalidad natural mensual para sardina
  log_q_effort -10.8 //capturabilidad para el esfuerzo
  log_q_cpue -10.8 //catchability para la cpue

PARAMETER_SECTION
  init_number log_q_effort(3)
  init_number log_q_cpue(3)
  init_bounded_number log_avg_Nterm(10,18,1)
  init_number M(-1)
  init_bounded_dev_vector Nterm_dev(1,nca,-5,5,2)
  vector npoptot(1,nmeses) //Población en número total por mes
  vector biomt(1,nmeses) //Biomasa total por mes
  vector pred_cpue(1,nmeses)
```

```

vector pred_effort(1,nmeses)
vector avg_F(1,nmeses) //Mortalidad por pesca promedio por mes
matrix npop(1,finmes,1,nca)
matrix biom(1,nmeses,1,nca)
matrix F(1,nmeses,1,nca)
number cpue_like
number effort_like
objective_function_value f

PRELIMINARY_CALCS_SECTION
effort=column(data_aux,1);
cpue=column(data_aux,2);

PROCEDURE_SECTION
get_cohort();
get_mortality();
evaluate_the_objective_function();

FUNCTION get_cohort
//Estimación de la abundancia terminal de las clases anuales
for (int i=1;i<=nca;i++)
{
    indterm=mes_surv(i);
    npop(indterm,i)=mfexp(log_avg_Nterm + Nterm_dev(i));
}
//Ahora calcula la matriz entera de abundancia (hacia atrás)
indterm=0;
for (int i=1;i<=nca;i++)
{
    indterm=mes_surv(i)-1;
    indrec=mes_recl(i);
    for (int j=indterm;j>=indrec;j--)
    {
        //MacCall (1986):
        //cout<<indrec<<" "<<indterm<<" "<<j<<" "<<i<<" "<<npop(j,i)<<endl;
        //debugging
        npop(j,i)=npop(j+1,i)*mfexp(M) + obs_captura(j,i)*M/(1-mfexp(-1.*M));
    }
}
for (int i=1;i<=nca;i++)
{
    for (int j=1; j<=nmeses;j++)
    {
        biom(j,i)=npop(j,i)*avg_peso(j,i); //matriz de biomasa
    }
}
for (int j=1;j<=nmeses;j++)
{
    npoptot(j)=0;
    biomtot(j)=0;
    for (int i=1;i<=nca;i++)
    {
        npoptot(j)+=npop(j,i);
        biomtot(j)+=biom(j,i);
    }
    pred_cpue(j)=mfexp(log_q_cpue)*biomtot(j);
}

```

```

FUNCTION get_mortality
  indterm=0;
  indrec=0;
  for (int i=1;i<=nca;i++)
  {
    indterm=mes_surv(i)-1;
    indrec=mes_recl(i);
    for (int j=indrec;j<=indterm;j++)
    {
      F(j,i)=log(npop(j,i)/npop(j+1,i))-M;
    }
  }

  for (int j=1;j<=nmeses;j++)
  {
    for (int i=1;i<=nca;i++)
    {
      avg_F(j)+=F(j,i);
    }
    avg_F(j)=avg_F(j)/3;
    pred_effort(j)=avg_F(j)/(mfexp(log_q_effort));
  }

FUNCTION evaluate_the_objective_function
  //ajuste a los indices log-normal
  cpue_like=norm2(log(cpue+.01)-log(pred_cpue+.01));
  effort_like=norm2(log(effort+.01)-log(pred_effort+.01));
  f=lambda(1)*cpue_like + lambda(2)*effort_like;

REPORT_SECTION
  report << "Numero de individuos " << endl;
  report << npop << endl;
  report << "Numero total por mes " << endl;
  report << npoptot << endl;
  report << "Biomasa total" << endl;
  report << biomtот << endl;
  report << "Mortalidad por pesca (F) " << endl;
  report << F << endl;
  report << "Mortalidad por pesca mensual" << endl;
  report << avg_F << endl;
  report << "CPUE observado" << endl;
  report << cpue << endl;
  report << "CPUE predicha " << endl;
  report << pred_cpue << endl;
  report << "Esfuerzo observado" << endl;
  report << effort << endl;
  report << "Esfuerzo predicho" << endl;
  report << pred_effort << endl;
  report << "like_cpue" << " " << cpue_like << endl;
  report << "like_effort" << " " << effort_like << endl;
  report << "Función Objetivo" << f << endl;

```

INSTITUTO DE INVESTIGACION PESQUERA

El ordenamiento del archivo de datos es el siguiente:

```

# Datos para la estimacion mensual de la biomasa sardina comun
#Numero de meses
85
# Lambdas para cpue y esfuerzo de pesca
.9 0.1
#Number of annual classes
9
#Meses de reclutamiento de cada clase anual
1 1 5 17 39 41 53 65 77
#Mes final de las clases anuales en la serie mensual
7 19 33 44 52 59 86 86 86
#matriz de captura (número en miles) (meses por clases anuales)
223671 9034 0 0 0 0 0 0 0
359040 0 0 0 0 0 0 0 0
181497 122768 0 0 0 0 0 0 0
351057 0 0 0 0 0 0 0 0
338542 149862 0 0 0 0 0 0 0
0 1038988 1855428 0 0 0 0 0 0
0 1157509 2705960 0 0 0 0 0 0
0 543832 5420551 0 0 0 0 0 0
0 267936 8029346 0 0 0 0 0 0
0 456728 4121321 0 0 0 0 0 0
0 0 793797 0 0 0 0 0 0
0 22674 874297 0 0 0 0 0 0
0 0 562147 0 0 0 0 0 0
0 286892 411917 0 0 0 0 0 0
0 0 642217 0 0 0 0 0 0
0 116171 1440868 0 0 0 0 0 0
0 100639 1281321 416746 0 0 0 0 0
0 169156 822836 5243030 0 0 0 0 0
0 0 1748844 15727359 0 0 0 0 0
0 0 0 8706780 0 0 0 0 0
0 0 0 5732935 0 0 0 0 0
0 0 0 2090294 0 0 0 0 0
0 0 82030 286596 0 0 0 0 0
0 0 5814 30532 0 0 0 0 0
0 0 326038 176247 0 0 0 0 0
0 0 89755 121076 0 0 0 0 0
0 0 115138 0 0 0 0 0 0
0 0 100917 15967 0 0 0 0 0
0 0 0 105936 3861702 0 0 0 0
0 0 0 0 7577681 0 0 0 0
0 0 0 0 4339392 0 0 0 0
0 0 0 0 4753715 0 0 0 0
0 0 0 95749 1360062 0 0 0 0
0 0 0 157470 602154 0 0 0 0
0 0 0 13526 414793 0 0 0 0
0 0 0 2785 31023 0 0 0 0
0 0 0 2703 95960 0 0 0 0
0 0 0 0 66804 0 0 0 0
0 0 0 6368 50107 0 0 0 0
0 0 0 0 139250 255226 0 0 0
0 0 0 0 0 8519057 0 0 0
    
```

INSTITUTO DE INVESTIGACION PESQUERA

0	0	0	0	0	7302427	0	0	0
0	0	0	0	305729	6477703	0	0	0
0	0	0	0	15313	6037363	0	0	0
0	0	0	0	30811	2201880	0	0	0
0	0	0	0	31938	1344699	0	0	0
0	0	0	0	0	331805	0	0	0
0	0	0	0	0	750497	0	0	0
0	0	0	0	0	294634	0	0	0
0	0	0	0	0	447639	0	0	0
0	0	0	0	0	140743	0	0	0
0	0	0	0	0	765320	0	0	0
0	0	0	0	0	748670	1073438	0	0
0	0	0	0	0	136606	4505126	0	0
0	0	0	0	0	32034	1646025	0	0
0	0	0	0	0	295714	254708	0	0
0	0	0	0	0	212221	66845	0	0
0	0	0	0	0	0	143975	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	13663	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1499	0
0	0	0	0	0	0	0	8787835	0
0	0	0	0	0	0	0	10086050	0
0	0	0	0	0	0	848795	12764603	0
0	0	0	0	0	0	0	8695638	0
0	0	0	0	0	0	167151	2398878	0
0	0	0	0	0	0	179264	1087687	0
0	0	0	0	0	0	41558	1147211	0
0	0	0	0	0	0	236613	1092252	0
0	0	0	0	0	0	164604	524976	0
0	0	0	0	0	0	820411	814916	0
0	0	0	0	0	0	311930	2559823	0
0	0	0	0	0	0	76554	743450	296270
0	0	0	0	0	0	0	1118414	16547257
0	0	0	0	0	0	213167	3385318	8191707
0	0	0	0	0	0	242243	1390996	5097603
0	0	0	0	0	0	395599	2575036	3771003
0	0	0	0	0	0	234788	1427902	1165371
0	0	0	0	0	0	254881	1156620	870746
0	0	0	0	0	0	82270	434738	119067
0	0	0	0	0	0	41285	301745	72230
#peso promedio por mes y clases anuales (gr)								
27.2	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28.0	10.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29.4	11.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
31.3	14.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
33.5	16.8	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
35.7	19.8	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
37.5	22.4	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
38.9	24.4	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
39.8	25.8	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
40.2	26.5	8.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
40.4	26.7	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
40.5	26.9	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



INSTITUTO DE INVESTIGACION PESQUERA

0.0	0.0	0.0	0.0	48.3	40.2	26.5	8.7	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	48.4	40.4	26.7	9.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	48.5	40.5	26.9	9.1	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	48.6	40.7	27.2	9.4	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.2	28.0	10.3	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.1	29.4	11.8	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	43.2	31.3	14.1	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.6	33.5	16.8	1.7
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	45.8	35.7	19.8	3.3
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.8	37.5	22.4	5.1
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.6	38.9	24.4	6.8
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.1	39.8	25.8	8.1
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.3	40.2	26.5	8.7
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.4	40.4	26.7	9.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.5	40.5	26.9	9.1
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.6	40.7	27.2	9.4

#matriz de esfuerzo de pesca y CPUE

396.66	13.39
660.09	10.95
421.98	13.65
647.39	14.53
910.37	14.79
1828.65	15.67
2594.75	24.13
2632.81	27.20
3558.39	32.06
1948.63	29.39
598.66	16.08
659.04	13.40
317.17	16.10
769.26	17.08
516.42	14.22
1542.71	16.52
1696.87	17.62
2741.93	18.58
5214.16	26.43
3947.05	17.76
3931.33	14.00
2278.26	11.90
417.83	10.44
30.37	14.16
696.61	13.15
478.99	7.74
294.62	8.32
153.96	16.33
1247.85	13.20
1856.88	11.88
2418.21	11.25
2858.23	13.10
2905.71	5.46
1249.43	11.90
608.80	7.72
125.94	3.84
177.59	7.09
242.35	6.78
282.12	4.69
380.51	6.05

INSTITUTO DE INVESTIGACION PESQUERA

1958.41	9.18
3263.94	9.22
3876.26	14.84
4412.62	13.70
4634.10	7.35
1538.16	8.85
784.70	4.02
661.93	10.14
538.13	6.29
1117.60	4.20
606.00	2.79
1847.58	7.77
1841.29	12.18
2226.39	8.44
2392.33	7.08
2209.34	4.55
911.33	5.75
429.68	3.16
613.64	3.62
188.02	1.99
328.69	2.40
84.50	5.48
492.26	8.74
1321.27	16.11
553.67	12.72
3547.51	27.65
3526.41	34.97
3911.13	32.81
3373.75	24.43
1570.08	23.28
574.58	29.74
856.88	17.53
832.41	23.86
763.13	15.80
2051.42	17.52
3109.34	14.50
989.19	18.01
2280.19	25.63
3593.55	27.13
2819.37	21.40
4653.11	19.41
2978.77	16.58
1978.78	16.65
762.98	17.47
566.21	13.21