



FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA

**INFORMES TECNICOS F I P**

FIP - IT / 2000 - 06

INFORME : EVALUACION DEL STOCK DESOVANTE  
FINAL DE ANCHOVETA EN LA I Y II REGIONES,  
AÑO 2000

UNIDAD : INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO  
EJECUTORA



# INFORME FINAL CORREGIDO

FONDO INVESTIGACION PESQUERA  
FIP Nº 2000-06

## Evaluación del stock desovante de anchoveta en la I y II Regiones, año 2000

Noviembre

2 0 0 1



---

**INFORME FINAL  
CORREGIDO**

---

**FIP 2000-06**

**Evaluación del  
stock desovante  
de anchoveta en  
la I y II Regiones,  
año 2000**

• Noviembre, 2001 •



### **REQUIRENTE**

---

CONSEJO DE INVESTIGACIÓN PESQUERA, CIP  
Presidente del Consejo:  
**Felipe Sandoval Precht**

### **EJECUTOR**

---

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP  
División Evaluación Pesquerías Nacionales:  
Guillermo Moreno Paredes  
Directora Ejecutiva:  
**Juanita Gana Quiroz**

• Noviembre, 2001 •



## **JEFE DE PROYECTO**

---

JORGE OLIVA LÓPEZ

## **AUTORES**

---

JORGE OLIVA L.  
CARLOS MONTENEGRO S.  
MAURICIO BRAUN A.  
OMAR ROJAS J.  
EDUARDO DÍAZ R.  
VÍCTOR CATASTI B.  
HERNÁN REYES R.  
PATRICIO BARRÍA M.  
RODOLFO SERRA B.  
GABRIEL CLARAMUNT Q.  
GUSTAVO HERRERA U.  
PEDRO PIZARRO F.  
JESSICA PIZARRO E.  
RUBÉN ESCRIBANO V.  
MARCELO OLIVA M.

• Noviembre, 2001 •

**PERSONAL PARTICIPANTE**

Nombre	Actividades	Institución
<b>INVESTIGADORES</b>		
JORGE OLIVA L.	Jefe de proyecto	IFOP
VIVIAN VALENZUELA C.	Reproducción, Evaluación	IFOP
OMAR ROJAS J.	Ictioplancton	IFOP
MAURICIO BRAUN A.	Ictioplancton, Evaluación	IFOP
VÍCTOR CATASTI B.	Ictioplancton, Oceanografía	IFOP
HERNÁN REYES R.	Ictioplancton, Oceanografía	IFOP
PATRICIO BARRÍA M.	Oceanografía	IFOP
CARLOS MONTENEGRO S.	Evaluación	IFOP
VÍCTOR BAROS P.	Evaluación	IFOP
EDUARDO DÍAZ R.	Reproducción	IFOP
NANCY LO	Reproducción	Consultor
RODOLFO SERRA B.	Evaluación	IFOP
ZAIDA YOUNG U.	Evaluación	IFOP
CARLOS MARTÍNEZ F.	Evaluación	IFOP
GABRIEL CLARAMUNT Q.	Reproducción	U. Arturo Prat
GUSTAVO HERRERA U.	Reproducción, Evaluación	U. Arturo Prat
JESSICA PIZARRO E.	Reproducción	U. Arturo Prat
YASNA MUÑOZ G.	Ictioplancton	U. Arturo Prat
RUBÉN ESCRIBANO V.	Reproducción	U. Antofagasta
MARCELO OLIVA M.	Evaluación	U. Antofagasta
MARCELO OLIVA M.	Evaluación	U. Antofagasta
<b>TÉCNICOS DE LABORATORIO</b>		
HERNÁN MILES U.	Ictioplancton	IFOP
ADOLFO VARGAS R.	Reproducción	IFOP
ALBERTO CAMPOS V.	Reproducción	IFOP
GUILLERMO GALINDO P.	Reproducción	IFOP
ALEJANDRA GÓMEZ A.	Ictioplancton	IFOP
PATRICIO GALVEZ G.	Ictioplancton	IFOP
GLORIA ARRIAGADA B.	Ictioplancton	IFOP
JOSÉ TOLOZA	Reproducción	U. Arturo Prat
JOSÉ SÁNCHEZ	Reproducción, Ictioplancton	U. Arturo Prat
SOLEDAD DE LA PIEDRA	Ictioplancton	U. Arturo Prat
CLAUDIO FLORES	Ictioplancton	U. Arturo Prat
CLAUDIO FLORES	Reproducción	U. Arturo Prat
<b>TÉCNICOS DE MUESTREO</b>		
JUAN BELLET U.	Reproducción	IFOP
PABLO SANHUEZA D.	Reproducción	IFOP
LUIS GARCÍA M.	Reproducción	IFOP
JUAN ALMAZABAL G.	Reproducción	IFOP
JUAN RÍOS B.	Reproducción	IFOP



## RESUMEN EJECUTIVO

En el presente informe se entregan los resultados y conclusiones del proyecto FIP 2000-06 "Evaluación del stock desovante de anchoveta en la I y II Regiones, año 2000".

Los muestreos se efectuaron durante la época de máxima actividad de desove, la cual se manifestó principalmente en el período agosto-octubre.

El área explorada se extendió desde Arica (18° 23' S) hasta Punta Carrizalillo (26° 03' S) desde la costa (1mn) hasta 80 mn.

### **Cruceros de huevos y adultos**

Es importante mencionar que en la presente aplicación del "Método de Producción de Huevos" se intensificó el muestreo de adultos, estrategia que significó un esfuerzo adicional y especial, cumpliéndose de esa manera cabalmente con los objetivos propuestos. La decisión de operar con seis embarcaciones cerqueras comerciales permitió afrontar los cambios que se generaron en el ecosistema, caracterizado por un desplazamiento oceánico de la anchoveta.

En relación al muestreo de huevos, es importante mencionar que en la presente aplicación del "Método de Producción de Huevos", además de la red vertical CaIVET (versión PAIROVET), se incorporó experimentalmente por segunda vez en Chile el uso de un muestreador continuo de huevos "Bomba CUFES", importado de USA, el cual recolectó huevos en forma simultánea a la red, obteniéndose dos muestreos independientes entre sí.



La recolección de huevos y adultos se efectuó en forma simultánea, empleándose en el caso de los huevos el B/C "Carlos Porter", nave que operó entre el 12 de agosto y el 5 de septiembre de 2000, realizando 60 transectas con 502 estaciones, hasta 60 mn de la costa. La recolección de adultos se realizó entre el 12 de agosto y el 2 de septiembre de 2000, con la participación de seis embarcaciones cerqueras (PAM "Trueno", "Relámpago", "Salmón", "Mero", "Marlin" y "Dorado") de la Empresa Pesquera CORPESCA. Se efectuaron 92 lances en total, de los cuales 60 fueron efectivos (con captura de anchoveta).

### **Módulo huevos**

El "track" de muestreo empleado para la prospección de huevos de anchoveta estuvo configurado por 502 estaciones dispuestas en 60 transectas perpendiculares a la costa, cubriendo un área total de 19.539 mn<sup>2</sup>. Se registraron 212 estaciones positivas (42%), con un total de 10.473 huevos, lo que indica una situación típica de actividad reproductiva, alcanzándose en promedio 49 huevos por estación positiva.

La distribución espacial de los huevos señaló que el desove ocupó el rango latitudinal comprendido entre Taltal (25° 30' S) y Arica (18° 24' S) y longitudinalmente se extendió desde la costa hasta 60 mn.

Las características de la distribución y abundancia de huevos de la anchoveta configuró las siguientes zonas de mayor densidad de huevos: al oeste de Pta. Cavancha, frente a Cta. Guanillos del Norte, entre Pta. Algodonales y Cta. Paquica y frente a Pta. Tetas.

El análisis de los huevos de sardina indicó la presencia de sólo 8 estaciones positivas con huevos, con una dominancia numérica de 0,7 respecto del total de huevos, situación que caracteriza una actividad reproductiva muy disminuida.



En términos generales, las condiciones oceanográficas observadas en la zona norte de Chile durante el crucero de agosto-septiembre 2000 se presentaron normales.

La producción diaria total de huevos (P) (criterio estructural o límite inferior), estimada a partir de los valores de  $P_0$ , tuvo un valor promedio de  $2,94 * 10^{13}$  huevos/día, con una varianza de  $1,746 * 10^{25}$  y un coeficiente de variación de 0,14.

### **Módulo adultos**

El plan de muestreo de adultos, de acuerdo a la Propuesta Técnica, indicaba la realización de 40 lances, lo cual se cumplió y aumentó a 60 lances positivos, los que se concentraron preferentemente en zonas alejadas de la costa; de Arica a Pisagua entre los 40 y 70 mn; de Mejillones del norte a Chucumata entre las 20 y 50 mn. En zonas costeras, frente al puerto de Arica y de Patache a Tocopilla a 10 mn.

A bordo se midieron 16.538 anchovetas, cuya amplitud de tamaño fluctuó entre los 13 y 19 cm de longitud total, con una moda principal centrada en los 16 cm (34%).

En el año 2000, la anchoveta en la I y II Regiones presentó un prolongado e intenso proceso reproductivo, con un reposo sexual disminuido y prácticamente sin atresia ovárica, similar a lo registrado en 1999.

El análisis microscópico indicó que en junio del 2000 se evidenció el inicio de la actividad reproductiva masiva, observándose el pleno proceso de desove entre la primera quincena de julio y primera quincena de octubre del 2000.



La frecuencia de desove, calculada con las edades combinadas, fue de 0,19, con una varianza de 0,0002 y un coeficiente de variación de 0,08. Esto indicó que durante el tiempo de la exploración, 19% de las hembras maduras desovaron cada día o que cada hembra madura desovó, en promedio, cada 5,3 días.

La fecundidad parcial promedio en las 60 colecciones varió de 5.540 a 27.805 ovocitos por hembra. Se utilizó el modelo de tipo lineal para los cálculos de fecundidad media poblacional. La fecundidad relativa promedio fue de 555 ovocitos por gramo de hembra.

La fecundidad parcial promedio poblacional, estimada para todos los lances (fecundidad modal), fue de 16.318 ovocitos, con un coeficiente de variación de 0,029.

La proporción de hembras en peso para el total de lances analizados, presentó una amplitud entre 0,20 y 0,87, con un promedio de 0,50 y un coeficiente de variación de 0,044.

El peso promedio del cuerpo de las 30 primeras hembras maduras, obtenidas de 60 lances, fluctuó de 27,1 a 38,0 gramos. El peso promedio de hembras maduras en el área investigada fue de 30,9 gramos, con un coeficiente de variación de 0,010.

El análisis de los parámetros de adultos indicó que a un igual peso promedio de hembra madura, la fecundidad registrada en el año 2000 fue mayor a la reportada en las anteriores aplicaciones del MPH en el país. Situación similar ocurrió con el peso promedio de hembra madura y la frecuencia de desove, valores que se incrementaron respecto a lo registrado en los anteriores estudios MPH.



## **Biomasa desovante**

La biomasa del stock desovante de la anchoveta en la I y II Regiones, estimada a través de la aplicación del "Método de Producción de Huevos", fue de 587.806 toneladas según el criterio estructural o límite inferior y 754.040 toneladas de acuerdo al criterio funcional o de interpolación.

Se entregan las comparaciones de la biomasa obtenida en la presente aplicación del MPH con las reportadas en estudios anteriores. Para esta actividad se efectuó un esfuerzo importante, aprovechando las capacidades de los equipos de trabajo de ambas instituciones ejecutoras (IFOP y UNAP). Se reportan los principales resultados de la discusión del método, resumidos en una Propuesta Metodológica (anexo) que debiera ser utilizada en los siguientes estudios que apliquen el "Método de Producción de Huevos". Se entregan los principales resultados del re-procesamiento de la información de los años anteriores bajo criterios únicos y estandarizados, entre los cuales destacan los estimados de biomasa desovante.

El "Método de Producción de Huevos" para estimar la biomasa desovante de la anchoveta en la zona norte de Chile ha resultado ser un método robusto, lo que hace recomendable su aplicación.



## ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN EJECUTIVO .....	i
ÍNDICE GENERAL .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xvi
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. OBJETIVOS .....	9
3.1 Objetivo general .....	9
3.2 Objetivos específicos.....	9
4. METODOLOGÍA.....	11
4.1 Area de estudio .....	11
4.2 Monitoreo reproductivo que fundamenta el inicio y término de los cruceros de ictioplancton y adultos.....	11
4.2.1 Plan de muestreo .....	11
4.2.2 Plan operativo .....	12
4.2.3 Análisis macroscópico y microscópico.....	14
4.3 Crucero de huevos .....	15
4.3.1 Metodología para determinar el tamaño esperado de muestra por estaciones totales y positivas .....	15
4.3.2 Diseño de muestreo y crucero .....	16
4.3.3 Muestreo de huevos .....	17



4.3.4	Sistema CUFES (Continuous Underway Fish Egg Sampler) -----	18
4.3.5	Análisis de muestras de huevos-----	18
4.4	Crucero de adultos -----	21
4.4.1	Determinación del tamaño de muestreo a bordo -----	21
4.4.2	Muestreo de la anchoveta en el mar -----	25
4.4.3	Procesamiento de las muestras en el laboratorio histológico -----	26
4.5	Metodología por objetivo específico-----	27
4.5.1	Objetivo específico 3.2.1 -----	27
4.5.2	Objetivo específico 3.2.2 -----	28
4.5.3	Objetivo específico 3.2.3 -----	33
4.5.4	Objetivo específico 3.2.4 -----	38
4.5.5	Objetivo específico 3.2.5 -----	39
4.5.6	Objetivo específico 3.2.6 -----	40
4.5.7	Estandarización de metodologías aplicadas en la evaluación del stock desovante de la anchoveta en base al "Método de Producción de Huevos" -----	43
4.5.8	Objetivo específico 3.2.7 -----	46
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS -----</b>	<b>49</b>
5.1	Monitoreo reproductivo y desarrollo del crucero -----	49
5.2	Objetivo específico 3.2.1 -----	54
5.3	Objetivo específico 3.2.2 -----	55
5.4	Objetivo específico 3.2.3 -----	57
5.5	Objetivo específico 3.2.4 -----	58
5.6	Objetivo específico 3.2.5 -----	59
5.7	Objetivo específico 3.2.6 -----	59
5.8	Condiciones oceanográficas asociadas a crucero de huevos ----	66
5.9	Sistema CUFES (Continuous Underway Fish Egg Sampler) -----	70
5.10	Estandarización de metodologías aplicadas en la evaluación del stock desovante de la anchoveta en base al "Método de Producción de Huevos" -----	71
5.11	Objetivo específico 3.2.7 -----	74



6.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS -----	75
7.	CONCLUSIONES -----	97
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	101

TABLAS

FIGURAS

ANEXOS

- Anexo 1.** Criterios para la aplicación del MPDH en la estimación de la biomasa desovante de anchoveta en la zona norte de Chile
- Anexo 2.** Base de Datos



## INDICE DE TABLAS

- Tabla 1. Caracterización de los estadios ováricos de peces pelágicos (Wallace y Selman (1981); Hunter y Macewicz, (1985)).
- Tabla 2. Clasificación de los estadios de desarrollo embrionario (Santander *et al.*, 1984).
- Tabla 3. Posición geográfica de los lances efectuados durante el crucero de adultos, en la I y II Regiones, agosto-septiembre de 2000.
- Tabla 4. Caracterización histológica de los folículos postovulatorios (FPO) (Hunter y Goldberg (1980), ajustados para *E. ringens*, FIP N° 95-01).
- Tabla 5. Evolución semanal de la actividad reproductiva microscópica de la anchoveta en la I y II Regiones, 2000.
- Tabla 6. Densidad promedio y constancia de huevos de anchoveta. Cruceros MPH invierno 1992, 1995, 1996, 1997, 1999 y 2000.
- Tabla 7. Abundancia promedio y rangos de huevos de anchoveta en invierno de los años 1992, 1995, 1996, 1997, 1999 y 2000.
- Tabla 8. Resultados del análisis de regresión para los modelos ajustados entre la fecundidad parcial con el peso corporal y la longitud total.
- Tabla 9. Número de huevos de anchoveta recolectados con red CalVET y sistema CUFES.
- Tabla 10. Ecuaciones de calibración para huevos de anchoveta recolectados con red CalVET y sistema CUFES.



- Tabla 11. Principales resultados del ajuste del modelo exponencial de sobrevivencia para los huevos de anchoveta, 1992 a 2000.
- Tabla 12. Regresión potencial entre el logaritmo natural de la biomasa desovante estimada por ASP y por MPH.
- Tabla 13. Parámetros calculados a través de la aplicación del MPH para la anchoveta en la I y II Regiones, Chile.
- Tabla 14. Resumen de promedios por lances: Longitud total (LT), peso total (PT), peso total corregido (PTCOR), peso corporal (PC), peso gónada (PG), fecundidad parcial estimada (FPE), hembras maduras (HM), hembras hidratadas (HH), folículos postovulatorios de edad 0, 1 y 2 días. Peso total de hembras corregidas (PTHCOR), hembras (H), peso total de machos corregidos (PTMCOR), machos (M) del muestreo de proporción sexual.
- Tabla 15. Parámetros del "Método de Producción de Huevos", determinado para especies del género *Engraulis*.
- Tabla 16. Resumen de resultados bajo los distintos escenarios. Biomasa original reportada cada año de aplicación. Escenarios 1, 2 y 3 corresponden a los resultados del reanálisis efectuado para cada año.
- Tabla 17. Volúmenes (t) de anchoveta y total de especies en la I y II Regiones, 1999-2000.



## INDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Ubicación de las estaciones bio-oceanográficas. Crucero MPH, agosto-septiembre 2000.
- Figura 2. Distribución geográfica de las estaciones planctónicas positivas y negativas (negro: estaciones positivas, con huevos; rojo: estaciones negativas, sin huevos). Agosto-septiembre 2000.
- Figura 3. Distribución espacial de los lances de pesca efectuados por barcos cerqueros. Crucero MPH, agosto-septiembre 2000.
- Figura 4. Evolución mensual del índice gonadosomático de la anchoveta en la I y II Regiones.
- Figura 5. Evolución semanal de los índices de actividad de desove (IAD) y atresia ovárica (IAO). 05 de junio al 22 de noviembre del 2000.
- Figura 6. Distribución de tamaños de la anchoveta en la I y II Regiones, agosto - septiembre del 2000 (A: por sexo; B: total).
- Figura 7. Distribución y abundancia de huevos de anchoveta. Crucero MPH 2000.
- Figura 8. Distribución y abundancia de huevos de sardina. Crucero MPH 2000.
- Figura 9. Regresión entre la fecundidad parcial y el peso corporal de hembras hidratadas de anchoveta. Agosto-septiembre 2000.
- Figura 10. Regresión entre la fecundidad parcial y la longitud total de hembras hidratadas de la anchoveta. Agosto-septiembre 2000.
- Figura 11. Distribución espacial y temporal de los huevos de anchoveta entre 1992 y 2000.



- Figura 12. Distribución espacial y temporal de la temperatura superficial ( $^{\circ}\text{C}$ ) entre 1992 y 2000.
- Figura 13. Distribución espacial y temporal de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) a 10 m de profundidad entre 1992 y 2000.
- Figura 14. Distribución espacial y temporal de la salinidad superficial entre 1992 y 2000.
- Figura 15. Número de celdas con huevos de anchoveta, respecto a la temperatura a 10 metros de profundidad ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- Figura 16. Número de celdas con huevos de anchoveta, respecto a la salinidad superficial (psu).
- Figura 17. Relaciones entre el promedio de los huevos de anchoveta respecto del gradiente térmico a 10 m de profundidad.
- Figura 18. Relaciones entre el promedio de los huevos de anchoveta respecto del gradiente salino superficial.
- Figura 19. Distribución superficial de a) temperatura y b) anomalía de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ). Crucero MPH, agosto 2000.
- Figura 20. Distribución en el nivel de 50 m de profundidad de a) temperatura y b) diferencia de temperatura entre superficie y 50 m ( $^{\circ}\text{C}$ ). Crucero MPH, agosto 2000.
- Figura 21. Distribución vertical de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) en las transectas a) 2 ( $25^{\circ} 50' \text{ S}$ ), b) 11 ( $24^{\circ} 10' \text{ S}$ ), c) 27 ( $22^{\circ} 15' \text{ S}$ ), d) 49 ( $20^{\circ} 15' \text{ S}$ ) y e) 60 ( $18^{\circ} 25' \text{ S}$ ). Crucero MPH, agosto 2000.
- Figura 22. Distribución superficial de a) salinidad y b) anomalía de salinidad (psu). Crucero MPH, agosto 2000.
- Figura 23. Distribución en el nivel de 0 m de profundidad de a) de salinidad y b) diferencia de salinidad entre superficie y 50 m (psu). Crucero MPH, agosto 2000.



- Figura 24. Distribución vertical de salinidad (psu) en las transectas a) 2 (25° 50' S), b) 11 (24° 10' S), c) 27 (22°15' S), d) 49 (20° 15' S) y e) 60 (18° 25' S). Crucero MPH, agosto 2000.
- Figura 25. Zona de prospección de la CUFES. Crucero MPH 435(3)00CP. Agosto – septiembre 2000.
- Figura 26. Distribución y abundancia espacial de huevos de anchoveta (*Engraulis ringens*) mediante el uso del sistema CUFES (huevos/m<sup>3</sup>). Agosto – septiembre 2000.
- Figura 27. Areas de desove (mn<sup>2</sup>) estimadas para anchoveta entre 1992 y 2000, según los criterios definidos: Criterio Estructural o Límite Inferior y Criterio Funcional o de Interpolación.
- Figura 28. Número de huevos por unidad de muestreo en función de su edad para cada año de aplicación del MPH.
- Figura 29. Biomاسas estimadas por el MPH sin eliminación de puntos atípicos en 1999 para los escenarios 1 y 2 y capturas totales del año. Original: Biomasa reportada en el mismo año según el autor del informe final.
- Figura 30. Escenario 3, con eliminación de puntos atípicos en 1999 para los escenarios 1 y 2.
- Figura 31. Relación entre la biomasa estimada según escenario 3 y la captura por unidad de esfuerzo del período septiembre a diciembre del mismo año de aplicación del MPH.
- Figura 32. Comparación de biomasa desovante estimada por el ASP (BD ASP) y el MPH.  
BDO: Biomasa desovante original  
BD1: Biomasa desovante criterio estructural o límite inferior  
BD2: Biomasa desovante criterio funcional o de interpolación



- Figura 33. Relación potencial del logaritmo natural de la biomasa desovante obtenido por ASP y estimaciones de biomasa desovante por el "Método de Producción de Huevos".  
BDO: Biomasa desovante original.  
BD1: Biomasa desovante criterio estructural o límite inferior.  
BD2: Biomasa desovante criterio funcional o de interpolación.  
BD1\*: Biomasa desovante criterio estructural o límite inferior sin punto atípico.  
BD2\*: Biomasa desovante criterio funcional o de interpolación sin punto atípico.
- Figura 34. Distribución y abundancia de huevos de anchoveta de las seis prospecciones realizadas entre 1992 y 2000 a través del "Método de Producción de Huevos".
- Figura 35. Regresión entre la fecundidad parcial y el peso corporal de la anchoveta en la I y II Regiones.
- Figura 36. Fecundidad relativa de la anchoveta, en la I y II Regiones (series: peso corporal en gramos).

## INDICE DE ANEXOS

---

- Anexo 1. Criterios para la aplicación del MPDH en la estimación de la biomasa desovante de anchoveta en el norte de Chile.
- Anexo 2. Base de Datos.



## 1. INTRODUCCIÓN

---

El sector pesquero se ha convertido en una de las áreas productivas más importantes de la economía del país, generando 1.784 millones de dólares por concepto de exportación de productos derivados (SUBPESCA, 2000), lo que representó una contribución de un 11% del total de las exportaciones efectuadas durante 1999.

El desarrollo histórico de las capturas en la zona norte de Chile, entre 1973 y 1989, mostró un crecimiento sostenido del orden de un 900%. Sin embargo, a partir de 1990 se ha registrado una disminución en los niveles de desembarque, observándose una tendencia a la estabilización de éstos a valores mínimos, del orden de 1,5 millones de toneladas al año.

Los recursos que han sustentado esta actividad correspondieron mayoritariamente a peces de comportamiento pelágico. En efecto, durante los tres últimos años, la actividad pesquera de esta región se ha cimentado fundamentalmente en las capturas de anchoveta (*Engraulis ringens*), jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) y sardina (*Sardinops sagax*), contribuyendo el año 2000, con un 84, 9 y 3%, respectivamente (SUBPESCA, 2000).

En la actualidad la actividad productiva de la industria pesquera en la I y II Regiones, está fuertemente asociada a la disponibilidad del recurso anchoveta, por lo cual, es fundamental disponer de antecedentes actualizados de los niveles de abundancia de la subpoblación de anchoveta de la zona norte, tanto del stock parental como de la fortaleza de las clases anuales que se incorporan a la pesquería.



En el contexto de explorar métodos de evaluación complementarios y que permitan optimizar la precisión del estimado de biomasa desovante de anchoveta, en la temporada de invierno de 1992, el Instituto de Fomento Pesquero, por encargo de la Subsecretaría de Pesca, implementó por primera vez en Chile, una nueva técnica de evaluación directa conocida como "Método de Producción de Huevos" (MPH), desarrollada en 1980 por investigadores del Southwest Fisheries Science Center, de La Jolla, California. Dicha técnica se aplica nuevamente en 1995 (FIP 95-01), 1996 (FIP 96-01), 1997 (FIP 97-01) y en 1999 (FIP 99-10).

El método de producción de huevos (MPH), como aproximación a la evaluación directa de la biomasa desovante de peces pelágicos, ha sido empleado en diversos países que desarrollan actividades extractivas sobre pesquerías pelágicas. Considerando la necesidad de mejorar las técnicas relacionadas con el método, se han efectuado tanto a nivel nacional como internacional diferentes talleres, destacándose los siguientes:

- Alemania-Bremerhaven (1998), se realizó el "Taller nuevos métodos para estimar biomasa desovante en peces" donde se analizó en detalle el MPH y se comparó con otros métodos de evaluación.
- España-San Sebastian (1995), se desarrolló el Workshop "On Improvements of DEPM Techniques", en donde se identificaron los principales problemas asociados a la aplicación del MPH.
- Chile-Iquique (1996), dentro del contexto del desarrollo del Proyecto FIP 96-01 se invitó a un taller de discusión a expertos en la aplicación del MPH, evento en que se recomendó llevar a cabo experimentos controlados que permitan



mejorar la asignación de edad de huevos y folículos postovulatorios, linealizar los modelos para estimar  $P_0$  y  $z$ , estimar con datos reales la hora del máximo desove, diseñar un muestreo que minimice la duración de crucero, generar mecanismos que tiendan a la aplicación conjunta con el Perú y efectuar talleres prácticos con el fin de estandarizar la aplicabilidad del MPH.

La aplicación del "Método de Producción de Huevos" para estimar la biomasa de la anchoveta, se ha constituido en un aporte importante para la diagnosis del principal recurso pelágico en la I y II Región.



## 2. ANTECEDENTES

---

El Método de Producción de Huevos define la biomasa desovante como la relación entre la producción diaria de huevos (huevos por día para la población total) y la fecundidad específica diaria de la población adulta (huevos por día por tonelada métrica). La producción diaria de huevos se calcula de los datos de densidad y estado de desarrollo embrionario de los huevos recolectados en un crucero de ictioplancton. La fecundidad específica diaria de la población adulta se determina mediante el procesamiento de muestras de peces obtenidas durante un crucero de pesca, las cuales proporcionan información de la fecundidad parcial, el peso promedio de hembras, la frecuencia del desove y la proporción de sexos. Este método es de aplicabilidad directa a peces clupeiformes, tales como anchovetas y sardinas y ha sido exitosamente utilizado en distintas especies del género *Engraulis*.

La aplicación inicial del Método de Producción de Huevos para la determinación de la biomasa de peces pelágicos multidesovantes, como anchoveta y sardina, tuvo dificultades debido al desconocimiento de procedimientos adecuados para estimar la frecuencia del desove. Hunter y Goldberg (1980), acogiendo una sugerencia formulada por Yamamoto y Yoshioka (1964) en el sentido que la frecuencia del desove podría ser determinada a través de la incidencia de los folículos postovulatorios, lograron mediante la inducción del desove de anchoveta en California, mantenidas en cautiverio, caracterizar histológicamente el proceso de degeneración de los folículos postovulatorios en función del tiempo. A partir de ello se definieron criterios para establecer la edad de dichas estructuras para utilizarlas en la estimación directa de la frecuencia del desove en poblaciones naturales de peces pelágicos multidesovantes.



El método para la estimación de la biomasa desovante de anchoveta se fundamenta en gran parte en el ciclo de desarrollo del ovario, el cual pasa por una serie de estadios. En el transcurso de su desarrollo el ovocito crece en el ovario proveyéndose de vitelo y horas antes del desove comienza un proceso de hidratación, aumentando aproximadamente cuatro veces su volumen total. Los ovarios con ovocitos hidratados son fácilmente reconocibles a simple vista, debido a que la dilución del vitelo hace transparente a los ovocitos. En el curso de los tres días posteriores al desove, el espacio que originalmente ocupaba en el ovario, ahora denominado folículo postovulatorio, sufre un proceso de degeneración.

El huevo deja el folículo en el ovario y es evacuado al mar para su posterior fertilización, pasando por una serie continua de fases de desarrollo embrionario, cuya duración depende de la temperatura del agua.

El "Método de Producción de Huevos" presenta, en términos generales, las siguientes ventajas: a) proporciona una estimación instantánea de la biomasa desovante; b) sus fuentes de error están identificadas, siendo factible estimar fácilmente la precisión de cada una de ellas; c) proporciona información biológica anexa (fecundidad, tasa de mortalidad de huevos, proporción de peces maduros, etc.) de utilidad para evaluar la condición del reclutamiento potencial del stock y d) constituye una fuente de información auxiliar para calibrar las evaluaciones indirectas obtenidas mediante el Análisis Secuencial de Poblaciones (ASP).

Los primeros resultados obtenidos con la aplicación del MPH en Chile, indicaron para la subpoblación de anchoveta en la zona norte una biomasa desovante de 1.053.000 toneladas (Rojas y Oliva, 1993). Posteriormente, en 1995 Claramunt *et al.* (1996), estimaron una biomasa de anchoveta de 1.223.515 toneladas y en 1996



los niveles bajaron considerablemente, alcanzando a sólo 581 mil toneladas (FIP N° 96-01), manteniéndose valores similares en 1997 al registrarse 594 mil toneladas (FIP N° 97-01). A modo de referencia, cabe señalar que la evaluación acústica de la biomasa de la anchoveta realizada en 1997 alcanzó a 623 mil toneladas (FIP N° 97-01).

Es importante indicar que las biomاسas estimadas en 1996 y 1997 presentaron una considerable disminución, representando sólo un 54 y 51% respectivamente, de lo reportado en 1995. La aplicación del MPH en 1997 permitió vislumbrar el riesgo del stock desovante de la anchoveta (Oliva *et al.*, 1998), situación que se corroboró en 1998, con la ocurrencia del peor año pesquero que se tiene reporte en los últimos 50 años, cuyas capturas anuales alcanzaron apenas a las 122 mil toneladas.

En 1999 la biomasa estimada a través del MPH fue de 1.139.000 toneladas (Oliva *et al.*, 2000), observándose una recuperación del recurso a niveles de capturas "regulares", con respecto a los volúmenes que se manejaron al inicio de la pesquería (segunda mitad de la década de los '80) correspondiente a desembarques del orden de un millón de toneladas al año.



### **3. OBJETIVOS**

---

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Cuantificar mediante la aplicación del Método de Producción de Huevos la biomasa desovante de anchoveta, comprendida entre la zona costera desde el límite norte de la República hasta los 26° 03' S.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 3.2.1 Estimar la producción diaria de huevos en el mar, su varianza asociada y la tasa diaria de mortalidad instantánea de los huevos.
- 3.2.2 Estimar la proporción de estadios de madurez sexual microscópicos y la fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta, con su varianza asociada.
- 3.2.3 Estimar la fecundidad parcial en función del peso corporal, el modelo de regresión correspondiente a esta relación y la fecundidad media poblacional, con sus respectivas varianzas.
- 3.2.4 Estimar la proporción sexual en peso y el peso promedio de hembras maduras, con sus respectivas varianzas.



- 3.2.5 Estimar la biomasa del stock desovante de anchoveta y su varianza asociada, incluyendo la covarianza de los parámetros de adultos.
- 3.2.6 Realizar un análisis de la distribución espacial de huevos asociada a variables oceanográficas, utilizando las bases de datos de los proyectos anteriores.
- 3.2.7 Realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos en este proyecto y anteriores, con los obtenidos a través de métodos indirectos de evaluación de stock.



## 4. METODOLOGÍA

---

La aplicación del "Método de Producción de Huevos" requiere del conocimiento de parámetros biológicos tales como producción diaria de huevos, fecundidad media poblacional, frecuencia de desove, proporción sexual y peso promedio estimado de hembras maduras, los que deben ser obtenidos mediante la realización de cruceros en el período de máxima actividad reproductiva.

### 4.1 Area de estudio

Comprende la zona de desove, que se extiende desde el límite norte de la República, 18° 20' S, hasta el paralelo 26° 03' S y desde la costa hasta 60 millas náuticas.

### 4.2 Monitoreo reproductivo que fundamenta el inicio y término de los cruceros de ictioplancton y adultos

La componente metodológica consideró, en términos generales, el desarrollo de los siguientes aspectos fundamentales:

#### 4.2.1 Plan de muestreo

Cada plan de muestreo depende de la variable en estudio y está en directa relación con la modalidad de operación de las flotas, considerándose diseños en puerto (desembarques) y eventualmente a bordo de naves cerqueras donde se analizó las capturas.



#### a) Población objetivo

La población objetivo estuvo compuesta por el conjunto de anchovetas capturadas, en la I y II Regiones por la flota industrial y semi-industrial, durante el año 2000.

#### Parámetro poblacional: Índice gonadosomático

#### Estimador del índice $\hat{R}$ (IGS)

$$\hat{R}(IGS) = \frac{\sum_{i=1}^n W G_i}{\sum_{i=1}^n W_j}$$

Notación:

- $WG_j$  : Peso de la gónada del ejemplar j
- $W_j$  : Peso eviscerado del ejemplar j
- n : Muestra de ejemplares

#### 4.2.2 Plan operativo

#### a) Fuentes de captación de datos

Los datos biológicos provienen principalmente del muestreo del desembarque que se realizó en tierra y eventualmente a bordo.



**b) Antecedentes para la selección de centros de muestreo**

La estrategia de captación de datos consideró una cobertura de centros de desembarque que aseguró la representatividad de los muestreos. Los antecedentes que se utilizaron para definir los centros de muestreo se basaron en información actualizada de la flota y la modalidad de operación de éstas.

En la I y II Regiones, la pesquería pelágica opera con dos flotas, una industrial y otra semi-industrial, que utiliza como arte de pesca el sistema de cerco.

La flota industrial opera en la I y II Regiones, en tanto la flota semi-industrial trabaja básicamente en la I Región.

Los principales puertos de desembarque de la flota industrial en la I y II Regiones son:

- Arica
- Iquique
- Tocopilla (eventualmente)
- Mejillones

En 1999 operaron 113 embarcaciones, las que se distribuyeron de la siguiente forma:

- Arica : 38
- Iquique : 58
- Mejillones : 17

Los centros de muestreo seleccionados correspondieron a los principales puertos de desembarque de esta pesquería.



### c) Procedimientos de recopilación de información

Los datos biológico-pesqueros se obtuvieron en el lugar de recepción del desembarque de cada empresa.

Las muestras biológicas se tomaron desde el vibrador o secador. Obtenida la muestra se inició el análisis de cada uno de los ejemplares, los cuales constituyeron la unidad de estudio, de acuerdo al tipo de variable o característica que se requirió.

- **Longitud** : a cada ejemplar se le midió su longitud total.
- **Peso** : a cada ejemplar se le registró el peso total, eviscerado y peso de gónadas.
- **Sexo y madurez** : a cada ejemplar se le determinó el sexo a través de la observación directa de las gónadas y la madurez sexual, mediante criterios macroscópicos (tamaño, forma, color, etc.), utilizando una escala de madurez específica Simpson y Gil, 1967 *fide* Serra, 1976), validando la información a través de criterios microscópicos.

#### 4.2.3 Análisis macroscópico y microscópico

Se determinó el inicio del período de desove mediante el análisis semanal y mensual de la anchoveta en los diferentes estadios de madurez del ovario (microscópicos), complementados con las variaciones del índice gonadosomático (IGS) (macroscópico).



La condición reproductiva de la anchoveta se analizó a través de la observación microscópica del parénquima gonadal, utilizando técnicas histológicas y aplicando una escala específica basada en los criterios señalados por Wallace y Selman (1981); Selman y Wallace (1989) para peces teleósteos; Alheit *et al.* (1984) para *E. ringens* y Hunter y Macewicz (1985) para *E. mordax*; reportada en el Proyecto FIP N° 95-01 (Tabla 1).

### 4.3 Crucero de huevos

#### 4.3.1 Metodología para determinar el tamaño esperado de muestra por estaciones totales y positivas.

Para los efectos de determinar el tamaño de muestras, se procedió a estudiar la relación existente entre  $(x; Sx^2; n)$  y la distribución "t" de Student, que corresponde a la expresión:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_x}{\frac{\sqrt{S_x^2}}{n}} \sim t(n - 1)$$

De este modo a través de este estadístico se puede establecer la siguiente relación entre el tamaño de muestra de estaciones positivas  $n^+$  y los estimadores  $x, s_x^2$ ,

$$n^+ = \frac{S_x^2 t^2}{(\bar{x} - \mu_x)^2}$$

$$n^+ = \left[ \frac{S_x t}{\bar{x} - \mu_x} \right]^2$$

para un nivel de significación  $\alpha = 0,05$  y  $n^+ > 60$ , el valor del estadístico "t" será considerado aproximadamente  $t = 2$ .



Definiendo la diferencia entre el estimador de la media y el parámetro, y aceptando como margen de tolerancia delta a un múltiplo del estimador de la media se tiene:

$$\delta = \bar{x} - \mu_x - \varepsilon \bar{x}$$

A partir de esta relación se obtuvieron los tamaños de muestra esperados para las estaciones positivas  $n^+$ .

El procedimiento seguido se basa en el trabajo de Santander *et al.* (1982), quienes experimentalmente utilizaron como estimador del número total de estaciones  $n$ , la relación porcentual entre " $n^+$ " y " $n$ ". Al respecto, Castillo *et al.*, (1993), Braun (1995), Braun, (1996), Braun *et al.*, (1997), encontraron que tal relación fue de:

$$\frac{n^+}{n} = 0,4654 (46,54\%)$$

de tal manera que estimando el tamaño " $n^+$ " es posible establecer el número total de estaciones " $n$ ".

#### 4.3.2 Diseño de muestreo y crucero

El diseño de muestreo consideró una grilla de 502 estaciones distribuidas en 60 transectas perpendiculares a la costa, equidistantes cada 10 mn. Las estaciones se localizaron en las transectas a 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 y a 60 millas de la costa (**Fig. 1**).

El muestreo se intensificó en las áreas lindantes a Bahía Antofagasta, Bahía Mejillones y al río Loa, correspondientes a zonas características de desove costero de



la anchoveta. Estas áreas se ubicaron entre las latitudes 23° 50' - 23° 30' S; 23° - 22° 40' S y 22° 20' - 20° 40' S, realizándose transectas hasta 30 mn de extensión longitudinal equidistantes cada 5 mn.

#### 4.3.3 Muestreo de huevos

El B/C "Carlos Porter" zarpó desde Punta Carrizalillo el 12 de agosto y recaló en Arica el 05 de septiembre del 2000, cubriendo la totalidad del área de estudio.

En cada estación se obtuvo una muestra de zooplancton mediante un muestreador **CaIVET** (versión **PAIROVET**) de 0,05 m<sup>2</sup> de área de boca y 150 µm de abertura de malla (Smith *et al.*, 1985), el cual se remolcó verticalmente desde una profundidad máxima de 70 m o desde 5 m sobre el fondo hasta la superficie en el caso de profundidades menores. El calado y virado se realizó a una velocidad nominal de 1m/seg, considerándose un tiempo de estabilización de 10 segundos, una vez alcanzada la profundidad máxima de muestreo.

Durante la ejecución de cada lance de pesca, se registraron en planillas especialmente diseñadas los siguientes datos básicos: número de estación, fecha, hora, posición, tipo de pesca, tipo de red, duración del lance (tiempo de arriado y virado), cantidad de cable arriado, lectura del clinómetro, condiciones ambientales y meteorológicas de cada estación (temperatura del aire, intensidad del viento, altura de olas, estado del mar).

Las muestras obtenidas en cada una de las estaciones se preservaron inmediatamente después de extraídas del copo recolector de la red, en una solución de formalina al 5 % en agua de mar neutralizada con tetraborato disódico (bórax), para evitar de esa manera un posible deterioro de los ejemplares capturados.



Con respecto a los parámetros ambientales, en cada una de las estaciones se obtuvo un registro continuo de la temperatura y salinidad, mediante el uso de un CTD SEA BIRD modelo 19.

#### **4.3.4 Sistema CUFES (Continuous Underway Fish Egg Sampler)**

De conformidad con lo comprometido en la Propuesta Técnica se utilizó de manera experimental el sistema CUFES o bomba de huevos de registro continuo en la aplicación del "Método de Producción de Huevos", principalmente en el área del río Loa cada 2,5 mn.

El sistema CUFES colectó muestras cada 2,5 mn (cada 25-30 minutos) a una profundidad de 3 m, con una tasa de flujo de bomba igual a  $0,8 \text{ m}^3/\text{m}$  y a una velocidad de 6 a 6,5 nudos. El volumen de agua filtrada por la red CalVET fue estimado de acuerdo a la metodología propuesta por Smith *et al.*, (1985). El agua promedio de agua filtrado por la red CalVET fue de  $3,45 \pm 0,218 \text{ m}^3$  y el del sistema CUFES fue de  $1,768 \text{ m}^3$ .

#### **4.3.5 Análisis de muestras de huevos**

##### **a) Clasificación de los huevos de anchoveta de acuerdo a estadios de desarrollo**

La clasificación de los huevos de anchoveta por estadio de desarrollo se efectuó en la totalidad de los ejemplares de cada muestra, utilizando el criterio establecido por Moser y Ahlstrom (1985), quienes dividieron el período del desarrollo embionario de los huevos de anchoveta en once estadios de acuerdo a los cambios morfológicos que se producen en el transcurso de la embriogénesis (**Tabla 2**). Los huevos que no



podieron ser asignados a ninguno de dichos estadios, debido a opacidad o daño en sus estructuras internas, se clasificaron como deteriorados (DET.).

### b) Determinación de la edad de los huevos de anchoveta

La determinación de la edad de los huevos de anchoveta se efectuó mediante un procedimiento automatizado descrito por Lo (1985), el cual asigna la edad sobre la base de los datos de fase de desarrollo, temperatura del agua en el momento de la captura y hora de la pesca.

La estimación de la edad ( $Y_{ik}$ ) corresponde a la edad promedio ( $Y_{it}$ ) obtenida del modelo de temperatura dependiente ajustada por la hora de la pesca ( $k$ ) asumiendo que el máximo del desove se produce a las 22:00 horas y ajustando la edad por la porción del día desde las 22:00 horas previas hasta el momento de la recolección para el día mas cercano. La fórmula básica para la determinación de la edad de los huevos es:

$$Y_{ik} = Y_{it} + k - T$$

Donde  $Y_{it}$  se obtiene del modelo de temperatura dependiente ( $Y_{it} = 16.07e^{-(0.1145t+0.098i)}i^{1.74}$ ) calculado mediante datos de velocidad de desarrollo en función de la temperatura obtenidos experimentalmente,  $k$  es la hora de la pesca y  $T$  corresponde al tiempo esperado para el huevo fase de desarrollo  $i$  ( $T = \text{remanente de } (Y_{it} + 22) - 24$ )

Las decisiones de corrección según la hora de colecta son:

$$Y_{ik} = \begin{cases} Y_{it} - G & \text{si } k < T - G \\ Y_{it} + k - T & \text{si } T - G < k < T + G \\ Y_{it} + G & \text{si } T + G < k \end{cases}$$

Donde  $G$  es el doble de la desviación estándar de la edad dentro de cada estadio.



No se establecieron categoría de edad a intervalos discretos de tiempo (i.e. intervalos de 12 horas o más), sino que la variable edad fue definida como continua.

Los huevos de la categoría DET. (deteriorados) fueron asignados a un estadio de desarrollo según los siguientes criterios de decisión (Hewitt *et al.*, 1984):

1. Huevos que pudieron ser identificados dentro de un rango de estadios, fueron asignados en forma ponderada de acuerdo a la proporción por estadio ya determinada para la muestra.
2. En aquellas estaciones en las que sólo se encontraron huevos DET., estos fueron distribuidos aleatoriamente siguiendo una distribución uniforme dentro del rango de estadios posibles

**c) Estimación de la producción diaria de huevos en el mar y tasa de mortalidad**

El parámetro  $P_0$ , producción diaria de huevos en el mar, es el número de huevos desovados por noche, por unidad de área, promediado por la extensión y duración del crucero. Utilizando el procedimiento entregado por Picquelle y Stauffer (1985), la abundancia de los huevos a las edades determinadas se analizó utilizando el siguiente esquema de muestreo sistemático: el área de muestreo se dividió en rectángulos de  $5 \times 10 \text{ m}^2$ . En el centro de cada rectángulo se obtuvo una muestra de zooplancton equivalente a  $0,05 \text{ m}^2$  de superficie. Este diseño de muestreo asume que la distribución de los huevos al interior de un bloque es independiente de la distribución dentro de los bloques adyacentes (P. Smith, en Picquelle y Hewitt, 1983). En zonas donde se esperaba una mayor intensidad del desove, la frecuencia del muestreo se incrementó a una grilla de  $5 \times 5 \text{ m}^2$ .



Con el objeto de compensar las diferencias en la intensidad de muestreo, a cada estación se le asignó una ponderación  $w_{ij}$ , proporcional al área relativa que la estación  $j_{th}$  representa en el estrato  $i_{th}$ .

Posteriormente, con el objeto de reducir el impacto de la varianza, el área total del crucero se post-estratificó en dos estratos: estrato 0 que incluye el área geográfica donde no se produce desove (producción diaria de de huevos = 0) y estrato 1 que incluye las estaciones positivas a huevos de anchoveta y a algunas escasas estaciones negativas atrapadas al interior de ésta (**Anexo**). En la sección metodológica por objetivo específico se presenta con mayor detalle los estimadores de la producción diaria de huevos y la tasa de mortalidad de huevos

#### 4.4 Crucero de adultos

##### 4.4.1 Determinación del tamaño de muestreo a bordo

Por lo general, en los cardúmenes de clupeoideos como la anchoveta, la distribución de los peces es generalmente homogénea respecto al tamaño y a la condición de las gónadas, por lo cual la estimación de la fracción de hembras en desove se relaciona con el tipo de muestreo aplicado, situación que es evidente durante la época de mayor actividad de desove. De acuerdo al conocimiento del proceso reproductivo de la anchoveta en períodos sin perturbación ambiental, los cardúmenes con hembras en estadio hidratado, caracterizados por el predominio de machos, se ubican en cardúmenes específicos, los cuales se separan de aquellos que están en otra condición reproductiva. Este comportamiento ha sido observado por otros investigadores (Blaxter y Hunter, 1982; Oliva *et al.*, 1989; Martínez *et al.*, 1992, 1993, 1994).



De acuerdo a lo anterior, queda en evidencia que para obtener una estimación adecuada es conveniente muestrear un gran número de cardúmenes, más que un gran número de hembras por cardumen.

El diseño de muestreo orientado a estudiar los parámetros indicados en los objetivos específicos 3.2.2, 3.2.3 y 3.2.4, corresponde al de conglomerados bietápico.

Las unidades de primera etapa corresponden a los "lances" de pesca y las unidades de segunda etapa a los "peces capturados" en cada lance.

En ese marco, el esfuerzo de muestreo indica al número "n" de lances y al número "m" de peces necesarios para hacer mínima la varianza cuando se dispone de recursos económicos fijos.

En términos de número de peces procesados y en un sentido estadístico es más eficiente medir o examinar pocos peces y realizar un gran número de lances, que tomar una gran cantidad de peces dentro de un bajo número de lances. Sin embargo, si mayores costos de recolección de datos están asociados con los costos de operación de la embarcación, entonces será aconsejable realizar un mayor esfuerzo de muestreo al interior de los lances que realizar un excesivo número de éstos.

Los peces examinados durante el crucero fueron utilizados como se ha indicado para estimar más de un parámetro. Por lo tanto, la combinación óptima de "n" y "m" no fue la misma para cada parámetro.

Un estimador de la biomasa media poblacional y su varianza en un diseño de muestreo de conglomerados bietápico (Cochran, 1980; Thompson, 1992; Frontier,



1983; Raj, 1968; Sukhatme, 1962; Picquelle y Stauffer, 1985) están dados respectivamente por:

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{n}$$

donde:

$$\bar{y}_i = \sum_{j=1}^m \frac{y_{ij}}{m}$$

y un estimador de su varianza es:

$$\hat{V}[\bar{y}] = [1 - f_1] \frac{S_1^2}{n} + f_1 [1 - f_2] \frac{S_2^2}{nm}$$

donde la varianza entre lances está dada por:

$$S_1^2 = \frac{1}{n-1} \sum [\bar{y}_i - \bar{y}]^2$$

y la varianza dentro de los lances se expresa como:

$$S_2^2 = \frac{1}{n(m-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$$

y las fracciones de muestreo  $f_1$  y  $f_2$  están dadas por:

$$f_1 = \frac{n}{N} \quad y \quad f_2 = \frac{m}{M}$$



- n = número de lances a muestrear  
M = número de lances efectuados  
m = número de ejemplares de peces a examinar por lance  
 $\bar{M}$  = número medio de ejemplares por lance

Entre un diseño de muestreo bietápico de conglomerados y un diseño de muestreo aleatorio simple, las varianzas están relacionadas entre sí como sigue:

$$\sigma_{y_c}^2 = \sigma_{y_{AS}}^2 [1 + \rho(m-1)]$$

donde:

$$\sigma_{y_{AS}}^2 = \frac{\sum \sum [y_{ij} - \bar{y}]^2}{nm[nm-1]}$$

La fracción de muestreo se distribuye aproximadamente como una distribución binomial y que se representa de acuerdo a:

$$\rho^2 y_{AS} = \frac{\bar{y}(1-\bar{y})}{nm}$$

Asumiendo una función de costo que relaciona los "lances" y "peces" dada por:

$$C = n c_1 + n m c_2$$

la cual se desea minimizar sujeta a la restricción:

$$m = \frac{(1-\bar{y})(1-\rho)}{n\bar{y}c_2 - (1-\bar{y})(1-\rho)}$$



se deduce que la combinación óptima de "n" y "m" está dada por:

$$n = \frac{c_1(1-\bar{y})\rho + (1-\bar{y})\sqrt{c_1c_2\rho(1-\rho)}}{c_1\bar{y}cv^2}$$

$$m = \left[ \frac{(1-\rho)C_1}{\rho C_2} \right]^{1/2}$$

- $C_1$  = Costo (tiempo, pesos, etc.) para acceder a la información en un lance.
- $C_2$  = Costo (tiempo, peso, etc.) para acceder a la información de un ejemplar examinado.
- $n$  = Muestra de lance.
- $\rho$  = Coeficiente de correlación intraclases dentro del diseño de un muestreo bietápico de conglomerados.
- $\bar{y}$  = Estimador de la biomasa media poblacional.
- $cv$  = Coeficiente de variación.
- $m$  = Número de ejemplares examinados.

#### 4.4.2 Muestreo de la anchoveta en el mar

Para la captura de las anchovetas se utilizaron embarcaciones cerqueras de 440 a 580 metros cúbicos de capacidad de bodega las que se equiparon básicamente con: red anchovetera para sistema petrel, construida de paños con nudos y sin nudos, en los distintos sectores de la red (copos, antecopos, refuerzos y cuerpos finos), cuyas dimensiones fueron de 750 \* 70 brazas, con un embande de 32%. Además, las embarcaciones contaban con sonar, radar, ecosonda, navegador por satélite, radiogoniómetro y radios (HF, VHF).



Se recolectaron 30 hembras de cada lance a las que se le realizó una disección desde el ano hasta las aletas pectorales, seleccionando aquellos especímenes vivos, los cuales fueron inmediatamente fijados en formalina al 10% buferada (introducidos completamente en el fijador), la que se preparó según Santander *et al.* (1984), Hunter (1985), Oliva *et al.* (1989), Rojas y Oliva (1993), Oliva *et al.* (1998) y consistió en:

- 16,2 litros agua destilada
- 117 gramos fosfato de sodio dibásico ( $\text{Na}_2 \text{H PO}_4$ )
- 72 gramos fosfato de sodio monobásico ( $\text{NaH}_2 \text{ PO}_4 \text{ H}_2\text{O}$ )
- 1,8 litros solución de formaldehído (37%)

A bordo se recolectaron como mínimo 120 ejemplares por lance, registrándose su longitud total por sexo y estadio de madurez (macroscópico). Esta actividad permitió obtener antecedentes oportunos (en tiempo real) respecto a la composición por tamaño y condición reproductiva de la anchoveta.

#### 4.4.3 Procesamiento de las muestras en el laboratorio histológico

Los especímenes preservados en formalina neutralizada se procesaron en el laboratorio. Se registró la longitud total de cada ejemplar, medido en un ictiómetro, con una precisión de 0,5 centímetros y el peso (total de la gónada) en una balanza, con una precisión de 0,01 gramos.

Terminada la fijación, los ovarios se deshidrataron e incluyeron en paraplast, luego se efectuaron cortes histológicos de 5 micrometros de espesor, los que fueron teñidos con hematoxilina y contrastados con eosina. Finalmente, se montaron con entellan en portaobjetos y se les efectuó su lectura y análisis.



#### 4.5 Metodología por objetivo específico

En la presente sección se desarrollan los aspectos metodológicos según objetivo específico.

##### 4.5.1 Objetivo específico 3.2.1

**"Estimar la producción diaria de huevos en el mar, su varianza asociada y la tasa diaria de mortalidad instantánea de los huevos".**

El cálculo de la producción diaria de huevos y la tasa de mortalidad fue estimada según el modelo de regresión no lineal de tipo exponencial (Picquelle y Stauffer, 1985) dado por el modelo:

$$P_{ijk} = P_i e^{-Z_i t_{ijk}} + \varepsilon_{ijk}$$

donde:

- $P_{ijk}$  = Número de huevos de la edad  $k$ , en la estación  $j$  del estrato  $i$
- $P_i$  = Producción diaria de huevos por unidad de área en el estrato  $i$
- $Z_i$  = Tasa de mortalidad diaria de huevos en el estrato  $i$
- $t_{ijk}$  = Edad en fracción de días
- $\varepsilon_{ijk}$  = Error aleatorio aditivo

En este modelo el intercepto  $P$  representa la producción diaria de huevos en  $t = 0$ , mientras  $Z$  indica la tasa de mortalidad de huevos. Este modelo asume que todos los huevos son desovados y fertilizados a una hora fija y que están afectados por una tasa de mortalidad constante "Z".



La varianza de los parámetros se obtiene de la matriz de varianzas covarianzas de los parámetros del modelo una vez que el criterio de convergencia de la solución mínimo cuadrática se ha cumplido.

Una vez estimado los parámetros y sus varianzas asociadas, se estima el coeficiente de variación, que en el caso de la producción de huevos queda expresado como:

$$CV[P(t)] = \frac{\sqrt{V[\hat{P}(t)]}}{\hat{P}(t)}$$

#### 4.5.2 Objetivo específico 3.2.2

**“Estimar la proporción de estadios de madurez sexual microscópicos y la fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta, con su varianza asociada”**

##### a) Análisis microscópico de los ovarios

Las variaciones de la condición reproductiva se determinaron a través del análisis de la distribución mensual de los estadios de madurez de los ovarios, en base al diagnóstico histológico del parénquima gonadal, aplicando una escala microscópica específica (**Tabla 1**).



## b) Estimación de la fracción diaria de hembras desovantes (F)

El cálculo de la frecuencia de desove se basa en el criterio utilizado por Hunter y Goldberg (1980). Cada ovocito hidratado está rodeado por un folículo alargado y fino, una capa epitelial de células granulosas y una única capa externa de tejido conectivo de células con algunos capilares sanguíneos. Durante la ovulación, los ovocitos completamente hidratados son liberados desde sus folículos. El folículo vacío o folículo postovulatorio no se fragmenta y se mantiene íntegro en el ovario, éste se deteriora rápidamente y es reabsorbido.

Para usar los folículos postovulatorios en la estimación de la frecuencia de desove, es necesario dividir el proceso de deterioración y reabsorción del folículo en series de diferentes estadios histológicos, cada uno con una edad asignada. En la anchoveta la edad de los folículos postovulatorios puede ser determinada solamente hasta 56 horas después del desove.

La clasificación por edad de los folículos postovulatorios se basa en los diferentes estadios de degeneración por los que ellos atraviesan. La definición de éstos se llevó a cabo según criterios discretos de las características citológicas y morfohistológicas (tamaño, forma aparente, aspectos de las células de la granulosa y del lumen).

En la clasificación por edades de los folículos postovulatorios, se utilizaron criterios citológicos y morfohistológicos propuestos por Hunter y Goldberg (1980) para *E. mordax* y por Macewicz y Hunter (1993) para *T. symmetricus*. Se asume que los cambios citológicos y morfohistológicos que experimentan los folículos postovulatorios de *E. ringens* son cronológicamente similares a los señalados para aquellas



especies, lo cual permite la diferenciación de folículos postovulatorios nuevos como también de día 1 y 2, cuyas características se definen en la **tabla 4**.

Para la determinación de la frecuencia de hembras desovantes se utilizaron sólo los ovarios con folículos postovulatorios, los cuales fueron recolectados de las muestras por lo menos 9 horas después del máximo desove (22:00 horas), con el objeto de prevenir cualquier sesgo en el muestreo de hembras durante la hora del día en que estuvieron desovando.

Los lances positivos fueron distribuidos en un ciclo completo de 24 horas y la edad de los folículos postovulatorios pudo ser determinada hasta 56 horas después del desove, debido a que los folículos de mayor edad pueden ser confundidos con otras estructuras tales como folículos en estado atrésico (Hunter y Goldberg, 1980; Hunter y Macewicz, 1980). En consecuencia, se separaron dos grupos independientes de folículos postovulatorios de 24 horas: los del día 1 con edad entre 9 y 32 horas, y los del día 2 con edad entre 33 y 56 horas. Debido a su independencia, estos dos grupos se unieron logrando así duplicar el número de muestras (Alheit *et al.*, 1984).

Suponiendo que el muestreo de hembras hidratadas o de hembras de edad de día 1 ó de día 2 no es sesgado, entonces la fracción de hembras desovantes por el lance  $i$  fue estimada por:

$$F_i = \frac{m_{h_i}}{m_i} \circ \frac{m_{l_i}}{m_i} \circ \frac{m_{2_i}}{m_i}$$

donde:

$$m_i = m_{h_i} + m_{l_i} + m_{2_i} + m_{a_i}$$



y cada uno de los términos son:

- $m_{hi}$  = Número de hembras hidratadas en el lance i.
- $m_{1i}$  = Número de hembras de día 1 en el lance i.
- $m_{2i}$  = Número de hembras de día 2 en el lance i.
- $m_{ai}$  = Número de hembras que no han desovado entre las 9 y 56 horas (incluidas las hembras con folículos postovulatorios con una edad menor de 9 horas).
- $m_i$  = Número de hembras maduras en el lance i.
- $F_i$  = Fracción desovante en el lance i.

Para corregir el sub-muestreo o sobre muestreo de hembras hidratadas y bajo la premisa de que la verdadera fracción de las hembras hidratadas es la misma que la fracción de las hembras del día 1 ó día 2,  $m_{hi}$  se reemplazó por:

$$m_{hi} = \frac{m_{1i} + m_{2i}}{2}$$

de tal forma que:

$$F_{1i} = \frac{m_{1i}}{\frac{m_{1i} + m_{2i}}{2} + m_{1i} + m_{2i} + m_{ai}}$$

ó

$$F_{2i} = \frac{m_{2i}}{\frac{m_{1i} + m_{2i}}{2} + m_{1i} + m_{2i} + m_{ai}}$$



donde:

$F_i$  = Fracción corregida de hembras con folículos postovulatorios de 9 a 32 horas de edad (hembras del día 1) ó 33 a 56 horas de edad (hembras del día 2) en el lance  $i$ .

Los estimados para el promedio y la varianza fueron dados por:

$$\bar{F} = \frac{\sum m_{1i} + m_{2i}}{2 \sum \left[ \frac{m_{1i} + m_{2i}}{2} + m_{1i} + m_{2i} + m_{ai} \right]} = \frac{\sum m_{1i} + m_{2i}}{2 \sum m_{yi}}$$

$$V \bar{F} = \frac{1}{n(n-1)} \sum \left( \frac{m_{yi}}{m} \right)^2 (F_{yi} - \bar{F})^2$$

donde:

$\bar{F}$  = Fracción promedio de hembras desovantes por día en todos los lances.

$m_{yi}$  =  $((m_{1i} + m_{2i}) / 2) + m_{1i} + m_{2i} + m_{ai}$  = Número corregido de hembras maduras en el  $i$ ésimo lance.

$\bar{m}$  = Número corregido de hembras maduras en el  $i$ ésimo lance.

$$\bar{m} = \sum \frac{m_{yi}}{n}$$

$n$  = Tamaño de muestras.



#### 4.5.3 Objetivo específico 3.2.3

**"Estimar la fecundidad parcial en función del peso corporal, el modelo de regresión correspondiente a esta relación y la fecundidad media poblacional, con sus respectivas varianzas"**

La fecundidad se estimó de acuerdo al método gravimétrico descrito por Hunter y Goldberg (1980), Hunter *et al.*, (1985), Santander *et al.*, (1984), Oliva *et al.*, (1989) y Rojas y Oliva (1993).

Este método se basa en que todos los ovocitos hidratados en el interior del ovario son liberados en corto tiempo y el número de éstos reflejará la fecundidad parcial. Cabe mencionar dos ventajas comparativas respecto a otros métodos 1) ahorro de tiempo en su conteo (rapidez en la determinación) y 2) no hay dudas sobre la disgregación de las modas en los diagramas de frecuencia - tamaño de los ovocitos, debido a que los ovocitos hidratados se caracterizan por su enorme tamaño, transparencia y consistencia blanda.

Las hembras hidratadas fueron recolectadas de cada lance, preferentemente al atardecer, debido a que la hidratación ocurre generalmente entre las 16 y 23 horas (Rojas y Oliva, 1993).

Todos los ovarios que se recolectaron como hidratados fueron sometidos a un examen histológico descartándose aquellos que tenían indicios de desove (presencia de folículos postovulatorios) y seleccionando sólo aquellos que con seguridad estaban hidratados, los cuales se pesaron con una precisión de 0,01 g.



El procedimiento técnico de conteo se inició con la absorción de líquido superficial del ovario con papel filtro, submuestreando la mitad más grande del ovario. Se tomaron tres segmentos del tejido, uno del centro y dos de la parte media entre el centro y los extremos del eje mayor del ovario. Estas tres submuestras fueron de aproximadamente 0,2 g cada una, asegurando una cantidad no inferior a 100 ovocitos hidratados por submuestra.

Las submuestras se pesaron en una balanza analítica, con una precisión de 0,0001 gramos. Posteriormente se colocaron en una cápsula petri cubriéndolas con gotas de glicerina (33%) y se contabilizaron bajo microscopio estereoscópico.

El número promedio de los ovocitos hidratados de las tres submuestras (metodología descrita por Hunter *et al.*, 1985) fue utilizado para la estimación del número total de ovocitos hidratados del ovario (fecundidad parcial), de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\bar{E}_i = \bar{n} * W_i$$

donde:

$\bar{E}_i$  = Fecundidad parcial (número total de ovocitos hidratados en el ovario).

$W_i$  = Peso húmedo del ovario (g).

$\bar{n}$  = Número promedio de ovocitos hidratados por gramo de submuestra.



El Método de Producción de Huevos requiere la estimación de la fecundidad media poblacional o modal, es decir, del número de ovocitos liberados por una hembra promedio representativa del total de la población de hembras maduras. Para ello es necesario ajustar un modelo que explique los datos de la fecundidad parcial en función de un parámetro corporal. De acuerdo a lo reportado por otros autores (Santander *et al.*, 1984; Rojas y Oliva, 1993; Claramunt *et al.*, 1996 y en Taller FIP N° 96-01) el mejor modelo es el que se relaciona con el peso corporal (peso total menos peso gónada). Se asumió que esta relación es la que explicó las variaciones de la fecundidad parcial. Esto se probó mediante análisis de regresión y pruebas estadísticas, las que definieron el mejor modelo que explicó las variaciones de la fecundidad parcial en el período de estudio. Se utilizaron los siguientes modelos:

$$Y'_{ji} = a + bx$$

$$Y'_{ji} = a * x_{ji}^b$$

$$Y'_{ji} = a * b^{x_{ji}}$$

donde:

- Y'ji = Fecundidad parcial estimada de la hembra j en el lance i.
- a y b = Parámetros del modelo (intercepto y pendiente).
- Xji = Peso corporal (peso total menos peso ovario) de la hembra j en el lance i.



La fecundidad parcial se calculó utilizando las hembras recolectadas en el área de muestreo (Regiones I y II). Se determinó una regresión entre la fecundidad parcial (número de ovocitos hidratados) y el peso del cuerpo de hembras sin gónada.

Las 30 hembras maduras de cada lance que se procesaron inicialmente fueron seleccionadas con el fin de estimar su fecundidad por medio del modelo de regresión de mejor ajuste.

La fecundidad media poblacional y su varianza se estimó siguiendo la metodología aplicada en el Método de Producción de Huevos descrita por Hunter *et al.* (1985):

$$\bar{\bar{E}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{E}_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

donde:

$\bar{\bar{E}}$  = Fecundidad media poblacional.

$m_i$  = Número de peces muestreados en el lance  $i$ .

$\bar{E}_i$  = Promedio de la fecundidad parcial en el lance  $i$ .



Dado que para el promedio se utiliza la fecundidad parcial estimada a través del modelo de regresión, es decir, cada estimado tiene su propia varianza asociada, entonces la estimación de la varianza de la fecundidad media poblacional se debe ajustar para incluir esta variación adicional.

$$\hat{Var}(\bar{E}) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i^2 \left[ \frac{(\bar{E}_i - \bar{E})^2}{n-1} + \frac{s_h^2}{n_h} + \bar{W}_i - \bar{W}_h \hat{Var}(\beta) \right]}{\left[ \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{n} \right]^2 n}$$

donde:

- $\bar{E}$  = Estimado de la fecundidad media poblacional.
- $\bar{E}_i$  = Promedio de la fecundidad para el lance i.
- $S_h^2$  = Varianza de la regresión.
- $n_h$  = Número de hembras hidratadas utilizadas para ajustar la regresión.
- $W_i^*$  = Peso corporal promedio para el lance i.
- $W_h^*$  = Peso corporal promedio de hembras utilizadas en a regresión.
- $Var(\beta)$  = Varianza de la pendiente de la regresión.
- $n$  = Número de lances.



#### 4.5.4 Objetivo específico 3.2.4

**"Estimar la proporción sexual en peso y el peso promedio de hembras maduras, con sus respectivas varianzas"**

La fracción de hembras (R, proporción sexual) fue estimada para cada lance de una submuestra compuesta por 200 ejemplares.

Debido al efecto de la preservación, el peso registrado fue corregido por un factor de corrección por fijación. El promedio de la muestra y la varianza fueron estimados según:

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{m_i}{mn} \right) \bar{y}_i$$

$$Var(\bar{y}) = \frac{\sum_{i=1}^n \left[ \left( \frac{m_i}{m} \right)^2 (\bar{y}_i - \bar{y})^2 \right]}{n(n-1)}$$

Donde:

- $m_i$  = Número de peces submuestreados del i-ésimo lance.
- $\bar{m}$  = Número promedio de peces submuestreados por lance.
- $n$  = Número de lances positivos.
- $y_{ij}$  = Valor observado para el j-ésimo pez en el i-ésimo lance.

$$y_i = \sum_{j=1}^{m_i} y_{ij} / m_i = \text{Promedio para el i-ésimo lance.}$$



El peso total del cuerpo de hembras fue ajustado en aquellas hembras que histológicamente presentaron ovocitos hidratados u ovocitos con el núcleo emigrando hacia el polo, a través de la relación matemática que resultó entre el peso total del cuerpo y el peso del cuerpo sin gónada.

#### 4.5.5 Objetivo específico 3.2.5

**"Estimar la biomasa del stock desovante de anchoveta y su varianza asociada incluyendo la covarianza de los parámetros de adultos"**

El método se basa en el modelo desarrollado por Parker (1980) y modificado por Stauffer y Piquelle (1980):

$$B = K \frac{P_o * W}{R * F * E}$$

donde:

- B = Biomasa desovante en toneladas métricas.
- P<sub>o</sub> = Producción diaria de huevos en el área investigada (huevos producidos por 0,05 m<sup>2</sup> por día).
- W = Peso promedio de las hembras maduras (g) de la población.
- R = Proporción de sexos (fracción de hembras de la población en peso).
- F = Fracción de hembras maduras que desovan por día.
- E = Fecundidad parcial (número promedio de huevos desovados por hembra por desove).
- K = Factor de conversión de gramos a toneladas métricas.



La varianza de la estimación de la biomasa se calcula por el método delta (Seber, 1973, Stauffer y Picquelle, 1980), como una función de la varianza y covarianza de la estimación de los parámetros:

$$\begin{aligned} Var(B) = & B^2 \{Var(P_o) / P_o^2 + Var(W) / W^2 + Var(R) / R^2 + Var(E) / E^2 \\ & + Var(F) / F^2 + 2[Cov(P_o W) / P_o W - Cov(P_o R) / P_o R - Cov(P_o E) / P_o E \\ & - Cov(RF) / P_o F - Cov(WR) / WR - Cov(WE) / WE - Cov(WF) / WF \\ & + Cov(RE) / RE + Cov(RF) / RF + Cov(FE) / FE\} \end{aligned}$$

#### 4.5.6 Objetivo específico 3.2.6

**“Realizar un análisis de la distribución espacial de huevos asociada a variables oceanográficas, utilizando las bases de datos de los proyectos anteriores”.**

##### a) **Procesamiento de la información**

Se analizaron los archivos de la base de datos correspondientes a los cruceros MPH en invierno de los años 1992, 1995, 1996, 1997, 1999 y 2000, correspondientes a los proyectos FIP N°: 1992, 95-01, 96-01, 97-01, 99-10 y 2000-06.



Dichos registros consideran la siguiente información: año, latitud y longitud de las lecturas de huevos de anchoveta y su correspondiente valor de densidad (referido a N° de huevos/0,05m<sup>2</sup>). Asimismo, se obtuvieron los siguientes datos de las estaciones planctónicas: año, latitud y longitud de las estaciones y sus correspondientes registros de temperatura y salinidad.

Con la base de datos se generaron, para cada año y variable, archivos vectoriales compatibles con los SIG TNTmips e IDRISI. Estos archivos contemplan la georeferenciación de la data de las diferentes variables contempladas en este estudio.

**b) Distribución espacio-temporal de los huevos de anchoveta y de la temperatura**

Para realizar una descripción espacial y temporal de las variables densidad de huevos y temperatura, se configuraron imágenes para cada crucero de dichas variables.

La generación de imágenes contempló crear previamente archivos vectoriales con la información de las variables a cartografiar y realizar una interpolación, a través del método de Kriging, de dichas variables.

Para el análisis integrado de las variables registradas durante el presente proyecto, se utilizaron como plataforma de trabajo los SIG TNTmips e IDRISI.

Con el propósito de superponer y relacionar los distintos planos de información, fue necesario que todas las imágenes se encontraran en una idéntica escala espacial. Como las imágenes debían poseer una misma resolución espacial y distribución geográfica, se generaron rasters que tuvieran similar cantidad de filas y columnas y



que registraran igual posición y cobertura geográfica. Esto se realizó a través del módulo RESAMPLE del SIG. De esta manera, se crearon imágenes en rasters de 48 columnas (en el sentido E-W) y 168 filas (en el sentido N-S).

Con el objeto de favorecer el análisis visual de las imágenes de TSM creadas, éstas fueron reclasificadas en clases de valores de huevos, temperatura y de salinidad, los cuales se asociaron a diferentes colores. Para ello se utilizaron dos módulos del TNTmips: **a)** módulo RASTER HISTO, que permite conocer y analizar la distribución de frecuencia de los valores de las variables cartografiadas, y **b)** módulo REPLACE, que reclasifica los valores de las celdas de una imagen.

**c) Relaciones entre la distribución de los huevos, la temperatura y la salinidad, a través del análisis cartográfico**

Para detectar las asociaciones entre la distribución de huevos de anchoveta y las variables oceanográficas, se efectuó un análisis espacial y visual de la información realizando la cartografía de las variables y explorando las asociaciones a través del SIG. Posteriormente, se hicieron correlaciones espaciales cruzadas, calculándose el número de celdas respecto a la temperatura, con el propósito de generar gráficos con la frecuencia (número de celdas) de la distribución de huevos, en relación de la temperatura (cada un grado). Con esto se determinaron rangos óptimos de preferencia de los huevos de la especie en relación a esta variable.

Para verificar la probable existencia de una asociación entre la distribución de huevos y los gradientes térmicos y salinos se efectuó un análisis a través de modelos de regresión. Para ello se calculó los gradientes mediante los comandos del SIG eliminándose los pixeles sin presencia de huevos de anchoveta.



#### 4.5.7 Estandarización de metodologías aplicadas en la evaluación del stock desovante de la anchoveta en base al “Método de Producción de Huevos”

Para abordar el cálculo del MPH en los años 1992, 1995, 1996, 1997, 1999 y 2000 y hacerlos comparables, se realizaron en Iquique dos talleres con los investigadores que han participado directamente en la aplicación del MPH en la zona norte de Chile. Una primera actividad consistió en conocer en detalle como fueron estimados los parámetros por los distintos consultores en Chile, enfatizándose en los siguientes temas:

- Diseño de muestreo de ictioplancton (diseño, tamaños muestrales, cobertura latitudinal y longitudinal, tamaño de transectas, separación intertransectas e inter-estaciones, entre otros).
- Método para calcular las áreas de estudio y de desove.
- Consideraciones para el cálculo del Po (asignación de edades, tipo de modelo, observaciones a incluir, ponderadores, observaciones atípicas, entre otros).
- Diseño de muestreo para peces adultos (diseño, tamaños muestrales, número de lances, comportamiento del recurso, entre otros).
- Estimación de la precisión del estimado de biomasa.

Además, se efectuó una importante actividad de revisión bibliográfica, conociendo con el máximo nivel de detalle como se han abordado los puntos antes señalados por diferentes investigadores de distintos países.

Una vez conocidas las distintas variantes de procesamiento de la información se procedió a establecer una estandarización del MPH y recomendarla para la futura



aplicación del MPH para la estimación de la biomasa desovante de la anchoveta en la zona norte de Chile.

#### a) Cálculo del área de estudio y desove

El área total del crucero se considera una información de poca relevancia al comenzar los cálculos, puesto que no afecta el estimado de biomasa desovante. Sin embargo, se calculó según lo señalado en el anexo del Informe de Avance (Oliva *et al.*, 2000).

El área de desove se considera como una de las variables de mayor relevancia y de un alto impacto en los estimados de biomasa. Se discutieron las implicancias de los distintos criterios a considerar entre los cuales se pueden señalar:

- El **criterio estructural o de límite inferior** definido en **anexo 1**, el cual consiste básicamente en la sumatoria de las áreas que representa cada unidad muestral, interpolando entre dos estaciones en una misma transecta cuando estas están separadas un máximo de 3 estaciones. Este criterio tiende a subestimar el área de desove.
- El **criterio funcional o de interpolación** corresponde a la delimitación del área de desove a través de la integración de las áreas por medio de la inspección visual de la distribución de las estaciones positivas y negativas (**ver anexo 1**).

#### b) Ajuste del modelo de sobrevivencia de los huevos

Se aplicaron los criterios definidos en Oliva *et al.* (2000). Esto es, la asignación de edades según la metodología propuesta por Lo (1985), llevándola a fracción de día sin



categorizarlas en intervalos discretos. El modelo de decaimiento exponencial se ajustó mediante mínimos cuadrados no lineales, ponderando cada observación por el área que representa cada estación. Se elimina el estadio I de huevos debido a que se encuentran subrepresentados.

### c) Estimación de la producción diaria de huevos

Para el cálculo del  $P_o$  (expandido al área), se definieron tres escenarios en función al método de estimación del área de desove y observación de puntos atípicos para el ajuste de la curva de mortalidad de huevos, dados por una situación muy particular y local.

Escenario 1:  $P_o$  estimado con la totalidad de los puntos en el ajuste y área de desove bajo el criterio estructural o de límite inferior.

Escenario 2:  $P_o$  estimado con la totalidad de los puntos en el ajuste y área de desove bajo el criterio funcional o de interpolación.

Escenario 3:  $P_o$  estimado sin los puntos atípicos del año 1999 con los criterios de área de desove de los Escenarios 1 y 2.

### d) Parámetros de adultos

Se utilizaron las estimaciones reportadas en cada año por los diferentes ejecutores de los proyectos de investigación. Dado que las estimaciones de los parámetros de adultos han presentado en general alta precisión (baja varianza), no se consideró necesario recalcular los estimados. Además, el diseño de muestreo utilizado en



conjunto con los estimadores de los parámetros de adultos, se encuentran bien definidos por el método y no se observan grandes variaciones, dado que el diseño de muestreo permite obtener estimadores insesgados de los parámetros poblacionales de interés.

#### e) **Estimación de la biomasa desovante de la anchoveta**

La estimación de la biomasa desovante de anchoveta se realizó a través de la metodología clásica (Lasker, 1985), considerando los escenarios ya especificados.

#### **4.5.8 Objetivo específico 3.2.7**

**"Realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos en este proyecto y anteriores con los obtenidos a través de métodos indirectos de evaluación de stock"**

Para efectuar un análisis comparativo de los resultados obtenidos de este proyecto y anteriores (FIP 95-01; FIP 96-01, FIP 97-01 y FIP 99-10) se analizó la información del área prospectada, así como también la fecha de realización de los cruceros.

Las evaluaciones indirectas de la anchoveta se realizaron por el método de calibración ADAPT del Análisis Secuencial de Poblaciones (ASP), aplicando el método de Gavaris (1988). Este modelo entrega estimaciones de abundancia en número y biomasa del stock desovante de la anchoveta al 1º de enero de cada año para el período 1984-1999 (para mayor detalle ver Barría (2001)). Por lo tanto, para efectuar las comparaciones en términos de biomasa absoluta se deben corregir obteniendo la biomasa media del stock en el período de realización de los cruceros. Esta última



magnitud es la que se compara con las estimaciones de stock desovante de la serie de cruceros. Las estimaciones de biomasa media del stock desovante se calculan de la siguiente forma:

$$\bar{N}_i = \int_x^y N_o e^{-zt} dt$$

$$\bar{B}_i = \bar{N}_i * \bar{W}_i$$

Donde:

- $N_o$  = Abundancia en número al 1° de enero edad- específica.
- $\bar{N}_i$  = Número de medio edad específica.
- $x$  = fecha de inicio del crucero.
- $y$  = fecha de término del crucero.
- $z$  = Tasa de mortalidad total edad-específica.
- $\bar{W}_i$  = Peso promedio edad específica corregida.
- $\bar{B}_i$  = Biomasa media del stock desovante edad-específica.

Para el stock de abundancia y biomasa media del stock desovante durante el período del crucero se obtiene:

$$\bar{N}_i = \sum_{i=0}^4 \bar{N}_i \quad \text{y} \quad \bar{B}_i = \sum_{i=0}^4 \bar{N}_i * \bar{W}_i * mi$$

$mi$  = ojiva de madurez edad específica.



Los pesos promedios por grupo de edad fueron estimados por el método de Piennar y Ricker (1968). Este método utiliza la información de las longitudes medias, las varianzas por grupo de edad y la relación longitud - peso anual. La información utilizada en la relación longitud - peso corresponde al período 1984-1999.

Finalmente se efectuó un análisis de regresión simple entre las estimaciones de biomasa en escala numérica decimal y logarítmica.

Con el propósito de incorporar las estimaciones de la biomasa desovante obtenida por el método de producción de huevos a un modelo de evaluación se estimó una relación potencial entre el estimado del ASP y el MPH.

La relación fue la siguiente:

$$\ln(BD_{ASP}) = \ln Q + b \ln(BD_{MPH})$$

Donde:

$BD_{ASP}$  = Biomasa desovante obtenida por el ASP.

$BD_{MPH}$  = Biomasa desovante obtenida por el MPH.

Q y b = Parámetros de la regresión funcional.



## 5. RESULTADOS

---

### 5.1 Monitoreo reproductivo y desarrollo del crucero

El crucero para aplicar el MPH se efectuó en la I y II Región durante la época de máxima actividad reproductiva de la anchoveta. La recolección de los adultos se realizó entre el 12 de agosto y el 2 de septiembre del 2000.

El desarrollo del crucero se basó en el análisis del proceso reproductivo que se monitoreó a través del análisis de la actividad del desove de la anchoveta con muestras recolectadas de la captura comercial de especies pelágicas, utilizando técnicas macroscópicas (variaciones del índice gonadosomático) y microscópicas (índice de actividad de desove).

El muestreo se realizó en los principales puertos de la I y II Región, considerando la información biológica de la anchoveta, destacándose los datos de longitud, peso, sexo y estadios de madurez.

- **Análisis macroscópico y microscópico**

La tendencia del IGS en el año 2000, indicó un reposo relativo durante los meses de marzo a mayo, intensificándose la actividad en junio-julio, con un desove importante en agosto y septiembre, mostrando una declinación en noviembre (**Fig 4**).

El análisis microscópico efectuado a las anchovetas recolectadas en la I y II Región, señaló que en junio se evidenció el inicio de la actividad reproductiva masiva, caracterizándose ésta por la presencia de ovarios con ovocitos vitelogénicos, hidratados y presencia de folículos postovulatorios.



El pleno desove, corroborado por la permanencia de ovocitos vitelogénicos, hidratados y folículos postovulatorios, se manifestó entre la primera quincena de julio y primera quincena de octubre, observándose en ese período los máximos valores del índice de actividad de desove (**Fig. 5**).

El análisis de los ovarios de la anchoveta en la segunda quincena de octubre indicó que este recurso aún se encontraba desovando, observándose los primeros indicios de atresia ovárica, con un bajo porcentaje (**Tabla 5**).

- **Muestreo de anchovetas adultas**

El muestreo de anchovetas adultas se realizó con la participación de seis embarcaciones cerqueras (PAM "Trueno", "Relámpago", "Salmón", "Mero", "Marlín" y "Dorado" de la Empresa Pesquera CORPESCA) autorizadas para capturar anchoveta, a través de una Pesca de Investigación (Resolución N° 1.759 del 9/8/2000 de la SUBPESCA), durante la veda reproductiva.

De acuerdo al diseño, se efectuaron 92 lances en total, de los cuales 60 fueron positivos (**Tabla 3 y Fig. 3**). Al respecto, es importante mencionar que en las anteriores aplicaciones del MPH en Chile se han realizado 50 lances (Rojas y Oliva, 1993), 40 lances (Claramunt *et al.*, 1996), 32 lances (Claramunt *et al.*, 1997), 60 lances (Oliva *et al.*, 1998), 51 lances (Oliva *et al.*, 2000) y en Perú 40 lances (Ayon y Buitron, 1997).

La posición de cada lance en el curso del crucero se efectuó de acuerdo a la distribución espacial de los cardúmenes y a las condiciones meteorológicas.

La estrategia utilizada permitió obtener el número adecuado de lances con pesca de anchoveta, de acuerdo a lo requerido por el "Método de Producción de Huevos".



- **Número de lances en muestreo de adultos**

Se muestrearon 30 hembras en cada lance (Picquelle y Stauffer, 1985; Rojas y Oliva, 1993, Oliva *et al.*, 2000), las que se analizaron histológicamente de acuerdo a lo propuesto en Santander *et al.* (1984) y Rojas y Oliva (1993), con el fin de registrar la incidencia de folículos postovulatorios para la determinación de la frecuencia de desove. En aquellos lances con presencia de hembras hidratadas se recolectaron como mínimo 30 anchovetas en esa condición.

Durante el crucero se mantuvo una constante coordinación entre el muestreo de adultos y de ictioplancton.

- **Distribución espacial de anchoveta**

Las agregaciones de anchoveta se detectaron principalmente en las áreas ubicadas; de Arica a Pisagua ( $18^{\circ} 20' - 19^{\circ} 20' S$ ) entre las 40 y 70 mn; Mejillones del norte y Chucumata ( $19^{\circ} 50' - 20^{\circ} 30' S$ ) entre las 20 y 50 mn; a 10 mn frente al puerto de Arica y a 10 mn entre Patache y Tocopilla ( $21^{\circ} - 22^{\circ} S$ ) (**Fig. 3**).

- **Capturas en los lances de pesca**

Las capturas obtenidas en los distintos lances de pesca durante la pesca de investigación alcanzaron las 4.018 toneladas, de las cuales el 99,5% correspondió al recurso anchoveta. No se observaron ejemplares reclutas de anchoveta (menores a 12 cm de longitud total) en las capturas.

En la zona de estudio no se registró langostino colorado durante el crucero. Cabe recordar que esta especie se presentó a partir de la ocurrencia del evento "El Niño"



1997-'98 hasta principios del 2000. Entre Arica e Iquique se visualizaron salpas, de las 30 a 70 mn. Cabe mencionar que al término del crucero se visualizaron medusas, palometas, bonitos, tiburones y pez espada.

- **Cobertura e intensidad del muestreo sobre el stock parental de la anchoveta**

En esta investigación, a diferencia de las anteriores aplicaciones del “Método de Producción de Huevos”, se intensificó el muestreo de adultos, hecho motivado por el cambio en la distribución espacio-temporal de la anchoveta. Para tal efecto se utilizaron seis goletas pesqueras de alta mar, las que cubrieron una amplia zona del área de estudio, extendiéndose en determinadas estaciones más allá de las 60 millas de la costa.

Este nuevo enfoque consistente en utilizar embarcaciones pesqueras dotadas de capitanes con amplia experiencia en la búsqueda de la especie en estudio, permitió corroborar la distribución más oceánica y con una mayor cobertura del recurso anchoveta durante agosto-septiembre del 2000. Este hecho fue sistemáticamente confirmado en la exploración pesquera efectuada por las seis embarcaciones, las que encontraron un ambiente de pesca de regular a bueno en la I Región, lo que finalmente se tradujo en capturas suficientes para llevar a las plantas pesqueras. En la II Región se efectuó un gran esfuerzo para conseguir anchovetas adultas, realizándose una amplia prospección. Sin embargo, las capturas y rendimientos fueron muy bajos.

Cabe señalar que una limitante en la colección de anchovetas adultas fue el no poder recolectar anchovetas en la zona costera de las 5 millas, con excepción de aquellas zonas autorizadas para efectuar penetraciones en el área de reserva artesanal.



Es de interés señalar que la anchoveta presentó desde enero hasta julio capturas fluctuantes en la I y II Región. Cabe mencionar que a fines de 1999 y principios del 2000 no se decretó veda de reclutamiento, debido al bajo porcentaje de reclutas de anchoveta en las capturas. Esta situación obedeció a una estrategia de la flota pesquera por actuar en zonas alejadas de las áreas características de reclutamiento y también a una menor presencia de reclutas en la zona norte, respecto a lo observado en años anteriores.

Las observaciones realizadas por las seis goletas fueron corroboradas por el accionar de la flota, la cual una vez terminada la veda reproductiva de la anchoveta presentó rendimientos de pesca regulares y en zonas alejadas de la costa.

Los desembarques de anchoveta en la I y II Región, durante enero-julio del 2000, alcanzaron a 619 mil toneladas, de las cuales el 66% se capturó en el primer trimestre.

- **Distribución de tamaños**

Durante el crucero se midieron 16.538 anchovetas, cuya amplitud de tamaño fluctuó entre los 13 y 19 cm de longitud total, con una moda centrada en los 16,0 cm (34%) (Fig. 6).

Del total de las anchovetas medidas, 8.592 correspondieron a machos con longitudes que oscilaron entre los 13,0 y 18,5 cm de longitud total, con una moda en los 16,0 cm, mientras que las hembras presentaron una moda en los 16,5 cm y un rango de tamaño entre los 13,0 y 19,0 cm de longitud total.



## 5.2 Objetivo específico 3.2.1

**"Estimar la producción diaria de huevos en el mar, su varianza asociada y la tasa diaria de mortalidad instantánea de los huevos"**

- **Producción diaria de huevos**

La producción diaria total de huevos (P) estimada a partir de los valores de  $P_0$ , tuvo un valor promedio de  $2,94 * 10^{13}$ , con una varianza de  $1,746 * 10^{25}$  y un coeficiente de variación de 0,14 (Tabla 15).

- **Distribución y abundancia de huevos de anchoveta**

El procesamiento y análisis de las 502 muestras colectadas durante el crucero, permitió determinar la presencia de 212 registros positivos con huevos de anchoveta, en los cuales se colectaron 10.473 huevos/0,05m<sup>2</sup>, lo que representó una frecuencia porcentual de 42% (Tablas 6 y 7).

La distribución espacial de los huevos indicó que el desove tuvo un amplio rango latitudinal, comprendido entre Arica (18° 24' S) y Taltal (25° 55' S), a excepción de dos áreas con ausencia de registros positivos, una entre Pta. Carrizalillo (26°00' S) y Pta. Lavata (25°40' S); y la otra entre Pta. Hornos (22°55' S) y Pta. Tames (22°40' S).

El 93% de los huevos de anchoveta se concentró entre la costa y 40 mn, registrándose la mayor frecuencia de estaciones positivas (> a 30 registros) en la línea de estaciones de 20, 25 y 30 mn, que sugirieren un desove más oceánico.



Los focos de abundancia se ubicaron: a) frente a Pta. Tetas ( $23^{\circ} 30' S$ ); b) entre Pta. Algodonales ( $22^{\circ} 05' S$ ) y Cta. Paquica ( $21^{\circ} 55' S$ ); c) frente a Cta. Guanillos del Norte ( $21^{\circ} 10' S$ ) y d) al oeste de Pta. Cavanca ( $20^{\circ} 15' S$ ) (Fig 7).

- **Distribución y abundancia de huevos de sardina, durante la aplicación del "Método de Producción de Huevos".**

Durante la ejecución del crucero se constató la presencia de sólo 8 estaciones positivas, identificándose un total de 77 huevos, lo que representó una dominancia numérica de 0,7% respecto del total de huevos, situación que caracteriza una actividad reproductiva muy disminuída (Fig. 8).

La abundancia de huevos de sardina exhibió valores que fluctuaron entre 1 y 57 huevos/ $0,05m^2$ , con una media de 10 y una DS de 19,59. Las estaciones con las densidades más importantes se localizaron frente a caleta Chimba ( $23^{\circ}30'S$ ), albergando el 91% de los huevos de sardina censados durante el crucero.

### 5.3 Objetivo específico 3.2.2

**"Estimar la proporción de estadios de madurez microscópicos y la fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta, con su varianza asociada".**

Se analizaron 1.800 hembras, correspondientes a 60 lances proveniente de la pesca de investigación realizada entre el 12 de agosto y el 2 de septiembre del 2000. De cada lance se recolectaron 30 especímenes.



- **Proporción de estadios de madurez microscópico**

El análisis histológico de los ovarios recolectados entre el 12 de agosto y el 2 de septiembre del 2000 indicó que el 100% de las hembras se encontraban activas, con un predominio de hembras con gónadas en estadio IV (80%) y V (9%). El comportamiento reproductivo de la anchoveta evidencia que el crucero se efectuó durante el máximo proceso de desove.

- **Fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta**

Teóricamente se pueden obtener estimados independientes de este parámetro, los cuales pueden ser utilizando:

- Porcentaje de hembras con ovocitos hidratados
- Porcentaje de hembras con folículos postovulatorios día 1
- Porcentaje de hembras con folículos postovulatorios día 2

De las anchovetas capturadas en el crucero de adultos se lograron dos conjuntos de datos independientes para la determinación de la frecuencia del desove: hembras de edad día 1 y 2.

El porcentaje de hembras de día 1 de edad varió de 0 a 63% y el de día 2 fluctuó de 0 a 53%. Los datos de hembras con folículos postovulatorios de día 1 y día 2 fueron combinados por su independencia entre sí, entregando una fracción del desove de 18,9%, con una varianza de 0,0002 y un coeficiente de variación de 0,07498. Esto indicó que durante el tiempo de la exploración el 18,9% de las hembras maduras desovaron cada día o que cada hembra madura desovó, en promedio, cada 5,3 días.



#### 5.4 Objetivo específico 3.2.3

**"Estimar la fecundidad parcial en función del peso corporal, el modelo de regresión correspondiente a esta relación, y la fecundidad media poblacional, con sus respectivas varianzas"**

La estimación de la fecundidad parcial de anchoveta se realizó sobre la base del recuento en ovarios clasificados histológicamente como hidratados, sin presencia de folículos postovulatorios.

El ajuste de la fecundidad parcial en función del peso corporal para las 109 hembras hidratadas analizadas por diferentes modelos se entrega en la **tabla 8**. Se utilizó el modelo de tipo lineal para los cálculos de fecundidad media poblacional (**Figs. 9 y 10**).

La fecundidad parcial promedio correspondiente a los 60 lances efectivos varió de 5.540 a 27.805 ovocitos por hembra. La fecundidad relativa varió de 198 a 1003 ovocitos por gramo de hembra, con un promedio de 555 ovocitos.

La fecundidad modal fue de 16.318 ovocitos, con una varianza de 217.974 y un coeficiente de variación de 0,029.



### 5.5 Objetivo específico 3.2.4

**"Estimar la proporción sexual en peso y el peso promedio de hembras maduras, con sus respectivas varianzas".**

- **Proporción sexual en peso de hembras maduras**

La proporción de hembras en peso para el total de lances analizados presentó una amplitud entre 0,20 y 0,87, con un promedio de 0,50, cuya varianza fue de 0,00049 y el coeficiente de variación fue de 0,044.

- **Peso promedio de hembras maduras**

El peso total del cuerpo de hembras hidratadas, estadio que se caracteriza por el incremento temporal del peso producido por la retención de agua en el ovario, se calculó de acuerdo al ajuste obtenido de una ecuación lineal estimada con aquellas hembras maduras de cada lance y que histológicamente no clasificaron como hembras hidratadas. Además, los datos fueron corregidos por efecto de la fijación.

El peso promedio del cuerpo de las 30 primeras hembras maduras, obtenidas en 60 lances, fluctuó de 27,1 a 38,0 gramos. El peso promedio de hembras maduras en el área investigada fue de 30,9 gramos, con una varianza de 0,10 y un coeficiente de variación de 0,010.



### 5.6 Objetivo específico 3.2.5

**"Estimar la biomasa del stock desovante de la anchoveta y su varianza asociada, incluyendo la covarianza de los parámetros de adultos"**

La biomasa del stock desovante de la anchoveta existente en la I y II Región, durante el período de máxima actividad reproductiva (agosto-septiembre del año 2000) fue estimada en 587.806 toneladas, con una varianza de  $1,5535 * 10^{10}$  y un coeficiente de variación de 0,2120.

### 5.7 Objetivo específico 3.2.6

**"Realizar un análisis de la distribución espacial de huevos asociada a variables oceanográficas, utilizando las bases de datos de los proyectos anteriores"**

- **Distribución espacio-temporal de los huevos de anchoveta y su relación con la temperatura y salinidad**

Las **figuras 11, 12, 13 y 14** muestran las distribuciones espaciales y temporales de los huevos de anchoveta y su relación con la temperatura y salinidad superficial y a 10 m de profundidad para el período 1992-2000.

En 1992 la distribución de los huevos de anchoveta tuvo una gran cobertura geográfica, encontrándose presentes a lo largo de toda la costa dentro de las primeras 10 millas (**Fig. 11**). Se destacan tres focos principales: el primero, y el que presenta las mayores densidades, se localizó frente a Arica y se extendió incluso hasta el oeste



de 71° W; el segundo foco cubrió desde los 19°30' S hasta Iquique a una distancia de 15 mn de la costa; el tercero se ubicó frente a Mejillones y Antofagasta, con una escasa cobertura espacial. En relación a la temperatura, se apreció que los huevos predominaron en aguas de 16 - 17°C, observándose también que el foco localizado en Arica se encontró dentro de una masa costera de aguas de 15°C. Asimismo, se apreció que el segundo foco se encontraba al lado costero del gradiente formado por las aguas de 16 y 17°C. En lo que respecta a la salinidad superficial, ésta se distribuyó entre los 34,6 y 35,3 psu, valores altos para el normal de la zona (**Fig. 14**).

En 1995, la cobertura de los huevos difiere respecto a 1992. La distribución en 1995 estuvo centrada mayoritariamente al sur de los 21° S., sin detectarse focos al norte de esta latitud. Los principales focos se ubicaron en: a) en las proximidades de Tocopilla, destacándose una gran abundancia de huevos; b) frente a Tocopilla, a una distancia de 50-60 mn de este puerto; y c) un núcleo focalizado en la latitud 24° 20' S y en la longitud 71° W. La TSM se situó preferentemente entre los 14 y 17°C. La salinidad, en tanto, disminuyó respecto a 1992, ubicándose en el rango 34,3 – 35,1 psu.

En 1996, los huevos de anchoveta disminuyeron notablemente su distribución espacial, exhibiendo una modalidad de postura más alejada de la costa, incluso el único foco importante en la zona costera se localizó en las proximidades de Mejillones. Se visualizó una gran concentración frente a 21° S a una distancia de 40-50 mn de la costa. También destaca que al sur de Antofagasta no hubo registros positivos de huevos de anchoveta. La temperatura indicó un predominio de aguas entre 15 y 16°C, observándose que el principal foco de desove estuvo asociado al borde interno del frente que conformaron las aguas de 16 y 17°C. La salinidad se mantuvo en niveles similares a 1995 y se localizó en el estrato 34,4 – 35,0 psu.



En 1997, la distribución varió su comportamiento, respecto a los años anteriores, observándose un desplazamiento hacia el sur, debido probablemente a los efectos del fenómeno "El Niño". No obstante lo anterior, se volvió a detectar tres núcleos cuantitativamente importantes: el primero, al igual que en 1992, se localizó frente a Arica, con una escasa extensión geográfica y muy costero; el segundo, al igual que en 1996, se ubicó frente a los 21° S a una distancia de 40 - 50 mn de la costa. Cabe señalar, que este foco volvió a convertirse en el principal; por último el tercer núcleo se ubicó entre Mejillones y Antofagasta. La temperatura experimentó un gran aumento debido a las perturbaciones ambientales características del fenómeno "El Niño". También es importante señalar que el núcleo de mayor densidad de huevos estuvo relacionado con el borde costero de las aguas de 18 a 19°C (**Fig. 13**). Al igual que la temperatura, la salinidad experimentó un importante incremento, incluso superando los 35,3 psu en el sector norte de la zona de estudio.

Durante 1999, la cobertura geográfica de los huevos de anchoveta disminuyó significativamente. Sin embargo, se detectaron focos de huevos con altas densidades. El primer foco se extendió desde los 20° 30' S hasta Tocopilla y fue un núcleo costero que no sobrepasó 5 mn de la costa. El segundo núcleo se ubicó a 50 mn frente a Tocopilla y tuvo una cobertura espacial mediana. Finalmente, el tercero se emplazó entre Mejillones y Antofagasta y se caracterizó por una alta densidad de huevos y una cobertura netamente costera. La distribución de los huevos respecto a la temperatura, indicó que el primer núcleo se encontró en aguas surgentes, en tanto, el último y más importante estuvo asociado a una masa de agua fría de temperaturas entre 13 y 14°C (**Fig. 13**). La salinidad se incrementó notablemente y adquirió niveles parecidos a 1992, especialmente al norte de Tocopilla, con valores que alcanzaron 35,3 psu.



En el año 2000, la distribución espacial de los huevos de anchoveta se incrementó notablemente, apreciándose núcleos de alta densidad al norte de Tocopilla, en una zona costera al sur del río Loa y en zonas alejadas de la costa frente a Punta Lobos, Iquique, Pisagua y Arica (**Fig. 11**). Se observó un gran frente térmico formado por aguas de 16 y 17°C (**Figs. 12 y 13**). La temperatura fue similar a 1999, no obstante se visualizó un leve decrecimiento en el sector norte del área de estudio. La salinidad presentó una disminución respecto a 1999, manteniéndose valores altos al norte de Tocopilla (**Fig. 14**).

- **Relación entre el número de celdas con huevos de anchoveta versus variables ambientales**

### **Temperatura**

La relación entre el número de celdas con huevos y la temperatura a 10 metros se muestra en la **figura 15**. Se analizan los antecedentes disponibles de información recopilada durante la aplicación del MPH del año 1992 al 2000.

En 1992, la mayoría de los huevos de anchoveta se concentraron preferentemente en aguas con temperaturas comprendidas entre los 15 y 16°C. En 1995, debido a la dominancia que ejercieron las aguas de 14 y 15°C en la zona de estudio, los huevos se asociaron casi exclusivamente a dichas temperaturas. En 1996, el mayor número de celdas con huevos se ubicó en los 15 y 16°C.

Durante 1997, hubo una notable entrada de aguas cálidas, incluso con temperaturas que superan los 20°C, debido a que en la zona estuvo presente el fenómeno "El Niño". Los huevos de anchoveta se ubicaron mayoritariamente en temperaturas



superiores a los 17°C. En 1999, la zona volvió a registrar temperaturas cercanas a la normalidad, con una escasa presencia de huevos, los que se ubicaron entre los 15 y 17°C.

En el año 2000, debido al notable predominio de las aguas entre 15 y 16°C se produjo una alta concentración de los huevos en estas temperaturas, apreciándose un importante porcentaje de huevos en los 16°C.

### Salinidad

En la **figura 16** se presenta la asociación entre el número de celdas con huevos de anchoveta y la salinidad. Se analizan los antecedentes disponibles de información recopilada durante la aplicación del MPH del año 1992 al 2000.

En el año 1992, la asociación entre las variables muestra que los huevos de anchoveta se centran preferentemente en salinidades entre los 34,8 y 35,0 psu. Dicho escenario varía totalmente en 1995 debido al drástico descenso de la salinidad, la cual no supera los 35,0 psu, situación por la cual los huevos de la especie se agruparon entre los 34,5 y 34,8 psu.

Durante 1996 la salinidad decrece y se distribuye en el estrato de 34,4 – 34,9 psu, con un claro dominio de aguas de 34,6 a 34,8 psu, concentrándose los huevos en los 34,7 psu.

En 1997 hay una notable entrada de aguas cálidas debido a la presencia del fenómeno “El Niño” implicando un significativo incremento de la temperaturas y de la salinidad, la cual llegó hasta los 35,2 psu; en ese año los huevos se asociaron



mayoritariamente a salinidades superiores a los 34,8 psu. Durante 1999, las variables ambientales vuelven a la normalidad y las salinidades registradas se ubicaron en el estrato 34,4-35,1 psu, observándose una baja cantidad de huevos de anchoveta, los que se concentraron en los 34,8 psu.

Durante el año 2000 las salinidades se presentaron en los rangos normales, ubicándose entre los 34,2 y 34,9 psu, concentrándose los huevos principalmente entre los 34,8 y 34,9 psu.

- **Relación entre la densidad promedio de huevos y los gradientes térmico y salino**

#### **Gradiente térmico**

La relación entre la densidad promedio de huevos y el gradiente térmico se muestra en la **figura 17**. Se analizan los antecedentes disponibles de información recopilada durante la aplicación del MPH del año 1992 al 2000. Cabe señalar, que la densidad promedio fue estimada por segmentos de gradiente térmico cada 0,2°C.

En 1992 las densidades promedio fueron altas, especialmente las que se localizaron en el rango de gradientes 1,6-2,1 °C/2mn. En dicho año se ajustó una regresión de tipo polinómica que dió cuenta del 40% de la varianza, lo que manifiesta una baja asociación entre ambas variables. En 1995, los promedios de huevos decrecieron respecto a 1992 y sólo se observó una densidad sobre los 40 hue/0,05m<sup>2</sup>, la cual se asoció a un gradiente de 1,4 °C/2mn. Se ajustó una relación polinomial que describió el 42% de la varianza, lo que indicó que las mayores densidades se ubicaron entre los 1,3 y 1,7 °C/2mn.



En 1996, las densidades promedio de huevos disminuyeron y no sobrepasaron los 50 hue/0.05m<sup>2</sup>, a su vez ese año exhibió un R<sup>2</sup> bajo y el rango óptimo se encontró entre los 1,2 y 1,7 °C/2mn. Durante 1997 la zona de estudio fue afectada por el fenómeno "El Niño", lo que se tradujo en un gran incremento de las temperaturas y una baja considerable de las densidades promedio por píxel; en ese año no se ajustó ninguna curva.

En los años 1999 y 2000, se apreció un aumento en la densidad promedio y se ajustaron curvas polinómicas que dieron cuenta del 40% y 32% de la varianza respectivamente; en esos años el rango óptimo se situó entre 1,0 y 1,4 °C/2mn.

### **Gradiente salino**

Las relaciones entre la densidad promedio de huevos respecto del gradiente salino se presentan en la **figura 18**. Se analizan los antecedentes disponibles de información recopilada durante la aplicación del MPH del año 1992 al 2000. Cabe señalar que la densidad promedio fue estimada por categorías de 0,03 psu de gradiente salino.

En 1992 las densidades promedio fueron altas y generalmente superan los 20 ind/0,05m<sup>2</sup>. En ese año se estableció una relación logarítmica positiva que describió el 34% de la varianza y que indicó que las mayores densidades estuvieron en el rango 0,10-0,13 psu/2mn.

Durante 1995 y 1996 se dedujeron asociaciones de tipo polinómica. En 1995 se constató una relación polinomial débil que solamente explicó el 21% de la varianza, indicando que las densidades más altas se localizaron entre los 0,07 y 0,09 psu/2mn.



En 1996 la relación fue más robusta con un  $R^2$  de 0,57, reflejando una gran disminución de las densidades de huevos en gradientes superiores a 0,09 psu/2mn.

Durante 1997, al igual que en el caso de la relación huevos v/s gradiente térmico, no se apreció una relación entre las variables, debido a la distribución que existió en dicho año. Lo anterior pudo deberse a que la zona estuvo bajo los efectos del fenómeno "El Niño".

En los años 1999 y 2000 hubo un aumento en la densidad promedio de huevos de anchoveta lográndose asociaciones bastante fuertes, detectándose que en gradientes superiores a 0,09 psu/2mn se produce un descenso en las densidades promedio.

## 5.8 Condiciones oceanográficas asociadas a crucero de huevos

- **Temperatura Superficial**

La temperatura superficial en la zona de estudio presentó valores extremos de 14 y 17,3°C (**Fig. 19**). En general existe un débil gradiente térmico en toda la zona de estudio, sin presentar zonas de frentes importantes en el área costera que indiquen en la superficie una situación de surgencia intensa.

Las temperaturas superficiales más bajas se encuentran hacia la mitad sur de la zona, adyacentes a la costa al sur de Antofagasta. Las temperaturas mayores ( $> 16^\circ\text{C}$ ) abarcan una extensa área del sector más oceánico (por sobre 10 mn de la costa) entre Arica y Tocopilla.

Los valores de anomalía de temperatura superficial, en base a los promedios históricos para agosto (Blanco, 1996), fluctuaron entre valores negativos y positivos,



sin superar 1°C de anomalía, lo que no es significativo e indica una situación normal desde el punto de vista térmico.

- **Temperatura a 50 m de profundidad**

La temperatura en el nivel de 50 metros (**Fig. 20**) presentó una situación homogénea de Antofagasta al norte, con valores que fluctuaron entre los 12° y los 16°C, predominando en la mayor parte del área temperaturas entre los 13° y 14°C. Por el contrario, al sur de Antofagasta se observaron variaciones importantes en la temperatura, con un rango similar que fluctuó de 12° a 16°C en las primeras 50 mn, formándose frentes subsuperficiales más intensos hacia el área costera.

El gráfico de diferencias de temperatura entre superficie y el nivel de 50 metros, indica que las mayores diferencias térmicas entre estos dos niveles se encuentran en la mitad norte de la zona, con valores que van de 0,1° a 3,9°C ( $t^{\circ} 0m - t^{\circ} 50m$ ). De Antofagasta al sur el rango total fue de 0° a 2,8°C, con un predominio de las diferencias cercanas a cero por sobre 10 mn de la costa.

- **Distribución vertical de temperatura**

La distribución de la temperatura entre la superficie y 100 m de profundidad (**Fig. 21**), muestra que las temperaturas aumentaron de sur a norte en toda la columna de agua. En todas las transectas se evidenciaron ascensos de las isotermas. Sin embargo, estas presentaron una mayor pendiente en las transectas 11, 27 y 60, desde una profundidad de 20 metros o mayor y que en algunos casos alcanzaron la superficie.



El proceso de surgencia en agosto del 2000, fue más intenso en los sectores donde se ubicaron las transectas 11 y 60. Dentro de la capa de muestreo se apreció una termoclina más superficial en las transectas ubicadas más al norte de la zona, la que se centró entre los 20 y 30 m de profundidad en la transecta 60. En las transectas del extremo sur el gradiente térmico en la vertical fue menor y más profundo, sin presentar una termoclina definida. Se apreció un núcleo de agua más fría ( $< 12^{\circ}\text{C}$ ) entre los 60 y 80 metros de profundidad y centrado a una distancia de 15 mn de la costa.

- **Salinidad superficial**

La salinidad superficial (**Fig. 22**) presentó una situación similar a la distribución de temperatura, con valores mayores en la zona norte y menores en la mitad sur. No se apreciaron zonas de frentes de esta variable. El rango de salinidad superficial para toda el área de estudio fue de 34,4 a 35,0 psu.

La anomalía superficial de esta variable presentó en general valores negativos y positivos menores a 0,1 psu, los que no fueron significativos. Los mayores valores de anomalía correspondieron a las dos estaciones más oceánicas de las transectas 17 y 18, las que superaron los  $-0,2$  psu, valor que es levemente significativo. La distribución de anomalía de salinidad coincide con la anomalía de temperatura presente en la zona, indicando una condición de normalidad térmica y salina.

- **Salinidad a 50 m de profundidad**

La salinidad en el nivel de 50 metros de profundidad (**Fig. 23**) se presentó con un amplio rango de valores, de 34,27 a 34,97 psu. En el sector costero, desde Antofagasta al sur, se registraron los mayores gradientes de salinidad, mientras que



en el sector oceánico, se encontraron los menores gradientes de salinidad. Por otra parte, las mayores salinidades se detectaron en el sector costero de Arica a Mejillones, con valores  $> 34,8$  psu.

Los valores de diferencia de salinidad entre 0 y 50 m fueron negativos en toda la franja costera, principalmente frente a Tocopilla y Pta. Lobos. Ello sería indicativo de una menor profundidad del núcleo salino, correspondiente a aguas de tipo ecuatorial subsuperficial (AESS) en este sector. En la mitad norte, las diferencias fueron principalmente positivas y  $> 0,2$  psu, las que aumentaron gradualmente desde la costa hacia el sector oceánico. De Antofagasta al sur los valores fueron cercanos a cero, situación similar a lo encontrado en temperaturas.

El foco de diferencias de temperaturas y salinidades cercanas a cero en el sector oceánico al sur de Antofagasta evidenciaron que la columna de agua, al menos hasta el nivel de 50 metros, se encontraba homogénea formando una capa de mezcla.

- **Distribución vertical de salinidad**

La salinidad en la vertical (**Fig. 24**) mostró, en general, un aumento paulatino en los valores de sur a norte. Sin embargo, la menor salinidad se encontró en forma de núcleo con valores  $< 34,3$  psu en el sector de Antofagasta, como se observó en la transecta, el que correspondió a un núcleo de agua ASAA más desarrollado y que se ubicó dentro de la zona de muestreo entre las transectas 8 y 14.

En el gráfico de salinidad vertical se aprecia que este mínimo asciende y alcanza la superficie, con valores entre 34,5 y 34,6 psu en las primeras 5 mn. Hacia el norte la capa de mínimo salino se fue comprimiendo y aumentando su valor, producto de la



presencia de un máximo salino que se ubicó sobre él (el máximo correspondiente a aguas de origen subtropical AST) y otro máximo bajo ella (agua Ecuatorial Subsuperficial, AESS). En los gráficos verticales esta situación se observa claramente al seguir el comportamiento de las isohalinas de 34,8 psu. El mayor gradiente de salinidad en la columna de agua se visualizó en las transectas del extremo sur, debido a las menores salinidades encontradas en la capa de los primeros 80 metros, correspondiente a ASAA, y a la ubicación de un máximo salino subsuperficial que estuvo asociado a aguas pertenecientes a la AESS.

### 5.9 Sistema CUFES (Continuous Underway Fish Egg Sampler)

Coetáneamente al crucero de huevos, operó el sistema CUFES o bomba de huevos, prospectándose una grilla configurada por 24 transectas perpendiculares a la costa equidistantes cada 5 y 10 mn con extensiones longitudinales de 30 y 60 mn, recolectándose un total de 257 muestras de las cuales 74 correspondieron a estaciones fijas, es decir, muestras dobles CUFES - Red CalVET (**Fig. 25**).

La **tabla 9** muestra un resumen estadístico del número de huevos de anchoveta colectados por el sistema CUFES y red CalVET durante las estaciones y el monitoreo en ruta.

Con las abundancias de huevos de anchoveta estandarizados y recolectados con ambos sistemas de muestreo, se obtuvo el coeficiente de correlación de Pearson's y la estimación de parámetros para la regresión lineal. Estos análisis se realizaron con datos no transformados y transformados ( $\ln(x+1)$ ) y cuyos resultados se presentan en la **tabla 10**, obteniéndose bajos coeficientes de correlación.



De las 257 muestras recolectadas en ruta, los huevos de anchoveta se presentaron en 102 estaciones, concentrando un total de 2.191 huevos/m<sup>3</sup>, con una media de 21 y densidades que fluctuaron entre 1 y 224 huevos (**Fig. 26**). De las 74 estaciones muestreadas con ambos sistemas, los huevos de anchoveta se observaron en 34 (CUFES) y 54 (CaIVET) de ellas, totalizando una densidad de 330 y 969 huevos/10 m<sup>3</sup>, respectivamente.

#### **5.10 Estandarización de metodologías aplicadas en la evaluación del stock desovante de anchoveta en base al “Método de Producción de Huevos”**

En los talleres efectuados en Iquique, en noviembre 2000 y en marzo 2001, se discutió la metodología del MPH para la estimación de la biomasa desovante de anchoveta en Chile, proponiéndose un enfoque metodológico para ser utilizado en los próximos estudios del MPH. Además, se reunieron las bases de datos de todos los MPHs de anchoveta y se re-estimaron las biomásas desovantes de anchoveta desde 1992 al 2000, analizándose con acuidad los principales inconvenientes encontrados en la aplicación del MPH.

##### **a) Cálculo del área de desove**

En la **figura 27** se presentan los resultados del cálculo de las áreas de desove según los dos criterios definidos en la metodología (punto 4.5.7). Se observa claramente que en general el criterio estructural o de límite inferior estima menores superficies que el criterio funcional o de interpolación, oscilando entre 4.536 y 10.180 mn<sup>2</sup> el primero y entre 7.525 y 13.059 mn<sup>2</sup> el segundo. Sin embargo, en los últimos años los resultados de ambos métodos tendieron a la convergencia.



Se debe señalar que el criterio estructural o de límite inferior es una opción ligada al diseño de muestreo, dado que en un muestreo sistemático de transectas, las estaciones están predefinidas a una distancia fija al interior de una transecta, de forma tal que conocer el área que representa cada estación es natural. Sin embargo, tiende a subestimar el área de desove, puesto que las zonas no muestreadas no tienen posibilidad de quedar representadas en el área de desove.

Por otra parte, el criterio funcional o de interpolación tendería a sobre-estimar el área de desove, dado que a través de las observaciones vecinas a las estaciones no muestreadas se decide sobre la necesidad de incluirlas como parte del área de desove.

#### **b) Estimación del $P_0$ y $Z$**

La asignación de edades de los huevos, según la etapa de desarrollo, la temperatura y la hora de colecta, se realizó utilizando la metodología propuesta por Lo (1985).

Las estimaciones del modelo exponencial de sobrevivencia de los huevos entregaron en general ajustes satisfactorios cuyos resultados se muestran en la **tabla 11** y en la **figura 28**. Los estimados del intercepto del modelo oscilaron entre 23,75 y 44,16, a excepción de 1999 donde se estimó un  $P_0$  de 88,77.

Dado el alto grado de contagio de los huevos en el mar, existen puntos atípicos con un alto número de huevos, que tendieron a elevar la estimación de  $P_0$ , especialmente en 1999 (**Fig. 28**). Dos estaciones al interior de la bahía de Antofagasta en 1999 presentaron valores extremadamente altos, contribuyendo con un 32,5% al total de huevos recolectados (2.287 de un total de 7.035 huevos). Un factor que puede



explicar este hecho es la alta estabilidad de la bahía, la que constituye una zona de alta retención por condiciones únicas de geomorfología costera y oceanográficas. Estos puntos atípicos provocan una sobrestimación del intercepto de la curva de mortalidad ( $P_o$ ) comparado con las estimaciones de  $P_o$  de los otros años. En consideración a esto se realizaron dos estimaciones de  $P_o$  para 1999: la primera que incorpora todos los puntos en el ajuste y la segunda, sin los puntos atípicos.

Al eliminar dos puntos en el ajuste del modelo exponencial para 1999, el  $P_o$  bajó a 25,71, lo que significa una disminución de un 71% en relación al ajuste efectuado con todas las observaciones. Así como el intercepto del modelo se ve claramente influenciado por 2 observaciones atípicas, la tasa de mortalidad también se presentó como la más elevada de todos los años, con un valor de  $-1,68$ , en tanto al ajustar el modelo sin las observaciones atípicas se estimó en  $-0,66$  (**Tabla 11**).

### c) Estimación de la biomasa desovante

Las biomazas estimadas bajo los escenarios 1 y 2 muestran en general la misma tendencia, con diferencias de escalas producto de las diferencias en el tamaño de las áreas de desove (**Fig. 29**). Para el escenario 3, en el cual se estimó el modelo de sobrevivencia de los huevos sin dos observaciones atípicas, solamente varía la tendencia en los últimos años, producto del cambio de  $P_o$  en 1999 (**Fig. 30**).

Todos los escenarios muestran en general similar tendencia histórica, demostrando la consistencia del MPH en la estimación de la biomasa desovante de anchoveta. Se demuestra además que las fluctuaciones en los estimados de biomasa reflejan un índice de abundancia concordante con las variaciones de las capturas totales del año.



La relación entre la biomasa estimada bajo el escenario 3 y un índice independiente de abundancia relativa como lo es el rendimiento medio de pesca para los meses siguientes al crucero (septiembre a diciembre), muestran una buena concordancia (Fig. 31).

#### 5.11 Objetivo específico 3.2.7

**"Realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos en este proyecto y anteriores con los obtenidos a través de métodos indirectos de evaluación de stock"**

Se comparan los resultados de las estimaciones de la biomasa desovante con ASP obtenidos para el período 1984-1999 (Barría, 2001) y la serie reestimada de biomasa desovante estimada por el MPH. Estos resultados muestran discrepancias en términos del nivel, siendo mayores las estimaciones del ASP por un factor de 4. Además, las tendencias son diferentes, siendo particularmente discrepantes en los años 1995, 1996 y 1999 (Fig. 32).

Los resultados indicaron que al comparar los estimados de biomasa entre ambos métodos (ASP y MPH) la relación encontrada fue una función potencial inversa, lo cual diverge de un modelo de regresión lineal con intercepto cero que constituye los valores esperados. El modelo que entregó el mejor ajuste fue la relación con la biomasa desovante con criterio funcional o de interpolación ( $R^2= 0,73$ ), la que explicó de manera significativa la variación de los puntos. Esta relación sería útil para calibrar los modelos de evaluación de stock de anchoveta basados en el ASP (Tabla 12 y Fig. 33).



## 6. ANALISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

---

El patrón reproductivo histórico de la anchoveta, en la I y II Regiones, se caracteriza por presentar una disminución de la intensidad del desove durante los meses de marzo a abril. Posteriormente, se detecta de mayo a junio el incremento inicial de los índices reproductivos, expresión que indica el comienzo del proceso de vitelogénesis, etapa preparatoria para la ovogénesis, la cual termina con desoves de tipo fraccionado. En 1999 dicho patrón presentó alteraciones, situación que fue corroborada por la permanencia de índices gonadosomáticos altos, observándose un amplio proceso de desove desde junio de 1999 a febrero del 2000, registrándose la mayor actividad en agosto-septiembre de 1999, período en que el IGS alcanzó un promedio de 8,1%, valor que se ubicó por sobre el promedio histórico. El relativo reposo sexual se evidenció de febrero a mayo de 1999, con un IGS promedio de 4,1, lo que indica que una fracción importante de la población mantuvo su actividad reproductiva.

En el año 2000 el reposo sexual relativo se evidenció de marzo a mayo (promedio del IGS: 4,6) y a pesar de encontrarse en una baja actividad, los valores del IGS se mantuvieron por sobre lo histórico, similar a lo sucedido en 1999.

Contrariamente a lo observado durante los años 1999 y 2000, en 1997 los índices se presentaron anormalmente bajos, visualizándose un largo período de relativo reposo sexual de enero a julio, con un promedio del IGS que alcanzó a sólo 2,7%. Por su parte, en 1998 se observó que el relativo reposo sexual se ubicó de enero a mayo, registrándose actividad reproductiva de junio de 1998 a enero de 1999, con un máximo en septiembre-octubre, es decir con un desfase de un mes respecto a lo histórico.



El análisis microscópico indicó que en junio del 2000 se evidenció el inicio de la actividad reproductiva masiva (sin presencia de atresia ovárica), observándose el pleno proceso de desove entre la primera quincena de julio y primera quincena de octubre. Un comportamiento similar se registró en 1999, apreciándose que ya en junio existía una importante actividad reproductiva que fue incrementándose, presentando altos índices de actividad de desove entre la segunda quincena de julio y primera quincena de octubre.

En cambio entre julio y primera quincena de agosto de 1997, además de observarse altos índices de desove, se registraron altos porcentajes de ovarios con atresia ovárica. Esta situación es "anómala" al iniciarse el proceso reproductivo ya que este comportamiento se evidencia "normalmente" al término del período reproductivo.

Posteriormente, la presencia de atresia disminuyó en la segunda semana de agosto y septiembre de 1997, registrándose en ese período la mayor actividad de desove, la cual fue marcadamente menor a la visualizada en 1999.

En 1999 prácticamente no se detectó atresia ovárica. Por el contrario, se evidenció un largo período de desove. En cambio en 1997 se registró un evento reproductivo atrasado, con un período de reposo largo (febrero a junio), con una condición anómala, principalmente en mayo y junio, situación asociada a la presencia de atresia en los ovarios en que recién se manifestaba la vitelogénesis.

Las hembras con atresia temprana, como lo sucedido en 1997, no tuvieron la capacidad de desovar en un período cercano y la energía reproductiva la utilizaron probablemente en otros procesos (migración, alimentación, etc.), sin llegar a desovar.



La presencia de atresia al inicio del proceso reproductivo es una condición inusual. Este comportamiento reproductivo de la anchoveta frente a las condiciones oceano-atmosféricas imperantes en 1997-98 (fenómeno "El Niño") ya ha sido observado en otros recursos pelágicos como la sardina española, el cual se caracteriza por altos índices de atresia, profundización de los cardúmenes, concentración de cardúmenes en zonas restringidas de surgencias, disminución del peso, reducción en índice de grasas, etc.

El año 1999, en presencia de condiciones post "El Niño", se caracterizó por presentar un ambiente relativamente estable y favorable para la anchoveta. Esto permitió que este recurso tuviera una alta actividad de desove, comportamiento que se enmarca como una estrategia reproductiva positiva. Esta condición positiva para el recurso permitió que la anchoveta ampliara su zona de desove y volviera a presentar una alta actividad de desove en el año 2000.

Uno de los requerimientos importantes del "Método de Producción de Huevos" para que sus resultados sean confiables, es que su aplicación debe efectuarse durante el período de la máxima actividad de desove. Por ello, la definición del inicio del crucero es clave. El monitoreo que se realiza antes del crucero debe ser minucioso e intensivo y con una cobertura tal que permita estudiar el proceso en toda el área de estudio. Además, la precisión de la información es vital. Para tal efecto se deben utilizar herramientas de análisis macroscópicos (IGS) como microscópicos (Índice de Actividad de desove e Índice de Atresia Ovárica). De acuerdo a los resultados del presente estudio, la utilización de información microscópica permitió obtener una mayor definición del desarrollo ovárico a tiempo real suficiente, lo cual ayudó a tomar una decisión acorde a los objetivos del MPH.



De acuerdo a la Propuesta Técnica, el diseño para la recolección de adultos consideraba 40 lances. En beneficio del estudio, el número de lances positivos se incrementó a 60. Al respecto, es importante mencionar, que en las anteriores aplicaciones del MPH en Chile, se realizaron 50 lances (Rojas y Oliva, 1993), 40 lances (Claramunt *et al.*, 1996), 32 lances (Claramunt *et al.*, 1997), 60 lances (Oliva *et al.*, 1998), 51 lances (Oliva *et al.*, 2000) y en Perú 40 lances (Ayon y Buitron, 1997).

Las capturas de anchoveta, a diferencia de aplicaciones anteriores del MPH, se obtuvieron principalmente en zonas alejadas de la costa, cuyas concentraciones se enmarcaron en áreas restringidas a la I Región. En la II Región la presencia de anchoveta fue costera, obteniéndose bajas capturas, observándose fuera de 5 mn extensas áreas sin presencia de cardúmenes de anchoveta. A pesar de la baja presencia de anchoveta en la II Región, se logró cumplir con el número de lances necesarios para la estimación de los parámetros biológicos provenientes de la captura de adultos.

Los resultados sugieren la presencia de anchoveta en la zona costera en las primeras 5 mn al sur de Mejillones. Sin embargo, en esta zona no se permitió realizar lances de pesca con las embarcaciones pesqueras industriales por constituir el Area de Reserva para la Pesca Artesanal. La ausencia de capturas positivas se explica por un impedimento legal. Se sugiere que en evaluaciones futuras se cuente con el permiso explícito de pescar dentro de la franja de 5 mn. Por otra parte, existe la posibilidad que en esta zona el recurso se encuentre en menores densidades y disperso en aguas superficiales, por lo que los equipos acústicos tienen menor efectividad para detectar la presencia de anchoveta. Además, en estas circunstancias el arte de pesca utilizado (cerco) presenta menor eficiencia. Esta limitación también podría subsanarse al



permitir el acceso a 5 mn, dado que durante la época de desove la mayor probabilidad de encuentro y captura de anchoveta se presenta en zonas costeras.

Durante el crucero se coordina el accionar conjunto de los barcos destinados a recolección de adultos y huevos. Sin embargo, en términos prácticos la presencia de huevos no asegura el éxito en las capturas de anchoveta. Si bien, se inspecciona visualmente la presencia de huevos (sin asignación de estadio) durante el crucero, éstos pueden permanecer durante tres días. La probabilidad de encontrar anchoveta adulta se correlaciona con huevos recién desovados (edades tempranas), los cuales tienen la menor probabilidad de ser capturados. Dado que el máximo desove es a las 22 horas, solamente las muestras ictioplanctónicas exitosas cercanas a esa hora podrían presentar coincidencia espacial entre huevos y adultos. Sin embargo, una alta presencia de huevos de más de un día de edad no asegura que los adultos se encuentren en las cercanías.

El análisis de la estructura de tamaños de la anchoveta evidenció un cambio marcado, respecto a lo reportado en 1999 (moda en 14,0 cm), observándose un desplazamiento modal hacia longitudes mayores (16,0 cm). Es importante señalar que durante el presente crucero no se observaron reclutas, a diferencia del crucero efectuado en 1999, año en el que se capturaron anchovetas entre los 4 y 12,5 cm de longitud total.

El año 2000 se caracterizó por presentar una distribución de huevos con la mayor extensión, abarcando prácticamente toda el área de estudio. Las mayores concentraciones se presentaron en zonas más bien alejadas de la costa, a diferencia de lo reportado históricamente, confirmándose un desove más oceánico que concuerda con la distribución de los adultos (**Fig. 34**).



La media de huevos por estación positiva en el 2000 alcanzó a 49 huevos (DS = 86,11), cifra 14% menor y 26% mayor que las obtenidas en igual período de 1999 y 1997, presentando una amplia cobertura geográfica. El número de huevos en el 2000 presentó, en relación a 1999 y 1997, incrementos de un 38 y 30%, respectivamente.

En 1999 la distribución de huevos presentó un patrón similar a 1992, con una distribución que abarcó desde Arica hasta Antofagasta, destacándose una importante densidad de huevos entre Caleta Patillos (20°45'S) y Caleta Michilla (22°43'S) y dos estaciones con valores altos de huevos que se escaparon del promedio.

El área asociada al río Loa se ha caracterizado por ser un foco importante de desove, situación que se repitió en 1999, observándose un desove muy costero. En la zona ubicada frente al puerto de Arica históricamente se han detectado desoves en áreas alejadas de la costa. Sin embargo, en 1999 la distribución de huevos se presentó más cerca de la costa.

En 1997 se visualizó una condición similar a la reportada en 1995, en la extensión latitudinal hacia el sur del área de estudio. Las concentraciones de huevos encontradas en 1995 reaparecieron al sur de Antofagasta, lo cual se atribuyó a los fuertes cambios climático-oceanográficos ocurridos en la zona de estudio ("El Niño" 1997-98). En 1997 destacaron dos aglomeraciones, una situada entre Mejillones y el norte de Taltal y otra netamente costera, entre Iquique y el norte de Tocopilla.

En 1996 se observó un cambio del patrón exhibido, con respecto a los años que se analizan (1992, 1995, 1997 y 1999). Se evidenció un desove más oceánico, con el número más bajo de huevos registrado y con una disminuida densidad promedio por



estaciones totales. Por otra parte, en 1996 no se detectó la gran concentración de huevos que se encontró en 1995 al sur de Antofagasta.

En 1995 la zona de estudio se amplió hacia el sur, siguiendo la presencia de huevos hasta el límite norte de Taltal, encontrándose importantes concentraciones, lo que ameritó que en los cruceros posteriores se incrementara el área de muestreo hasta Carrizalillo (26° S). El desove en ese año mostró un cambio radical en su distribución, con una baja concentración entre Arica y Punta Lobos, con escasos focos, intensificándose las densidades desde Punta Lobos a Mejillones; y desde el sur de Antofagasta hasta el norte de Taltal, donde el desove fue más intenso y agregado.

Durante 1992 el área de estudio se ubicó entre Arica y Antofagasta, detectándose las mayores densidades de huevos en zonas costeras, entre Arica e Iquique. La excepción fue la transecta ubicada en el límite norte del área de estudio, la cual presentó huevos hasta 100 mn. La mayor dispersión longitudinal en el desove se observó desde el norte de Iquique hasta el norte de Tocopilla.

Al relacionar las condiciones oceanográficas con la distribución de los huevos de la anchoveta, durante el crucero efectuado en agosto del 2000, se observó una concentración mayoritaria de éstos en aguas con temperaturas que oscilaron entre los 15 y 16°C. Una excepción ocurrió el año 1997, año en que se evidenció el fenómeno "El Niño", apreciándose durante el evento cálido las mayores concentraciones en los 18 y 19°C. En el caso de la salinidad se visualizó que los huevos se ubicaron preferentemente en el estrato de 34,6-34,8 psu.

El examen de la distribución de los huevos de la anchoveta muestra que éstos tienden a ubicarse en los bordes de los gradientes térmicos y salinos. No obstante, al analizar



las relaciones entre la densidad de huevos y el gradiente térmico, se apreció que si bien existe una relación, ésta es débil y no explica más allá del 42% de la varianza. Por otra parte, los gradientes salinos superiores a 0,09 psu/2mn estarían inhibiendo la presencia de huevos de anchoveta. Cabe destacar que en 1997 hubo un descenso en la densidad promedio de huevos por pixel y que estaría directamente relacionado con el evento cálido "El Niño", indicando que dicho fenómeno tuvo efectos negativos en la pesquería de la anchoveta en la I y II Región.

Las aplicaciones del MPH en la zona norte de Chile dejan en evidencia que existen marcados cambios en la extensión y localización de los focos de desove de un año a otro, siendo el río Loa y sus inmediaciones un área de desove que se ha caracterizado por su estabilidad y permanencia. Las diferencias interanuales de las áreas de desove han dependido de eventos climatico-oceanográficos y/o explotación del recurso.

El análisis de los parámetros de adultos indicó que a un igual peso promedio de hembra madura, la fecundidad registrada en el 2000 fue mayor a la reportada en 1999 (**Figs. 35 y 36**). La frecuencia de desove también aumentó respecto a lo registrado en anteriores aplicaciones del MPH, acercándose a los valores calculados en 1995, 1996 y 1999 (**Tablas 13, 14 y 15**). Cabe recordar que en 1997 hubo un cambio marcado en los parámetros de adultos, observándose que tanto el peso promedio de hembra madura como la fecundidad parcial y relativa, presentaron valores alrededor de un 30% más bajos. Situación similar se visualizó con la frecuencia del desove, la cual bajó a un 13%. En el 2000 se evidenció una recuperación del peso de hembra madura, de la fecundidad y de la frecuencia de desove, manteniéndose los niveles similares a los reportados en 1995.



La proporción sexual presentó valores parecidos a los calculados en 1992 y 1997, con una representación similar de machos y hembras.

Las alteraciones en el proceso reproductivo de la anchoveta registrados en 1997 se relacionaron directamente con los cambios drásticos en las condiciones climático-oceanográficas producto del fenómeno "El Niño" 1997-98. Comportamiento similar se ha visualizado en otros recursos pelágicos, como la sardina (*Sardinops sagax*) durante "El Niño" ocurrido en 1982-83. En 1999 se observó una condición biooceanográfica más acorde a lo reportado en años anteriores sin presencia del evento "El Niño", es decir, "años normales". Aunque en 1999 se evidenció una recuperación fisiológica de la anchoveta, persistió el bajo número de ovocitos en el ovario y el disminuido peso de las hembras maduras. Posteriormente, en el 2000, se observó una recuperación de todos los parámetros de adultos, lo que indica la buena condición fisiológica de la anchoveta.

En 1997 los cambios oceanográficos alteraron en forma sustancial el proceso reproductivo de la anchoveta, observándose una disminuida condición fisiológica, evidenciada por un bajo contenido de lípidos como fuente energética para la óptima elaboración de los productos sexuales. Esta situación se vio reflejada en una disminución del peso gonadal, un atraso en el proceso reproductivo, un decremento del índice gonadosomático, presencia de atresia gonadal al inicio de la actividad reproductiva, una pérdida porcentual del peso gonadal con respecto al eviscerado, un bajo índice de actividad de desove, un predominio de hembras en período reproductivo, una disminución del tamaño y del peso promedio de hembra madura, y variación en las áreas de desove.



La condición observada en el 2000 indica ausencia de atresia ovárica, con una alta actividad reproductiva que se registró en gran parte del año (con una mayor intensidad en el segundo semestre), un aumento en el índice gonadosomático, un alto índice de la actividad del desove y registros de desoves en zonas alejadas de la costa, las cuales no concuerdan con las áreas reportadas históricamente. Sin embargo, las zonas cercanas al río Loa continúan presentándose en forma persistente, como áreas importantes de desove y crianza.

La información de carácter global señaló que la tendencia general observada desde fines de 1995 hacia un evento frío, se mantuvo hasta abril de 1997, fecha en la cual se comenzaron a visualizar anomalías positivas de la TSM en la zona ecuatorial. Estas anomalías se incrementaron rápidamente hasta junio, disminuyendo ligeramente en julio y agosto, reactivándose nuevamente en septiembre. Los valores de temperatura durante el crucero MPH-1997 concordaron con los señalados por los índices globales y costeros, confirmando el desarrollo de uno de los eventos "El Niño" de la mayor magnitud registrada. En noviembre los índices oceánicos y atmosféricos continuaron presentándose con anomalías de gran magnitud, similares a los registrados en diciembre (Boletín de Alerta Climático, CPPS, diciembre 1997).

La evolución de las condiciones atmosféricas y oceánicas en el Pacífico ecuatorial indicó que el fenómeno "El Niño" alcanzó su máximo en febrero de 1998. Este evento ha sido catalogado como muy fuerte.

A partir de junio de 1998 se observó un cambio, iniciándose en términos generales "La Niña" (evento frío). Las condiciones del fenómeno "La Niña" han persistido desde junio de 1998, con valores de temperatura superficial del mar inferiores a los normales.



Las condiciones frías del evento "La Niña" continuaron dominando el Pacífico tropical durante agosto de 1999, con anomalías en la temperatura superficial del mar entre -0,5 y -1,5°C a lo largo del ecuador. En la costa sudamericana la anomalía de temperatura fue levemente positiva, no sobrepasando 1°C, lo que fue confirmado por el crucero MPH en agosto de 1999.

En la costa norte de Chile, durante todo el período del evento "La Niña" (junio 1998 a la fecha), no se registraron anomalías negativas significativas en la TSM, sólo la salinidad presentó valores negativos levemente significativos.

La tendencia que presentaron los diferentes indicadores oceánicos y atmosféricos globales para enero y febrero del 2000, es la declinación de "La Niña", con ciertos indicios de relativa normalización, que coinciden con los resultados de la gran mayoría de los modelos predictivos efectuados en el mundo (Braun *et al.*, 2000ab).

En agosto del 2000 de acuerdo al análisis de la información oceanográfica obtenida en el crucero MPH-2000 el área de estudio se encontraba en una condición normal, observándose que las anomalías de temperatura y salinidad no presentaron valores significativos que indicaran algún evento frío o cálido.

La situación de normalidad en esta zona se aprecia desde mayo del 2000 (Braun *et al.*, 2000 a y b). Cabe destacar que la zona norte de Chile no fue afectada significativamente por anomalías negativas de temperatura durante la fase fría del ENOS (El Niño- Oscilación del Sur) (Braun *et al.*, 2000 a, Oliva *et al.*, 2000), evento que se manifestó principalmente en la zona ecuatorial desde mayo de 1998 (BAC 88 al 111), y que a septiembre del 2000 prácticamente se encontraba en una condición normal (BAC N° 115 al 119). De mayo de 1998 a mayo del 2000 se presentaron



anomalías de salinidad levemente significativas en la zona de estudio que se alternaron con situaciones de normalidad durante algunos meses. Estas fluctuaciones se originaron por efectos estacionales que por forzamiento remoto.

El sector costero, durante invierno-primavera, presentó en general, surgencia débil a lo largo de la I y II Regiones, situación que, en términos generales, es considerada normal (Cubillos y Fuenzalida, 1994).

Como situación especial, y a modo de diferenciar la zona durante el período, y dentro de la columna de agua analizada, se destaca la presencia de una capa de mezcla que alcanzó los 60 m de profundidad en el sector por sobre 15 mn al sur de Antofagasta. Esto separa la zona en dos áreas, una norte más estratificada, con una capa de mezcla de 20 m como promedio y una sur, con una capa de mezcla de hasta 60 metros. La latitud de Antofagasta ( $23^{\circ}40' S$ ) separó ambas áreas.

Se destaca además la presencia de un núcleo de mínima salinidad, con valores  $> 34,3$  psu, encontrado entre las transectas 8 y 14 ( $23^{\circ}50$  a  $25^{\circ} S$ ) y que no se presentó en la campaña de agosto de 1999 (Oliva *et al.*, 2000). Esto indica un núcleo de intensa ASAA en ese sector que se acercaría hacia la costa desde el oeste, ya que en las transectas 1 a 7 no se detectó.

En la zona norte de Chile durante 1998, la biomasa fitoplanctónica estuvo fuertemente deprimida, con valores típicos de sistemas oligitróficos en las cercanías de la zona costera. Sin embargo, en 1999 la biomasa fitopláctónica se recuperó de manera notable, no obstante se restringió a las primeras 10 mn y en áreas específicas, cuyos centros de gravedad se ubicaron frente a la zona de Arica, entre Iquique y el río Loa y al norte de Mejillones y Antofagasta, manteniéndose la mayor parte del área bajo un



régimen oligotrófico más allá de las 20 mn. La distribución de la biomasa fitoplanctónica reportada, se relaciona directamente con las concentraciones encontradas, durante el crucero MPH de 1999, de huevos como adultos. Posteriormente, en el año 2000 la biomasa fitoplanctónica fue ampliando su distribución hacia el oeste.

Las estimaciones de la biomasa del stock desovante de anchoveta, efectuadas en la I y II Regiones, a través del "Método de Producción de Huevos" (MPH), han sido realizadas alternativamente por el IFOP o UNAP-Univ. Antofagasta. Los dos equipos de trabajo, han insistido en forma reiterada en indicar lo crítico que es determinar el área de desove y estimar la producción de huevos.

Si bien, en las investigaciones anteriores relacionadas con el MPH, las instituciones participantes han mantenido sus metodologías y criterios relativamente invariantes entre un año y otro, se observa que el comportamiento biológico, ambiental o ambos, de una u otra manera han incidido en decisiones que pueden haber influido en el estimado final.

Ha existido subjetividad para definir ciertos criterios durante las aplicaciones del MPH, que en definitiva han redundado en la dificultad que se ha presentado al momento de comparar las estimaciones de biomasa entre un año y otro. También se ha complicado cuando se ha pretendido construir una serie temporal con las estimaciones obtenidas para poder utilizarlas para calibrar evaluaciones indirectas del stock.

Dada la experiencia lograda por el equipo de trabajo, éste se abocó como una tarea fundamental a establecer una metodología estándar para ser aplicada por los ejecutores y que permita usar la serie de estimaciones para conocer con una mayor precisión la tendencia de la biomasa del stock de anchoveta.



El "Método de Producción de Huevos" ha demostrado constituir una herramienta eficaz para la determinación de la biomasa del stock desovante de la anchoveta del norte de Chile. La mayor fuente de variabilidad en la estimación está asociada a la determinación del parámetro producción diaria de huevos ( $P_o$ ), el cual contribuye en forma relevante al incremento del coeficiente de variación del estimado. Esta situación fundamentalmente se genera por: i) las características espaciales del desove de la anchoveta, ii) distribución de parches de los huevos, iii) corta residencia de los huevos en el mar y iv) la falta de una definición clara de los límites geográficos del área de desove.

En este informe, se entrega una metodología estándar discutida y consensuada y que involucra a las tres instituciones ejecutoras del actual proyecto. Esta metodología fue la que en definitiva se utilizó para estimar la biomasa del stock desovante de anchoveta para el año 2000.

Una de las modificaciones de mayor impacto en el procesamiento y análisis de la información corresponde a la determinación del área de desove (**Anexo**), la que queda delimitada a través de las estaciones con presencia de huevos. En relación a los criterios utilizados anteriormente, el aplicado en el presente proyecto reporta menores áreas, dado que se evita efectuar interpolaciones excesivas en función de las estaciones positivas. Es así como para el año 2000, se estimó un área de desove de  $10.180 \text{ mn}^2$  (criterio estructural o límite inferior) y  $13.059 \text{ mn}^2$  (criterio funcional o de interpolación). De este modo la estimación de biomasa según los nuevos criterios es más conservadora que la reportada en años anteriores (**Tabla 16**).

Por otra parte, al utilizar la metodología empleada en 1999 por Oliva *et al.* (2000), la estimación del área de desove aumenta en forma sustantiva, lo que lleva a una



estimación aproximada de biomasa de 980 mil toneladas. Esto difiere de la metodología utilizada en el 2000 que entregó una biomasa de 587.806 y 754.040 t. Si bien la diferencia es sustancial, la estimación del año 2000 es conservadora y se ajusta rigurosamente a los huevos colectados a través del crucero, lo que permite tener una visión de un nivel de referencia mínimo de la biomasa del stock de anchoveta en la I y II Regiones.

Es importante destacar, que la elaboración de una serie temporal con todas las estimaciones de biomasa, calculadas bajo idénticos criterios, permitió conocer la tendencia de las biomásas entre 1992 y 2000. De esta forma la estimación puntual de la biomasa anual pasa a ser vista como parte integral de una serie temporal, lo cual permite entregar la tendencia del stock con mayor precisión.

Alternativas que se identifican para mejorar la estimación del área de desove en los próximos estudios es la aplicación de Geoestadística y/o el uso de los Modelos Aditivos Generalizados (GAM). La Geoestadística permitiría estimar densidades de huevos en áreas no muestreadas, en función de las observaciones vecinas. Por su parte los GAM estimarían para ciertas variables predictoras, como latitud, longitud, temperatura y salinidad superficial, la probabilidad de encontrar huevos de anchoveta, lo que ayudaría a calcular el área de desove en función de las predicciones del modelo.

Dado el alto grado de influencia que tienen las observaciones atípicas (gran concentración de huevos en una estación determinada) en el ajuste del modelo de sobrevivencia, se debe estudiar con detención este fenómeno que biológicamente es normal. En este sentido se debe analizar si el diseño de muestreo es correcto, dado el comportamiento del ictioplancton en la masa de agua. Además, hay que mencionar



que en general el área de estudio tiene una gran cobertura ( $> 17$  mil  $\text{mn}^2$ ), en tanto que el número de estaciones no supera las 800, con distancias entre 3 y 5 mn entre ellas y entre 10 y 5 mn entre transectas. Es posible que el diseño de muestreo no permita conocer las reales densidades de huevos, dado el alto nivel de agregación de los patches de huevos.

Otra alternativa que se puede utilizar ante la presencia de observaciones atípicas, consiste en la aplicación de técnicas de regresión robusta, en la cual se penalizan las observaciones que contribuyen excesivamente a la suma residual de cuadrados. Esta alternativa permitiría mantener las observaciones en el ajuste, ponderando su participación de forma inversamente proporcional a su aporte a la suma residual de cuadrados.

El análisis de población virtual (APV) y sus variantes son una herramienta poderosa para estimar la abundancia histórica de un stock. En el proceso de evaluación de stock se requiere de estimados de mortalidad por pesca para el último año o de manera equivalente al tamaño del stock. Esto significa que es necesario contar con “información auxiliar” para obtener estimaciones confiables de abundancia de los años recientes.

La información auxiliar es necesario obtenerla preferentemente de fuentes independientes de la pesquería, particularmente en los stocks de peces pelágicos. Las más utilizadas son estimaciones de la abundancia obtenidas a través de cruceros de investigación. En pesquerías pelágicas las fuentes más frecuentes han sido la evaluación acústica y el Método de Producción de Huevos (MPH) (Lasker, 1985). El MPH fue desarrollado específicamente para la anchoveta de California y ha sido aplicado con éxito en diferentes pesquerías del mundo.



En la evaluación de stock de la anchoveta a través de ASP se ha utilizado hasta la fecha el índice larval para calibrar el modelo, asociando esta variable con la biomasa desovante estimada. Anteriormente se consideró también la cpue como índice de abundancia relativa, pero fue desechada en las últimas evaluaciones (Barría, 2001). El índice larval es un sustituto de la biomasa desovante pero es débil en el caso de la anchoveta por ser este recurso un desovador parcial. Por ello contar en la zona norte de Chile con seis cruceros para la evaluación del stock desovante de anchoveta a través del MPH, constituye un importante avance. Por otra parte, el reprocesamiento de la información con procedimientos estandarizados era una condición necesaria para poder utilizarla como "información auxiliar", trabajo que permitirá mejorar la evaluación del stock de la anchoveta en la I y II Regiones.

Respecto a la discrepancia en la magnitud de la biomasa desovante de la anchoveta obtenida por ambos métodos (ASP y MPH), que es de un factor 4,2, se puede mencionar que la evaluación de stock se realizó considerando un área más extensa que incluye el sur de Perú y norte de Chile ( $16^{\circ}00' - 24^{\circ}00' S$ ), por lo tanto, tiende a disminuir este factor pero no explica totalmente esta diferencia. Por otra parte, se observa claramente que existe un cambio de tendencia entre ambas series de biomasa desovante, ambas estimaciones al ser comparadas debiera obtenerse un modelo de regresión lineal con intercepto igual a cero, y un valor de pendiente que indique la proporcionalidad entre ambas series. Sin embargo, los valores al ser comparados representan una relación potencial inversa. Este resultado se produce porque los resultados de la biomasa desovante son dependientes del área de muestreo y los focos de desove presentan variaciones espacio-temporales anuales en el norte de Chile y sur del Perú que alteran esta relación, es decir existiría una relación inversa entre el área de desove y la biomasa desovante que podría ser modificada por efectos ambientales.



El MPH define la biomasa desovante como la fracción de peces capaces de desovar durante el período de crucero (Parker, 1980). Los peces que no son capaces de desovar se presume como aquellos que no han llegado a su primera madurez sexual. Peces en condición de post-desove se asumen que han desovado durante el crucero de forma tal que son incluidos como parte de la biomasa desovante. Si se quisiera realizar la conversión de biomasa desovante a biomasa total, sería necesario estudiar otros aspectos del stock como la talla de primera madurez sexual (proporción de maduros a la talla y edad), ya que ésta puede sufrir variaciones interanuales y estar sujeta a variaciones ambientales. A modo de ejemplo, en California la conversión de biomasa desovante de anchoveta del norte a total fue incierta por dos razones: 1) la proporción de peces de un año de edad que alcanzan la madurez sexual varía debido a cambios con la temperatura y otros factores 2) el crucero de adultos del MPH se concentra sobre los desovantes, por lo tanto se submuestra los peces juveniles e inmaduros, de forma tal que la razón de capturas del MPH no puede ser usada para hacer la conversión (Hunter y Lo, 1997).

El ASP está afecto a la misma limitación cuando estima biomasa desovante indirecta, ya que actualmente en Chile se asume la ojiva de madurez constante entre años. Además es necesario efectuar estudios tendientes a la validación del crecimiento de la nachoveta en el área de estudio. Una intercalibración entre ambos métodos, la cual no se realiza actualmente, requerirá de un estudio rutinario de los aspectos necesarios para convertir biomasa desovante a total, así como también, el proceso de calibración del ASP con los resultados del MPH.

Estas consideraciones hacen que actualmente las biomásas de ambos métodos sean incomparables.



Las actuales tendencias en la investigación de recursos naturales hacen necesario la obtención de estimaciones de las densidades y biomasa de los recursos por varios métodos, esto debido a que los modelos desarrollados presentan distintos supuestos, metodologías, limitaciones y niveles de incertidumbre, más aún la obtención de varias estimaciones independientes de biomasa permiten tener más de una aproximación a la realidad lo que enriquece el conocimiento de las dinámicas de los recursos, contribuyendo de mejor manera a la administración. En este mismo sentido, Gunderson (1993) manifiesta la necesidad de contar con estimados alternativos de biomasa, ya que los métodos directos o indirectos tienen sus propias fuentes de sesgo, por lo cual el uso de varias técnicas, debe ser parte integral de un programa de evaluación de stock, siendo en algunos casos necesario tener una tercera estimación de biomasa.

En relación, a las ventajas de la aplicación del MPH, Hunter y Lo (1997) señalan: talvez la conclusión más importante derivada de la revisión sistematizada de investigaciones, que después de 15 años de uso, el Método de Producción Diaria de Huevos (Lasker, 1985) persiste como un método robusto de estimación de biomasa de peces, y luego agregan: la gran fortaleza del MPDH es posicionarse como el único método de estimación de biomasa absoluta donde todas las variables son medidas directamente en el crucero.

El año pesquero 2000, tuvo resultados operacionales que pueden ser catalogados como "buenos", respecto a los volúmenes extraídos en el mal año pesquero de 1998 y con las proyecciones estimadas para el 2000, las que se ajustaron a la realidad (**Tabla 17**). Por otra parte, los resultados del 2000, pueden calificarse como "regulares" si se comparan con los registros históricos recientes (1990 a 1997).



Es de interés destacar los siguientes hechos que han incidido sobre los volúmenes desembarcados por la flota cerquera en el año 2000:

- La escasa incidencia de anchoveta de pequeño tamaño (reclutas) en las capturas en el primer trimestre del 2000, no obstante haber operado toda la flota en el primer trimestre. Esta situación es atípica y que no concuerda con el patrón de reclutamiento histórico de la anchoveta.
- De abril a noviembre del 2000 las capturas se han mantenido en niveles tales que han permitido operar con normalidad a la flota cerquera.
- Las capturas de anchoveta se caracterizaron por estar constituidas por ejemplares de gran tamaño durante todo el año, lo que ha permitido una operación continua.
- Por otra parte, el año 2000 se caracterizó por las inusuales altas capturas de jurel, con presencia en áreas colindantes de cardúmenes de diversas especies, hecho asociado a un período post "El Niño", con aguas ricas en nutrientes.
- En el año 2000 se observó la consolidación de las principales empresas pesqueras, derivada de la reestructuración económica y funcional que ha estado orientada a mejorar la estrategia de gestión. Esto ha introducido un importante cambio en la dinámica operacional de la flota, aplicando un menor esfuerzo de pesca, dirigiendo su operación con el objetivo de optimizar los rendimientos. Un ejemplo claro es lo que actualmente (noviembre 2000 a febrero del 2001) está sucediendo, en el sentido de buscar zonas de pesca donde la presencia de anchovetas de pequeño tamaño sea mínima,



con el fin de mantener una operación continua y evitar que la Autoridad Pesquera restrinja las capturas a través de una veda de reclutamiento.

- Se vislumbra una pesca costera más responsable, asociada a la puesta en marcha de los posicionadores satelitales y otros factores relacionados con la administración interna de las empresas pesqueras.
- Según el análisis de las capturas, se observa una baja presencia de ejemplares reclutas en la I y II Regiones, en el período típico de ingreso de reclutas a la pesquería, es decir, de octubre de 2000 hasta la fecha, situación que fue corroborada por el crucero efectuado por el B/I "Abate Molina" en enero del 2001.

Es importante indicar que en la I y II Regiones, se han observado algunos indicadores biológicos que de alguna manera permiten dar información que puede ser relevante, y que se relacionan con el comportamiento presente y futuro próximo de los principales recursos pelágicos:

- Presencia de gran cantidad de salpas, desde la costa hasta las 80 mn desde julio del 2000 hasta marzo del 2001.
- Presencia de medusas de regular a gran tamaño desde septiembre del 2000 hasta marzo del 2001.
- Presencia de caballas, palometas, bonitos, tiburones y albacoras desde octubre del 2000.
- Presencia de importantes cardúmenes de jurel de pequeño y mediano tamaño, desde fines de octubre a julio del 2001. Estos jureles se encontraban en pleno proceso reproductivo entre octubre del 2000 y enero del 2001.



- En la I y II Regiones, la distribución del jurel en las cercanías de los cardúmenes de la anchoveta y otras especies pelágicas (caballa), ha obligado a la flota cerquera a descartar un tonelaje importante de jurel, ya que se encuentra en veda.
- De julio del 2000 a marzo del 2001, las capturas de la anchoveta y en general de los recursos pelágicos se han efectuado en zonas alejadas de la costa, debido a que los mayores cardúmenes de recursos pelágicos se ubican en áreas menos costeras que las reportadas históricamente.



## 7. CONCLUSIONES

---

- En el año 2000, la anchoveta capturada en la I y II Regiones, presentó un prolongado e intenso proceso reproductivo, con un reposo sexual disminuido y prácticamente sin presencia de atresia ovárica.
- El análisis microscópico indicó que en junio del 2000 se intensificó el proceso reproductivo, observándose el pleno desove en agosto-septiembre, con presencia de ovocitos vitelogénicos, hidratados y folículos postovulatorios, sin presencia de atresia ovárica, condición que comenzó a disminuir levemente en octubre.
- Las zonas de mayor concentración de anchovetas se ubicaron de Arica a Pisagua entre las 40 y 70 mn; entre Mejillones del norte y Chucumata de las 20 a 50 mn; y de Patache a Tocopilla a 10 mn. La distribución de los lances efectivos, en términos generales, fue concordante con los registros de los huevos.
- El análisis de los parámetros de adultos indicó que a un igual peso promedio de hembra madura, la fecundidad registrada en el año 2000 fue mayor a la reportada en las anteriores aplicaciones del MPH en el país. Situación similar ocurrió con el peso promedio de hembra madura y la frecuencia de desove, valores que se incrementaron respecto a lo registrado en los anteriores estudios del MPH.
- La proporción sexual presentó valores similares a los calculados en 1992 y 1997, con una representación similar de machos y hembras.



- La distribución espacial del desove, de acuerdo a la concentración de huevos, ocurrió en el rango latitudinal comprendido entre Arica y Taltal, presentando los siguientes focos de abundancia:
  - a) Frente a Pta. Tetas (23° 30' S).
  - b) Entre Pta. Algodonales (22° 05' S) y Cta. Paquica (21° 55' S).
  - c) Frente a Cta. Guanillos del Norte (21° 10' S).
  - d) Al oeste de Pta. Cavanca (20° 15' S).
  
- La distribución de los huevos de la anchoveta respecto a las condiciones oceanográficas indicó que éstos se concentraron preferentemente en temperaturas de 14 a 16°C, en salinidades de 34,6 a 34,8 psu y en gradientes térmicos entre 1,2 y 1,6 (°C/2 mn), con una asociación débil entre las variables. La asociación de la salinidad con la densidad de huevos fue más fuerte, no obstante, en gradientes superiores de 0,09 psu/2mn las densidades de huevos disminuyeron notablemente.
  
- En la I y II Regiones la biomasa del stock desovante de la anchoveta estimada a través de la aplicación del "Método de Producción de Huevos", según el criterio estructural o límite inferior fue de 587.806 toneladas y de acuerdo al criterio funcional o de interpolación fue de 754.040 toneladas, valores significativamente menores a lo reportado en 1999.
  
- La temperatura superficial registrada en agosto del 2000 presentó valores entre 14 y 17°C. La salinidad superficial se ubicó entre los 34,4 y 35,0 psu. Los registros observados se ajustaron a valores normales.



- La anomalía de la TSM y la salinidad superficial registrada en agosto del 2000 no superó 1°C y 0,1 psu, respectivamente, indicando una situación normal desde el punto de vista térmico y salino.
- La termoclina registrada en agosto del 2000 se presentó bajo la capa de mezcla, con un grosor entre 20 y 50 m, valores que se ajustan a los patrones normales.
- Los valores de temperatura y salinidad durante el crucero efectuado en invierno del 2000, en la I y II Regiones, concuerdan con lo señalado por los índices globales y costeros y confirman condiciones normales.
- El “Método de Producción de Huevos” para estimar la biomasa desovante de la anchoveta en la zona norte de Chile ha resultado ser un método robusto e insesgado, lo que hace recomendable su aplicación.
- Existen magnitudes y tendencias diferentes de la biomasa desovante de la anchoveta estimada a través del ASP y el MPH, existiendo una relación potencial inversa entre el estimado de biomasa desovante del ASP y el MPH, lo cual podría relacionarse con variaciones espacio-temporales en el área de desove.



## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- ALHEIT, J. 1985.** Egg production method for spawning biomass estimates of anchovies and sardines. International Council for the exploration of the sea. C. M. 1985/H: 41. Pelagic Fish Committee. Session Q. Contribution N° 31. PROCOPA. 10 p.
- ALHEIT, J., V. H. ALARCON AND B. J. MACEWICZ. 1984.** Spawning frequency and sex ratio in the Peruvian anchovy, *Engraulis ringens*. CalCOFI Rep. 25: 43-52.
- ARMSTRONG, M., P. SHELTON, I. HAMPTON, G. JOLLY, AND Y. MELO. 1988.** Egg production estimates of anchovy biomass in the southern Benguela system. CalCOFI Rep. 29: 137-157.
- AYON, P. 1996.** Biomasa desovante 1995 del stock norte-centro de la anchoveta peruana *Engraulis ringens*, estimada por el Método de Producción de Huevos. Inf. Inst. Mar Perú N° 119: 14-20.
- AYON, P. Y B. BUITRON. 1997.** Estimación de la biomasa desovante del stock norte-centro de la anchoveta por "el Método de Producción de Huevos", durante el invierno 1996. En Crucero de Evaluación de la Biomasa Desovante de la Anchoveta. BIC Humboldt 9608-09. IMARPE-PERU. CEE-VECEP ALA 92/43. Informe N° 123. 13-19.
- BAC 87 AL 111:** Boletín de Alerta Climático. CPPS. (Diciembre 1997 a Diciembre 1999).
- BAC 115 AL 119:** Boletín de Alerta Climático. CPPS. (Abril a Agosto del 2000).



- BARRIA, P. 2001.** Evaluación stock de anchoveta 2000. Informe Final. Subsecretaría de Pesca. 20 pp. +tablas y figuras.
- BINDMAN, A. G. 1986.** The 1985 spawning biomass of the northern anchovy. CalCOFI Rep. 27: 16-24.
- BLANCO, J. L. 1996.** Variabilidad térmica y salina en la zona norte de Chile. Informe interno. IFOP.
- BLAXTER, J. AND J. HUNTER. 1982.** The biology of the clupeoid fishes. Adv. Mar. Biol. 20: 201 – 223.
- BRAUN, M. 1995.** Determinación de la distribución espacial y la abundancia de huevos y larvas de sardina española, anchoveta y jurel. En: Evaluación Hidroacústica de los Stocks de Sardina Española, Anchoveta y Jurel en la Zona Norte, I a IV Regiones. Informe Final - Proyecto FIP.
- BRAUN, M. 1996.** Ictioplancton. En: Evaluación Hidroacústica de los Recursos Anchoveta, Jurel y Sardina Española de las Regiones I a IV. Informe Final FIP 95-03. 165 pp + Figuras y Tablas.
- BRAUN, M., J. BLANCO Y V. VALENZUELA. 1997.** Monitoreo de las condiciones bioceanográficas en la I y II Regiones. Primer Informe de Avance FIP 95-05. 80 pp + Tablas y Figuras.
- BRAUN, M., H. REYES, J. OSSES Y J. CASTILLO. 2000a.** Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas en la I y II regiones. Primer Informe de Avance. Proyecto FIP 2000-01.



- BRAUN, M., H. REYES, J. OSSES y J. CASTILLO. 2000b.** Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas en la I y II Regiones. Segundo Informe de Avance. Proyecto FIP 2000-01.
- CASTILLO, J., M. BRAUN Y J. BLANCO 1993.** Cuantificación estacional de la biomasa de los recursos pelágicos y vigilancia bio-oceanográfica, zona norte. Informe Final. IFOP. Chile. 58 p + anexos.
- CLARAMUNT, G., G HERRERA, J. PIZARRO, P. PIZARRO, R. ESCRIBANO, M. OLIVA, A. OLIVARES, C. GUERRA Y A. ZULETA. 1996.** Evaluación del stock desovante de anchoveta por el "Método de Producción de Huevos" en la I y II Regiones. Informe Final, Proyecto FIP 95-01. Fondo de Investigación Pesquera. Universidad "Arturo Prat" Iquique. 49 pp + anexo.
- CLARAMUNT, G., G HERRERA, P. PIZARRO, J. PIZARRO, R. ESCRIBANO, M. OLIVA, A. OLIVARES Y A. ZULETA. 1997.** Evaluación del stock desovante de anchoveta por el "Método de Producción de Huevos" en la I y II Regiones. Informe Final, Proyecto FIP 96-01. Fondo de Investigación Pesquera. Universidad "Arturo Prat" Iquique. 75 pp + anexo.
- COCHRAN, W. G. 1980.** Técnicas de muestreo. Compañía Editorial Continental S.A. de C.V. México.
- CUBILLOS, L. Y R. FUENZALIDA. 1994.** Indices de surgencia y ocurrencia de eventos "Laker" en Iquique y Antofagasta (Chile) y su incidencia sobre los aspectos reproductivos de *Sardinops sagax* y *Engraulis ringens*. Cienc. Tec. Mar. 17: 3-13.



**FRONTIER, S. 1983.** Stratégies D'échantellonnage de E'cologie. Les Presses de L'Universite Laval Quebec.

**GAVARIS, S. 1988.** An adaptative frame work for the estimation of the population size. Can Atl. Fish. Sci. Adv. Comm. (CAFSAC) Research Doc 88/29.

**GUZMAN, S., P. AYON Y L. PIZARRO. 1995.** Biomasa desovante de la anchoveta y condiciones oceanográficas. Crucero 9408-10 bic snp – 1 y bolicheras. Informe IMARPE. 115: 1-115.

**GULLAND, A. R. 1987.** Nonlinear statistical models. John Wiley and Sons, INC.

**GUNDERSON, D. R. 1993.** Surveys Fisheries Resources. John Wiley & Sons, New York. 248 p.

**HEWITT, R. 1985.** The 1984 spawning biomass of the northern anchovy. CalCOFI Rep. 26: 17-25.

**HEWITT, R., BINDMAN AND NANCY LO. 1984.** Procedures for Calculating the Egg Production Estimate of Spawning Biomass. Administrative report LJ-84-19. National Marine Fisheries Service. Southwest Fisheries Center, La Jolla, CA. U.S.A. 46 p.

**HUNTER, J. AND S. GOLDBERG. 1980.** Spawning incidence and batch fecundity in northern anchovy, *Engraulis mordax*. Fish. Bull., U.S. 77: 641-652.

**HUNTER, R., N. LO AND R. LEONG. 1985.** Batch fecundity in multiple spawning fishes. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning



- biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 67 - 77.
- HUNTER, J. R. AND B. J. MACEWICZ. 1980.** Sexual maturity, batch fecundity, spawning frequency and temporal pattern of spawning for the northern anchovy, *Engraulis mordax*, during the 1979 spawning season. CalCOFI Rep. 21: 139-149.
- HUNTER, J. R. AND B. J. MACEWICZ. 1985.** Rates of atresia in the ovary of captive and wild northern anchovy, *Engraulis mordax*. Fish. Bull, U. S.: Vol 83 N° 2. 119-136.
- LASKER, R. (Ed.). 1985.** An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. NOAA Tech. Rep. NMFS 36. 99 p.
- LO, N. 1985.** A model for temperature – dependent northern anchovy egg development and an automatic procedure for the assignment of egg to staged eggs. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 43 - 50.
- MACEWICZ, B. AND R. HUNTER. 1993.** Spawning frequency and batch fecundity of jack mackerel, *Trachurus symmetricus*, off California during 1991. CalCOFI Rep. 34. 112-121.
- MARTINEZ, C., L. CABALLERO, G. BÖHM, J. OLIVA, R. GILI, V. BOCIC, P. BARRIA Y R. SERRA. 1992.** Diagnóstico de las principales pesquerías



- pelágicas zona norte 1991. Estado de situación y perspectivas del recurso. Convenio CORFO-IFOP. Chile. 51 p.
- MARTINEZ, C., L. CABALLERO, U. PARKER, G. BÖHM, J. OLIVA, V. FERNANDEZ, S. PEÑA, R. GILI, H. HIDALGO, P. BARRIA, R. SERRA Y M. NILO. 1994.** Diagnóstico de las principales pesquerías pelágicas zona norte 1993. Estado de situación y perspectivas del recurso. Convenio CORFO-IFOP. Chile. 135 p.
- MARTINEZ, C., U. PARKER, L. CABALLERO, G. BÖHM, J. OLIVA, S. PEÑA, R. GILI, H. HIDALGO, V. FERNANDEZ, P. BARRIA Y R. SERRA. 1993.** Diagnóstico de las principales pesquerías pelágicas zona norte 1992. Estado de situación y perspectivas del recurso. Convenio CORFO-IFOP. Chile. 135 p.
- MICROIMAGES. 1997.** TNTmips. The map and image processing system 5.8: User's Guide and Technical References. Microimages, INC. Nebraska, USA.
- MOSER, H. G. AND E. H. AHLSTROM. 1985.** Staging anchovy eggs. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 37-41.
- MOTOS, L. AND J. SANTIAGO. 1990.** An egg production estimate of biomass of the bay of Biscay anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in 1989. ICES CM 1990/H:26.
- MOTOS, L. AND A. URIARTE. 1991.** An egg production estimate of biomass of the bay of Biscay anchovy in 1990. ICES C M 1991/H:32.



- OLIVA J., J. BARAÑADOS Y M. TIRADO. 1989.** Determinación de la fecundidad y frecuencia del desove de la sardina (*Sardinops sagax*), 1986. Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS). Pacífico Sur (Número Especial): 341-348.
- OLIVA J., M. BRAUN, J. CASTILLO, J. BLANCO Y O. ROJAS. 1998.** Evaluación del stock desovante de la anchoveta en la I y II Regiones (1997). Instituto de Fomento Pesquero. Informe Final. Proyecto FIP 97-01. 133 p.
- OLIVA J., M. BRAUN, J. CORDOBA, J. CASTILLO, V. CATASTI, V. VALENZUELA, O. ROJAS, J. BLANCO Y C. MARTINEZ. 2000.** Evaluación del stock desovante de la anchoveta en la I y II Regiones 1999. Instituto de Fomento Pesquero. Informe Final. Proyecto FIP 99-10. 134 p.
- PALOMERA, I. Y J. PERTIERRA. 1993.** Anchovy biomass estimate by the daily egg production method in 1990 in the western Mediterranean Sea. *Sci. Mar.*, 57 (2-3): 243-251.
- PARKER, K. 1980.** A direct method for estimating northern anchovy, *Engraulis mordax*, spawning biomass. *Fish. Bull.*, U.S. 78: 541-544.
- PICQUELLE S. J. AND R. P. HEWITT. 1983.** Estimates of the spawning biomass of the northern anchovy for the 1983-84 California fishing season. NMFS, S. W. Fish. Cent. Admin. Rep. LJ-83-15. 27 p.
- PICQUELLE, S. J. AND G. STAUFFER. 1985.** Parameter estimation for an egg production method of northern anchovy biomass assesment. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic



fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 7-15.

**PIENNAR L., AND W. RICKER. 1968.** Estimating mean weight from length statistics. J. Fish. Res. Board Can. 25: 2743-2747.

**RAJ, D. 1968.** Sampling Theory. Mc Graw-Hill Book Company.

**ROJAS, O. Y J. OLIVA. 1993.** Evaluación del Stock Desovante de Anchoveta de la Zona Norte por el Método de Producción de Huevos. Programa de evaluación directa de recursos pelágicos de la zona Norte. Convenio Empresas Pesqueras del Norte e Instituto de Fomento Pesquero. 50 p.

**SANCHEZ, R., M. PAJARO AND G. MACCHI. 1996.** The application of the daily egg production method to the assesment of the SW Atlantic anchovy (*Engraulis anchoita*), spawning biomass off Argentina. International Council for the Exploration of the sea. Pelagic Fish Committe, CM 1996/H: 29.

**SANTANDER, H., J. ALHEIT AND P. E. SMITH. 1984.** Estimación de la biomasa de la población desovante de anchoveta peruana, *Engraulis ringens*, en 1981 por aplicación del " Método de Producción de Huevos". Bol. Inst. Mar Perú, Callao. 8: 209-250.

**SANTANDER, H. Y M. MALDONADO. 1985.** Estimación de la biomasa desovante de anchoveta y sardina por el método de producción de huevos. Crucero BIC HUMBOLDT 9508-09. IMARPE. Informe Interno.



- SANTANDER, H., P. E. SMITH Y J. ALHEIT. 1982.** Determinación del esfuerzo de muestreo requerido para el estimado de producción de huevos de anchoveta, *Engraulis ringens*, frente al Perú. Bol. Inst. Mar Perú, Callao. 7(1): 16 p.
- SANTIAGO, J. Y A. SANZ. 1989.** Egg production of the Bay of Biscay anchovy in 1987 and 1988, and spawning stock size estimates. ICES C. M. 1989/H. 25 p.
- SANZ, A., MOTOS Y A. URIARTE. 1989.** Daily fecundity of Bay of Biscay anchovy population in 1987. ICES C. M. 1989/H. 42 p.
- SEBER, G.H.F. 1973.** The estimation of animal abundance and related parameters. Hafner Press, N.Y. 506 p.
- SELMAN, K. AND R. WALLACE. 1989.** Cellular aspects of oocyte growth in teleosts. Zool. Sci. 6: 211-231.
- SERRA, R. 1976.** Escala de madurez sexual para sardina española (*Sardinops sagax musica*, Girard) y anchoveta (*Engraulis ringens*, Jenyns) y jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*, Nichols). Invest. Pesq. Instituto de Fomento Pesquero. 24: 1-20.
- SHELTON D., M. AMSTRONG AND B. ROEL. 1993.** An overview of the application of the daily egg production method in the assessment and management of anchovy in the southeast Atlantic. Bull. Mar. Sci. 53(2): 778-794.
- SIMPSON, J Y E. GIL. 1967.** Maduración y desove de la anchoveta (*Engraulis ringens*) en Chile. Bol. Cient. IFOP. Chile. 4: 55 p.



- SMITH, P.E., W. FLERX AND R.P. HEWITT. 1985.** The CalCOFI vertical egg tow (CalVET) net. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 27-32.
- STAUFFER, G.D. AND S. J. PICQUELLE. 1980.** Estimates of the 1980 spawning biomass of the central subpopulation of northern anchovy. NOAA, SWFC. Admin. Rep. LJ - 80-09. 41 p.
- SUBPESCA. 2000.** Informe Sectorial Pesquero. Enero-diciembre 2000. República de Chile. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. Subsecretaría de Pesca. 17 p.
- SUKHATME, P. V. 1962.** Teoría de encuestas por muestreo con aplicaciones. Fondo de Cultura Económica. México-Buenos Aires. 495 p.
- THOMPSON, S. K. 1992.** Sampling. John Wiley and Sons, INC.
- TOLOZA, J. 1999.** Modelación geoestadística aplicada a la distribución espacial de los huevos *Engraulis ringens* Jenyns en la I y II Regiones. Tesis para optar al título de Biólogo Marino Universidad "Arturo Prat", Depto Ciencias del Mar, Iquique-Chile. 54 p.
- WALLACE, R. AND K. SELMAN. 1981.** Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleosts. Am. Zool. 21: 325-343.
- YAMAMOTO, K. AND H. YOSHIOKA. 1964.** Rhythm of development in the oocyte of the medaka, *Oryzias latipes*. Bull. Fac. Fish., Hokkaido Univ. 15: 5-19.

# **T A B L A S**

---

Tabla 1. Caracterización de los estadios ováricos de peces pelágicos (Wallace y Selman, 1981; Hunter y Macewicz, 1985).

ESTADIO OVARICO	CITOLOGIA E HISTOMORFOLOGIA OVARICA
<b>Estadio I: Virginal</b>	Ovario con numerosos nidos ovogoniales y ovocitos primitivos rodeados por tejido conectivo intersticial de donde destacan tabiques fibro-conectivos.
<b>Estadio II: Inmaduro (reincidente)</b>	Lamelas repletas con ovocitos no vitelados rodeados por delgadas células foliculares. Vesícula germinativa grande y central, con prominentes nucléolos esféricos y periféricos. Citoplasma escaso, finamente granular y fuertemente basófilo. En ovocitos previtelogénicos tardíos debuta la presencia de pequeñas vesículas periféricas.
<b>Estadio III: Parcialmente vitelado</b>	Predominio de ovocitos en estado temprano de depositación de vitelo, el cual no abarca más de las 3/4 partes del citoplasma. Destaca la presencia de vesículas periféricas. Vesícula germinativa grande y central, con múltiples nucléolos periféricos y rodeada por pequeñas gotas de lípidos que inician su fusión. La zona radiata es delgada, subyacente a células foliculares de poca altura.
<b>Estadio IV: Vitelado</b>	Predominio de ovocitos cargados de glóbulos de vitelo distribuido desde la periferia hasta la región perinuclear. La vesícula germinativa mantiene su posición central, permaneciendo los nucléolos en la periferia. Zona radiata bien desarrollada. Células foliculares cúbicas bajas con núcleo esférico, central y el citoplasma finamente granular, ligeramente basófilo.
<b>Estadio V: En maduración</b>	Citoplasma con grandes glóbulos de vitelo (término de la depositación de vitelo) y vesículas lipídicas que coalescen (2 a 3), ubicándose al lado opuesto de la dirección de migración de la vesícula germinativa, la que es excéntrica, migrante hacia el polo animal. Alto número de pequeños nucléolos periféricos. Células foliculares cúbicas con núcleo desplazado a la base. Citoplasma claro, de aspecto espumoso, areolar, ligeramente basófilo.
<b>Estadio VI: Hidratado (hialino)</b>	Con o sin vesícula germinativa en el polo animal, según se haya iniciado la maduración. Por incorporación de fluidos el ovocito incrementa considerablemente su tamaño. El vitelo se presenta en forma de placas por ingreso de líquido al citoplasma, dándole un aspecto hialino. La granulosa y zona radiata pierden espesor.
<b>Estadio VII: En desove</b>	Co-existencia de ovocitos hidratados y folículos postovulatorios nuevos, entre ovocitos en depositación temprana de vitelo.
<b>Estadio VIII: Desovado</b>	Predominio de ovocitos inmaduros. Se aprecia abundante atresia folicular, tanto alfa como beta. Ovocitos vitelados residuales y eventualmente folículos postovulatorios viejos.

Tabla 2. Clasificación de los estadios de desarrollo embrionario. (Santander *et al.*, 1984)

ESTADIO	
I	Huevos recientemente desovados, no segmentados, con acumulación conspicua de citoplasma en el polo animal conformado el blastodisco.
II	Desarrollo de la capa blastodérmica con inicio de la división celular, hasta la agregación de células que toman la apariencia de mórula.
III	Desde la formación de la cavidad hasta el establecimiento definitivo de la cubierta embrionaria. El blastodermo comienza a desplazarse sobre el vitelo, extendiéndose hasta un tercio de la longitud del vitelo.
IV	El blastodermo se desplaza hasta los dos tercios de la masa vitelina estructurándose la zona de desarrollo del embrión, sin destacar alguna estructura embrionaria distintiva.
V	El blastodermo ha cubierto la totalidad de la masa vitelina, culminando con el cierre del blastoporo. Se inicia la formación de los miómeros a lo largo del cuerpo. El desarrollo de los ojos ocurre al final de este estadio.
VI	Se define desde el cierre del blastoporo hasta el inicio de la separación de la cola desde el vitelo. Excepto en la región caudal, los miómeros se presentan en la totalidad del cuerpo.
VII	La cola empieza a separarse del vitelo, desde el crecimiento inicial de ésta, hasta que la porción libre sea equivalente a la mitad de la longitud de la cabeza.
VIII	La cola en desarrollo comienza a doblarse, separándose del eje del cuerpo con crecimiento hacia la cabeza. Al final del estadio, la porción libre de la cola equivale a un quinto de la longitud del vitelo y a la longitud total de la cabeza del embrión
IX	La separación de la cola fluctúa entre un cuarto y un medio de la longitud del vitelo. La torsión de la cola se produce fuera del plano del embrión.
X	El extremo de la cola se aproxima a la cabeza por encima del tronco, siendo dos veces la longitud de la cabeza y de medio hasta tres cuartos de la longitud del saco vitelino.
XI	La longitud de la cabeza es aproximadamente igual a un cuarto de la longitud del vitelo.

Tabla 3. Posición geográfica de los lances efectuados durante el crucero de adultos, en la I y II Regiones, agosto - septiembre del 2000.

LANCE	FECHA	LATITUD	LONGITUD	CAPTURA	LANCES ANCHOVETA
1	12-Ago	21°32` S	70°26` W	10 t	X
2	12-Ago	22°13` S	70°54` W	1 t	X
3	12-Ago	21°38` S	70°53` W	2 t Jurel	
4	12-Ago	22°31` S	70°32` W	0,5 t Jurel	
5	13-Ago	20°15` S	70°34` W	1 t	X
6	13-Ago	22°10` S	70°20` W	3 t	X
7	13-Ago	21°30` S	70°09` W	20 t	X
8	13-Ago	25°38` S	70°50` W	200 k	X
9	13-Ago	21°32` S	70°10` W	10 t	X
10	13-Ago	21°25` S	70°10` W	5 t	X
11	13-Ago	19°58` S	70°33` W	s/p	
12	13-Ago	20°52` S	71°15` W	s/p	
13	13-Ago	25°39` S	71°21` W	3 t Jurel	
14	14-Ago	20°57` S	70°13` W	300 k	X
15	14-Ago	20°23` S	70°47` W	30 t	X
16	14-Ago	18°23` S	71°18` W	100 k	X
17	14-Ago	18°27` S	70°34` W	s/p	
18	14-Ago	19°20` S	71°20` W	s/p	
19	14-Ago	19°32` S	71°05` W	s/p	
20	14-Ago	20°11` S	71°04` W	s/p	
21	14-Ago	18°26` S	70°41` W	s/p	
22	14-Ago	18°26` S	71°08` W	s/p	
23	14-Ago	18°26` S	71°15` W	s/p	
24	14-Ago	18°55` S	71°19` W	s/p	
25	15-Ago	19°07` S	71°05` W	100 k	X
26	15-Ago	18°50` S	70°31` W	100 k	X
27	15-Ago	24°14` S	70°38` W	30 k	X
28	15-Ago	19°04` S	70°58` W	40 t	X
29	15-Ago	18°24` S	71°23` W	60 t	X
30	15-Ago	18°36` S	71°15` W	40 t	X
31	15-Ago	19°09` S	71°03` W	50 t	X
32	15-Ago	20°16` S	70°13` W	25 k	X
33	15-Ago	20°05` S	70°38` W	s/p	
34	15-Ago	20°37` S	70°16` W	s/p	
35	15-Ago	23°09` S	70°38` W	50 k Agujilla	
36	15-Ago	23°41` S	70°39` W	25 k Agujilla	
37	15-Ago	25°00` S	70°38` W	20 k Agujilla	
38	15-Ago	19°10` S	71°05` W	s/p	
39	16-Ago	19°08` S	71°08` W	40 t	X
40	16-Ago	19°09` S	71°09` W	120 t	X
41	16-Ago	19°07` S	71°09` W	20 t	X
42	16-Ago	18°59` S	71°16` W	1 t	X
43	16-Ago	18°48` S	71°16` W	40 t	X
44	16-Ago	19°11` S	71°07` W	s/p	
45	17-Ago	18°48` S	71°15` W	5 t	X

continuación

LANCE	FECHA	LATITUD	LONGITUD	CAPTURA	LANCES ANCHOVETA
46	17-Ago	18°56` S	71°04` W	40 t	X
47	17-Ago	18°53` S	71°20` W	70 t	X
48	17-Ago	18°54` S	71°19` W	s/p	
49	17-Ago	18°55` S	71°19` W	s/p	
50	18-Ago	18°58` S	71°19` W	20 t	X
51	18-Ago	19°06` S	71°12` W	40 t	X
52	18-Ago	19°06` S	71°13` W	s/p	
53	18-Ago	19°07` S	71°11` W	s/p	
54	19-Ago	19°01` S	71°36` W	25 t	X
55	19-Ago	19°10` S	71°00` W	30 t	X
56	21-Ago	20°12` S	70°43` W	25 k	X
57	21-Ago	20°08` S	70°57` W	20 t	X
58	21-Ago	20°07` S	71°01` W	5 t	X
59	22-Ago	19°56` S	70°57` W	15 t	X
60	22-Ago	19°51` S	70°54` W	10 t	X
61	23-Ago	18°25` S	70°24` W	70 t	X
62	23-Ago	21°42` S	70°11` W	25 t	X
63	23-Ago	21°42` S	70°11` W	10 t	X
64	23-Ago	21°52` S	70°12` W	25 k	X
65	24-Ago	21°31` S	70°08` W	20 t	X
66	24-Ago	21°35` S	70°11` W	30 t	X
67	24-Ago	21°32` S	70°10` W	80 t	X
68	25-Ago	18°23` S	70°29` W	20 t	X
69	25-Ago	18°22` S	70°28` W	60 t	X
70	25-Ago	18°25` S	70°25` W	90 t	X
71	25-Ago	21°02` S	70°17` W	0,1 t	X
72	25-Ago	21°02` S	70°12` W	s/p	
73	25-Ago	21°04` S	70°11` W	s/p	
74	26-Ago	20°04` S	70°39` W	25 k	X
75	29-Ago	18°34` S	71°12` W	40 t	X
76	29-Ago	18°39` S	71°17` W	50 t	X
77	29-Ago	18°47` S	71°03` W	5 t	X
78	29-Ago	18°37` S	71°09` W	s/p	
79	29-Ago	18°33` S	71°33` W	s/p	
80	29-Ago	18°55` S	71°06` W	s/p	
81	30-Ago	20°16` S	70°33` W	s/p	
82	31-Ago	18°37` S	71°15` W	60 t	X
83	31-Ago	18°42` S	71°15` W	100 t	X
84	31-Ago	20°22` S	70°30` W	15 t	X
85	31-Ago	20°22` S	70°30` W	s/p	
86	31-Ago	20°23` S	70°28` W	s/p	
87	01-Sep	18°48` S	70°53` W	20 t	X
88	01-Sep	18°51` S	70°58` W	40 t	X
89	01-Sep	20°28` S	70°28` W	80 t	X
90	01-Sep	20°27` S	70°33` W	25 t	X
91	02-Sep	20°26` S	70°28` W	25 k	X
92	02-Sep	20°18` S	70°26` W	500 k	X

s/p: Lance sin pesca

Tabla 4. Caracterización histológica de los folículos postovulatorios (FPO) (Hunter y Goldberg (1980), ajustados para *E. ringens*, FIP N° 95-01).

EDAD	APARIENCIA HISTOLOGICA DEL FPO
<b>NUEVOS (&lt; 24 h)</b>	<p>Folículos postovulatorios presentes en hembras en desove al momento de la colecta. Aspecto irregular formado por un epitelio columnar bien organizado, con numerosas involuciones y corrugaciones. Lumen amplio e irregular, con abundante material granular eosinófilo. Epitelio constituido por células cúbicas o cilíndricas bien delimitadas entre sí. Núcleo esférico y basal, con cromatina regularmente condensada. Citoplasma finamente granular, ligeramente eosinófilo. Escasa presencia de espacios vacíos tipo célula secretora intraepitelial, siendo éstas alcian blue débilmente positivo. Adyacente a la granulosa se ubican las células tecales aplanadas e imbricadas.</p>
<b>EDAD DIA 1 (&gt; de 24 - &lt; 48 h)</b>	<p>Los presentan las hembras que desovaron la noche anterior a la captura. Son más pequeños que los FPO nuevos, de aspecto glandular con ligera infiltración linfocitaria, lumen estrecho e irregular. Granulosa columnar, corrugada, con disposición lineal de las células foliculares, algunas de las cuales presentan signos de degeneración. Núcleo picnótico, micropicnosis, de forma irregular, citoplasma vacuolado, pero mantienen la individualidad entre ellos. Se aprecian abundantes espacios intraepiteliales vacíos que se tiñen intensamente con alcian blue.</p>
<b>EDAD DIA 2 (&gt; 48 h)</b>	<p>Estructura de aspecto glomerular con marcada degeneración celular. Epitelio desorganizado, perdiendo la disposición lineal de sus células. Lámina tecal hipertrofiada, capilares sanguíneos desarrollados. Lumen ocluido o ausente, células sin individualidad aparente y en avanzado estado degenerativo. Forma irregular núcleos picnóticos, micropicnosis, citoplasma vacuolado, representando la fase terminal de degeneración del epitelio columnar. Abundantes espacios con material granular alcian blue fuertemente positivo. Notoria infiltración linfocitaria.</p>

Tabla 5. Evolución semanal de la actividad reproductiva microscópica de la anchoveta en la I y II Regiones, 2000.

SEMANA	PERIODO	IAD	IAO
23	05/06- 11/06	15	0
24	12/06 - 18/06	40	0
25	19/06 - 25/06	30	0
26	26/06 - 02/07	27	0
27	03/07 - 09/07	36	0
28	10/07 - 16/07	41	0
29	17/07 - 23/07	32	1
30	24/07 - 30/07	40	0
31	31/07 - 06/08	55	0
32	07/08 - 13/08	38	0
33	14/08 - 20/08	30	0
34	21/08 - 27/08	24	0
35	28/08 - 03/09	48	0
36	04/09 - 10/09	50	0
37	11/09 - 17/09	30	0
38	18/09 - 24/09	74	0
39	19/09 - 01/10	31	0
40	02/10 - 08/10	25	1
41	09/10 - 15/10	29	0
42	16/10 - 22/10	18	2
43	23/10 - 29/10	47	1
44	30/10 - 05/11	22	1
45	06/11 - 12/11	25	1
46	13/11 - 19/11	9	1

IAD: Índice de actividad de desove

IAO: Índice de atresia ovárica

Tabla 6. Densidad promedio y constancia de huevos de anchoveta. Cruceros MPH Invierno 1992, 1995, 1996, 1997, 1999 y 2000.

ESPECIE	AÑO	NUMERO DE ESTACIONES TOTALES	NUMERO DE ESTACIONES POSITIVAS	NUMERO DE HUEVOS	DENSIDAD PROMEDIO ESTACIONES TOTALES	DENSIDAD PROMEDIO ESTACIONES POSITIVAS	CONSTANCIA (%)
	1992	542	212	10.974	20	52	39,1
	1995	578	208	7.555	13	36	36,0
	1996	752	176	6.718	9	38	23,4
	1997	800	209	8.054	10	39	26,1
	1999	598	132	7.582	13	57	22,1
	2000	502	212	10.473	21	49	42,2
<i>Engraulis ringens</i>							

Fuente : Oliva *et al.*, 2000

Tabla 7. Abundancia promedio y rangos de huevos de anchoveta en invierno 1992, 1995, 1996, 1997, 1999 y 2000.

	1992	1995	1996	1997	1999	2000
N° Total Estaciones	542	578	752	800	598	502
N° Estaciones positivas	212	208	176	209	133	212
N° Huevos	10.974	7.555	6.718	8.054	7.589	10.473
Promedio	52	36	38	39	57	49
Mínimo	1	1	1	1	1	1
Máximo	331	1.539	611	947	1.649	518
Desv. Estándar	73,61	126,38	79,83	96,54	175,98	86,11
CV (%)	1,42	3,48	2,09	2,51	3,09	1,74

Tabla 8. Resultados del análisis de regresión para los modelos ajustados entre la fecundidad parcial con peso corporal y longitud total

Modelos	Lineal	Potencial	Exponencial
<b>Estadígrafo</b>	<b>PESO CORPORAL</b>		
a	-5127,1	197,5	4696,5
b	740,5	1,31	1,04
r <sup>2</sup>	0,28	0,27	0,26
r	0,53	0,52	0,51
n	109	109	109
MSE	17727007	17739264	17968753
<b>Estadígrafo</b>	<b>LONGITUD TOTAL</b>		
a	-30930,8	7,69	1107,1
b	2940,3	2,76	1,18
r <sup>2</sup>	0,1	0,1	0,1
r	0,33	0,33	0,32
n	109	109	109
MSE	21775645	21862090	21918897

Tabla 9. Número de huevos (m<sup>3</sup>) de anchoveta colectados con red CaIVET y sistema CUFES

	En estación		En ruta	
	CUFES	CaIVET	CUFES	CaIVET
N° Estación	74	74	257	
N° Est (+)	34	54	102	
N° Huevos	330	969	2191	
Promedio	10	18	21	
Mínimo	1	1	1	
Máximo	50	148	224	
DE	12,45	28,33	38,76	
CV(%)	1,25	1,57	1,85	

Tabla 10. Ecuaciones de calibración para huevos de anchoveta colectados con red CaIVET y sistema CUFES

	Malla (μ)		No Transformado	r
	CaIVET (150)	CUFES(500)		
<i>Engraulis ringens</i>			CUFES = 0,0257 * CaIVET + 4,126 (-0,43 - 0,79) (5,81 - 18,86)	0,06
			Transformado	
			Ecuación	
<i>Engraulis ringens</i>			In(CUFES+1) = 0,0085 *ln(CaIVET+1) + 0,8024 (-0,27 - 0,29) (1,17 - 1,98)	0,01

Valores entre paréntesis límites de confianza de los parámetros estimados

Tabla 11. Principales resultados del ajuste del modelo exponencial de sobrevivencia para los huevos de anchoveta, 1992 a 2000.

Año	Parámetro	Estimación	Err Std	Valor t
1992	$P_0$	39.1904	4.4802	8.7475
	Z	-0.8179	0.1240	-6.5931
1995	$P_0$	31.3069	9.7929	3.1969
	Z	-0.5933	0.2675	-2.2181
1996	$P_0$	26.9017	5.1536	5.2200
	Z	-0.3807	0.1522	-2.5007
1997	$P_0$	23.7540	5.6783	4.1833
	Z	-0.2702	0.2385	-1.1329
1999	$P_0$	88.7723	33.0896	2.6828
	Z	-1.6885	0.6805	-2.4812
2000	$P_0$	42.1670	5.9837	7.0470
	Z	-1.05006	0.1694	-6.1987
1999*	$P_0$	25.7127	5.9255	4.3393
	Z	-0.66266	0.24372	-2.7189

\* Estimación sin considerar dos observaciones atípicas.

Tabla 12. Regresión potencial entre el logaritmo natural de la biomasa desovante estimada por ASP y por MPH.

Regresión potencial	logQ	Q	b	n	R**2
BD ASP vs BDO	21,284556	1752932995	-0,457485	5	0,185690
BD ASP vs BD1	19,861114	422252414	-0,377896	5	0,533363
BD ASP vs BD2	25,125459	81629683411	-0,754578	5	0,727326
BD ASP vs BD1*	20,126395	550531401	-0,406472	5	0,182927
BD ASP vs BD2*	15,088355	3570996	-0,004427	5	0,000011

BDO: Biomasa desovante original

BD1: Biomasa desovante criterio estructural o límite inferior

BD2: Biomasa desovante criterio funcional o de interpolación

BD1\*: Biomasa desovante criterio estructural o límite inferior sin punto atípico

BD2\*: Biomasa desovante criterio funcional o de interpolación sin punto atípico

Tabla 13. Parámetros calculados a través de la aplicación del MPH para la anchoveta en la I y II Regiones, Chile.

AÑOS	PESO (g)	FECUNDIDAD PARCIAL (N° ovocitos)	FRECUENCIA DE DESOVE (%)	PROPORCION SEXUAL (%)	PRODUCCION DE HUEVOS (Po * A 10 <sup>12</sup> huevos día)	BIOMASA STOCK DESOVANTE (t)
1992	21	14,917	0,16	0,48	60,05	1.053.000
1995	29	15,405	0,18	0,42	40,16	1.223.000
1996	30	19,658	0,17	0,46	17,66	568.000
1997	22	12,102	0,13	0,52	22,48	593.699
1999	23	10,600	0,17	0,46	40,99	1.118.674
2000	31	16,279	0,19	0,50	29,45	587.806

Tabla 14. Resumen de promedios por lances: Longitud total (LT), peso total (PT), peso total corregido (PTCOR), peso corporal (PC), peso gónada (PG), fecundidad parcial estimada (FPE), hembras maduras (HM), hembras hidratadas (HH), folículos post-ovulatorios de edad 0, 1 y 2 días. Peso total de hembras corregidas (PTHCOR), hembras (H), Peso total de machos corregidos (PTMCOR) machos (M) del muestreo de proporción sexual.

DATOS LANCES		PROMEDIOS HEMBRAS MADURAS										PROPORCION SEXUAL				
Lance	Fecha	LT	PT	PTCOR	PC	PG	FPE	HM	HH	EDAD F.P.O.			PTHCOR	H	PTMCOR	M
(n)	(d-m)	(cm)	(g)	(g)	(g)	(g)	(n)	(n)	(n)	0	1	2	(g)	(n)	(g)	(n)
1	12-8	15,9	32,8	32,7	30,4	2,4	17365	30	0	0	0	1	28,5	44	26,5	56
2	12-8	16,6	34,7	34,5	31,9	2,7	18518	30	0	0	0	1	32,9	57	31,8	44
3	13-8	15,9	32,1	32,0	29,9	2,3	16995	30	0	1	2	0	30,4	43	28,6	56
4	13-8	16,8	38,2	38,0	35,6	2,6	21225	30	0	0	0	2	34,8	74	33,4	26
5	13-8	16,3	34,5	34,4	31,3	3,2	18213	30	10	0	0	3	35,6	60	31,9	39
6	13-8	16,7	34,8	34,6	32,8	1,9	19175	30	1	0	0	1	32,8	63	32,1	37
7	13-8	16,3	33,9	33,8	31,5	2,4	18212	30	0	0	0	14	35,2	82	31,0	18
8	13-8	16,6	36,8	36,7	34,5	2,3	20453	30	0	0	1	8	35,1	81	32,6	19
9	14-8	16,1	31,6	31,5	29,7	1,9	16889	30	0	1	15	2	32,0	23	29,0	77
10	14-8	15,9	31,9	31,7	29,4	2,5	16632	30	0	0	10	3	31,0	45	29,8	55
11	14-8	15,7	30,8	30,7	28,4	2,4	15908	30	1	0	1	3	28,6	48	29,6	55
12	15-8	15,8	32,1	31,9	29,6	2,5	16788	30	0	0	0	3	31,2	48	29,0	54
13	15-8	15,8	31,2	31,1	29,1	2,1	16452	30	0	0	0	3	32,4	47	29,6	53
14	15-8	16,1	30,0	29,9	28,3	1,7	15800	30	0	0	12	4	29,1	47	27,6	53
15	15-8	15,8	29,1	29,0	27,3	1,8	15070	30	0	1	12	4	28,2	28	26,6	72
16	15-8	15,8	30,2	30,1	28,0	2,2	15628	30	0	0	1	6	29,0	59	27,5	41
17	15-8	15,8	30,8	30,6	28,4	2,4	15868	30	2	0	0	3	29,7	55	28,7	45
18	15-8	15,7	29,3	29,2	27,2	2,1	15041	30	9	0	0	8	28,8	43	27,2	56
19	15-8	15,9	30,8	30,7	28,8	2,0	16193	30	0	0	0	3	29,2	73	28,2	27
20	16-8	15,8	31,2	31,1	29,1	2,1	16452	30	0	6	4	6	29,5	23	28,0	77
21	16-8	15,8	28,2	28,1	26,6	1,6	14571	30	0	2	6	10	27,5	29	27,6	89
22	16-8	15,7	29,3	29,2	27,7	1,5	15413	30	0	0	11	1	26,6	30	27,3	70
23	16-8	16,0	33,9	33,8	30,6	3,3	17560	30	23	0	3	2	31,0	48	29,2	52
24	16-8	15,6	31,3	31,2	27,5	3,7	15259	30	28	0	1	0	30,2	54	27,9	46
25	17-8	15,7	28,9	28,8	27,1	1,8	14927	30	0	19	7	1	28,2	41	26,5	59
26	17-8	15,6	28,1	28,0	26,5	1,6	14468	30	0	0	18	6	27,4	23	26,6	78
27	17-8	15,6	29,6	29,5	27,3	2,4	15058	30	0	1	6	8	27,9	49	25,5	51
28	18-8	15,6	29,7	29,6	27,8	1,9	15477	30	0	9	12	4	28,0	30	26,5	72
29	18-8	15,9	30,0	29,9	27,9	2,1	15536	30	0	0	3	5	28,0	41	25,5	59
30	19-8	15,8	31,5	31,4	29,6	1,9	16783	30	0	7	11	2	28,5	47	28,1	53
31	19-8	15,5	28,2	28,1	26,7	1,5	14613	30	0	0	19	1	27,5	38	26,3	62
32	21-8	15,7	29,2	29,1	27,1	2,1	14937	30	1	0	1	4	28,6	44	26,7	59
33	21-8	15,7	29,7	29,5	27,8	1,9	15462	30	13	0	2	3	27,7	47	26,6	53
34	21-8	15,5	28,9	28,8	27,3	1,6	15062	30	0	0	5	16	26,3	45	26,1	56
35	22-8	15,8	29,4	29,3	27,3	2,1	15058	30	0	0	1	8	28,0	38	26,8	62
36	22-8	15,9	29,4	29,3	27,1	2,3	14976	30	2	0	5	2	28,2	46	26,7	54
37	23-8	16,1	30,7	30,5	29,3	1,3	16585	30	0	12	13	0	30,0	42	28,9	58
38	23-8	16,2	34,6	34,5	31,7	2,9	18325	30	0	0	4	6	33,8	68	29,5	32
39	23-8	16,2	34,6	34,5	31,9	2,7	18524	30	1	0	4	4	33,2	72	30,9	28
40	23-8	16,0	33,7	33,6	31,4	2,3	18153	30	0	0	2	10	32,4	66	30,5	34
41	24-8	16,1	33,0	32,8	31,3	1,7	18032	30	0	0	15	13	31,6	87	31,5	13
42	24-8	16,2	33,4	33,3	31,3	2,2	18014	30	0	0	9	5	32,0	47	28,8	53
43	24-8	16,3	34,2	34,0	32,2	2,0	18691	30	0	0	6	13	33,8	41	30,4	59
44	25-8	16,0	33,5	33,4	31,5	2,0	18209	30	0	1	0	5	31,0	64	29,2	38
45	25-8	16,0	31,6	31,4	29,9	1,7	16980	30	0	0	4	10	31,0	76	29,6	24
46	25-8	15,5	29,9	29,8	27,9	2,0	15541	30	0	4	17	0	28,8	54	27,3	47
47	25-8	15,9	32,6	32,5	30,4	2,2	17363	30	0	0	0	1	31,0	67	29,5	32
48	26-8	15,6	28,0	27,9	26,5	1,6	14458	30	0	0	11	4	27,6	62	26,7	38
49	29-8	15,3	27,2	27,1	25,7	1,5	13880	30	0	11	17	1	28,8	28	28,1	64
50	29-8	16,1	30,0	29,8	27,9	2,1	15509	30	0	0	8	8	28,1	27	29,4	65
51	29-8	15,8	29,5	29,4	27,8	1,7	15445	30	0	0	7	14	28,6	27	27,0	70
52	31-8	15,7	27,4	27,2	25,9	1,5	14026	30	0	14	7	8	26,1	26	26,4	74
53	31-8	15,6	28,2	28,1	26,5	1,7	14515	30	0	11	12	1	27,2	36	27,1	64
54	31-8	16,0	31,8	31,6	29,7	2,1	16839	30	1	0	6	5	30,7	77	29,6	23
55	1-9	15,6	28,5	28,3	26,7	1,8	14642	30	1	3	8	4	28,2	62	26,7	38
56	1-9	15,6	27,8	27,6	26,4	1,4	14391	30	0	8	18	3	28,3	33	27,4	67
57	1-9	15,8	29,6	29,5	27,9	1,7	15544	30	0	0	6	6	29,6	62	28,8	38
58	1-9	15,7	29,1	29,0	27,7	1,5	15346	30	0	0	11	8	29,4	50	28,2	50
59	2-9	15,7	28,9	28,8	27,1	1,8	14912	30	0	0	2	4	28,4	62	27,1	38
60	2-9	15,7	29,1	29,0	27,1	2,0	14955	30	15	0	7	6	29,2	57	27,5	43



Tabla 16. Resumen de resultados bajo los distintos escenarios. Biomasa original reportada en cada año de aplicación. Escenarios 1, 2 y 3 corresponden a los resultados del reanálisis efectuado para cada año.

Año	Area (mn <sup>2</sup> )			Biomasa Original	Escenario 1 y 2			Escenario 3		
	Area de desove				Biomasa (t)			Biomasa (t)		
	Crucero	Crit. Estruct. o Lim. Inf.	Crit. Func. o Interp.		P <sub>0</sub>	Crit. Estruct. o Lim. Inf.	Crit. Func. o Interp.	P <sub>0</sub> Esc. 3	Crit. Estruct. o Lim. Inf.	Crit. Func. o Interp.
1992	17055	7913	10332	1053000	39,01	388110	506783	39,01	388110	506783
1995	18137	7605	13315	1223000	31,31	406666	712020	31,31	406666	712020
1996	18353	4536	10698	568000	26,90	163370	385278	26,90	163370	385278
1997	19627	7360	14660	593699	23,75	322497	642394	23,75	322497	642394
1999	27374	6693	7525	1118674	88,77	1130826	1271427	25,71	327509	368229
2000	19539	10180	13059	980000	42,17	587806	754040	42,17	587806	754040

Tabla 17. Desembarques (t) de anchoveta y total de especies, en la I y II Regiones, 1995-2000

	I Y II REGIONES			
	1995		1996	
	ANCHOVETA	CAPTURA TOTAL	ANCHOVETA	CAPTURA TOTAL
ENERO	118535	129969	167094	191185
FEBRERO	236176	240577	83191	77918
MARZO	193932	215787	74410	77663
ABRIL	70170	99086	42779	119479
MAYO	147543	192132	67750	125756
JUNIO	326597	329406	92040	104148
JULIO	87726	94802	107566	115272
AGOSTO	38536	48070	27397	50412
SEPTIEMBRE	27210	49538	43877	86565
OCTUBRE	86418	109710	76604	105700
NOVIEMBRE	70486	111879	52733	74520
DICIEMBRE	44043	127182	26638	59950
TOTAL	1447372	1748138	862079	1188568

	I Y II REGIONES			
	1997		1998	
	ANCHOVETA	CAPTURA TOTAL	ANCHOVETA	CAPTURA TOTAL
ENERO	114607	129095	0	14628
FEBRERO	116856	125247	28634	38655
MARZO	72334	76709	11892	17319
ABRIL	87122	92475	29279	37538
MAYO	263957	278272	17646	20585
JUNIO	328458	329242	17163	18100
JULIO	135938	139996	988	1602
AGOSTO	16249	19445	1425	2113
SEPTIEMBRE	37014	37854	3132	5815
OCTUBRE	43871	91223	7331	8741
NOVIEMBRE	28431	148566	2070	2910
DICIEMBRE	40285	91755	3070	5428
TOTAL	1285122	1559879	122630	173434

	I Y II REGIONES			
	1999		2000	
	ANCHOVETA	CAPTURA TOTAL	ANCHOVETA	CAPTURA TOTAL
ENERO	217	3346	145237	183454
FEBRERO	221937	228220	61946	77350
MARZO	85437	165038	113964	111306
ABRIL	61976	137880	58449	83807
MAYO	41259	136965	88533	119956
JUNIO	59736	109609	68166	68374
JULIO	43088	54353	135895	136737
AGOSTO	33	95	3818	3818
SEPTIEMBRE	11095	13657	86959	89251
OCTUBRE	36571	37841	119570	131463
NOVIEMBRE	50783	77046	131488	184438
DICIEMBRE	135917	136635	108704	109482
TOTAL	748049	1100685	1122729	1299436

# **FIGURAS**

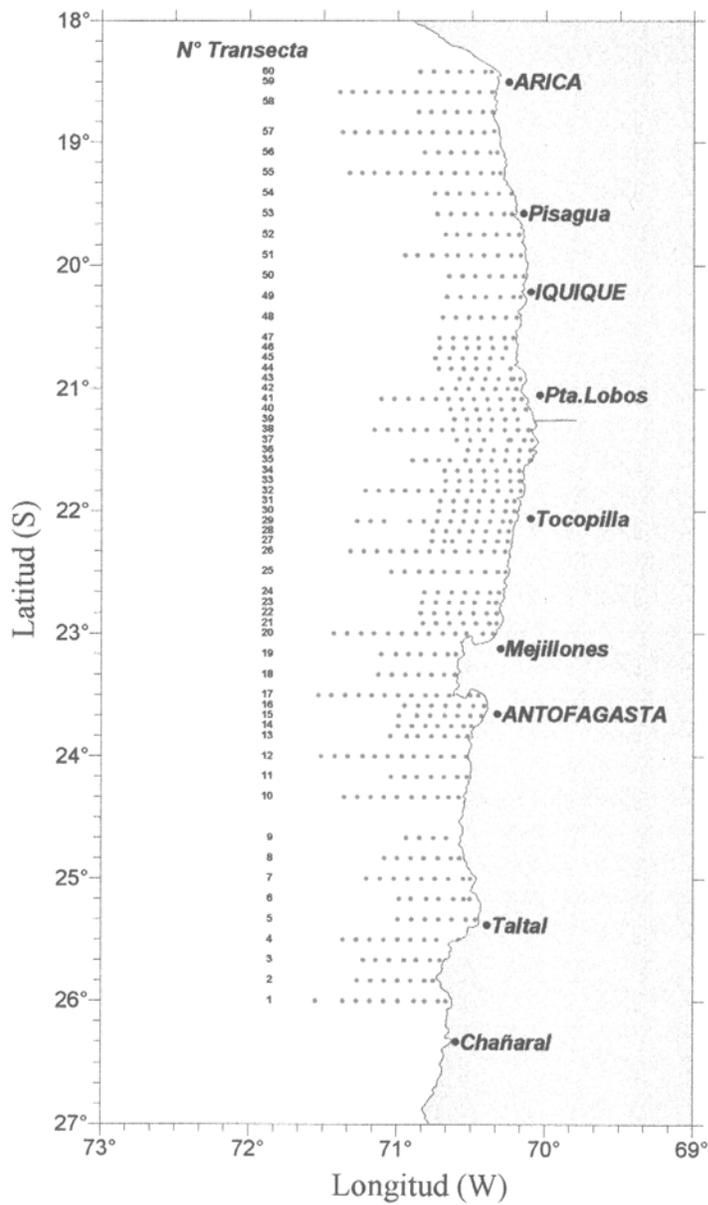


Figura 1. Ubicación de las estaciones bio-oceanográficas. Crucero MPH, agosto-septiembre 2000.

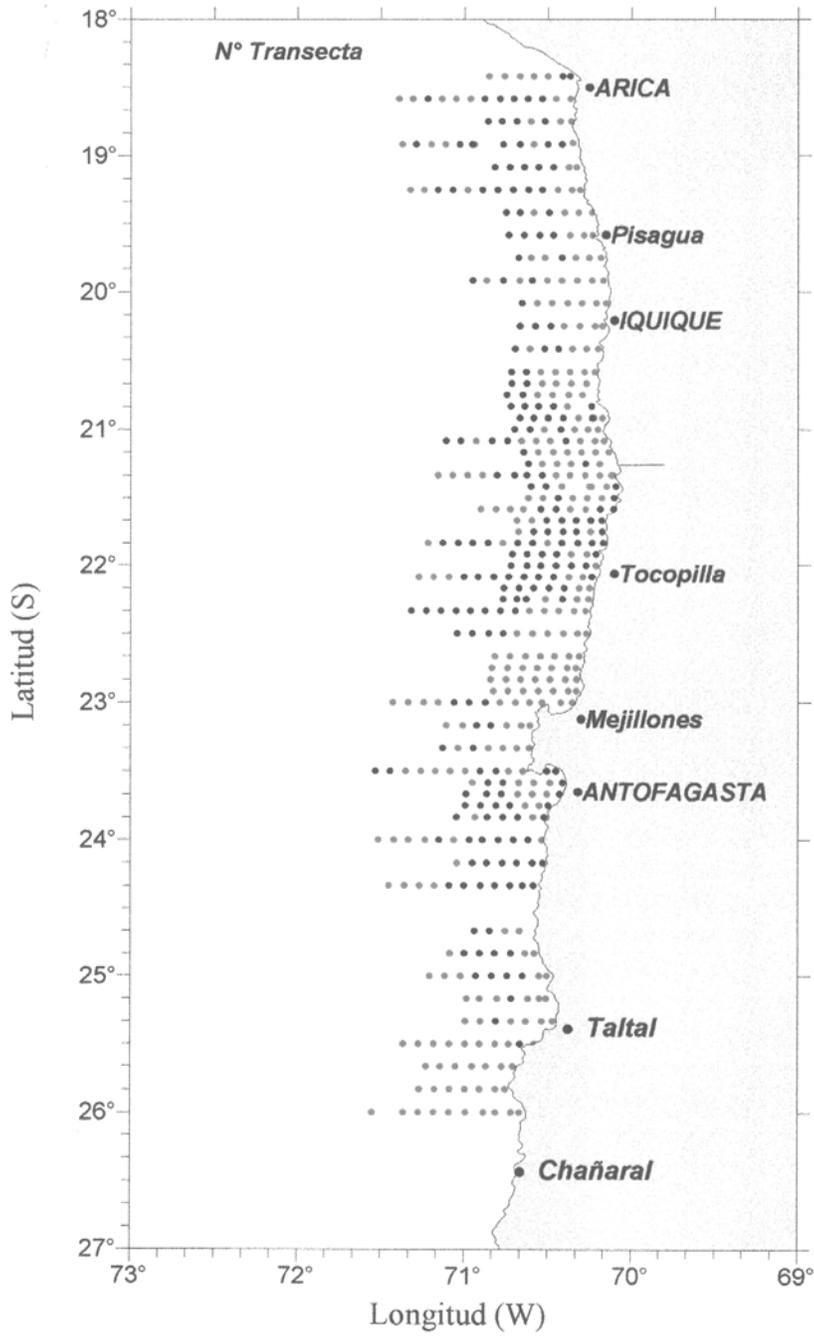


Figura 2. Distribución geográfica de las estaciones planctónicas positivas y negativas (negro = estaciones positivas, con huevos; rojo = estaciones negativas, sin huevo). Agosto-septiembre 2000.

- Con Anchoveta
- Sin Anchoveta

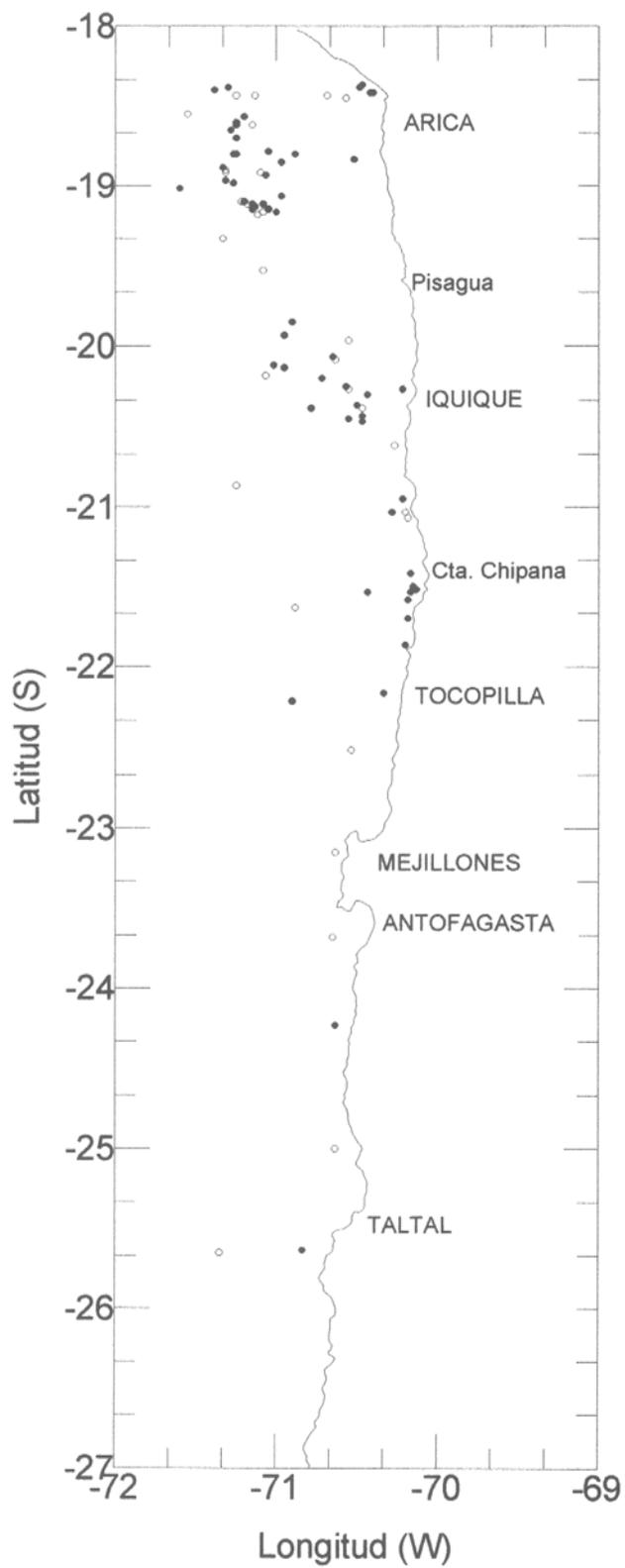


Figura 3. Distribución espacial de los lances de pesca realizados por barcos cerqueros. Crucero MPH, agosto-septiembre 2000.

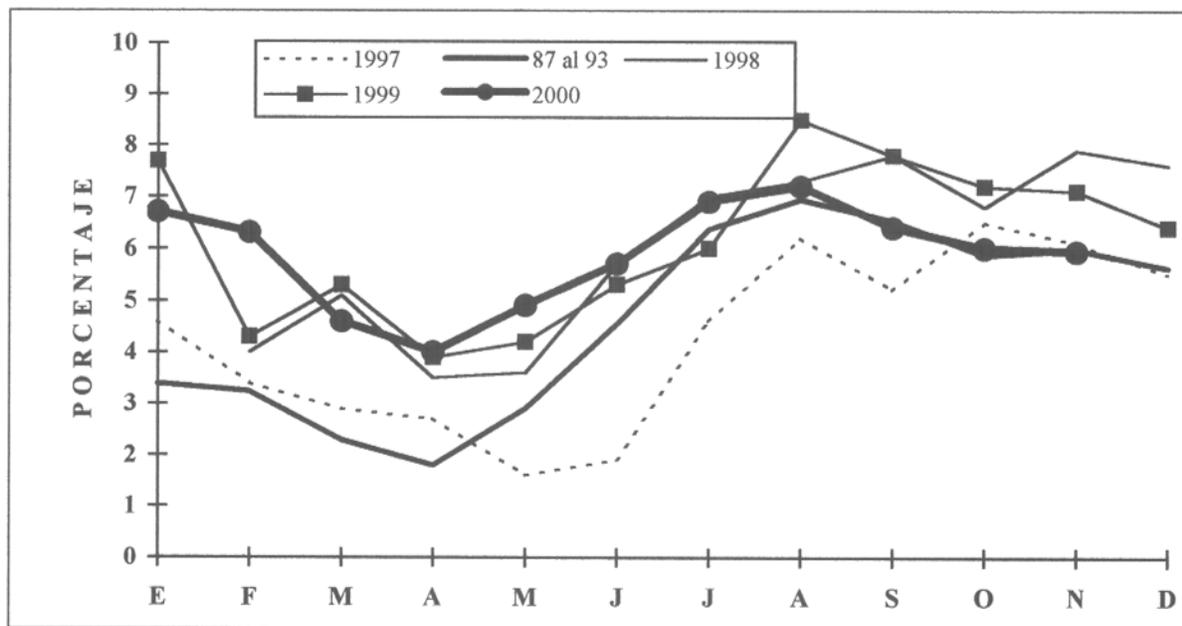


Figura 4. Evolución mensual del índice gonadosomático de la anchoveta en la I y II Regiones.

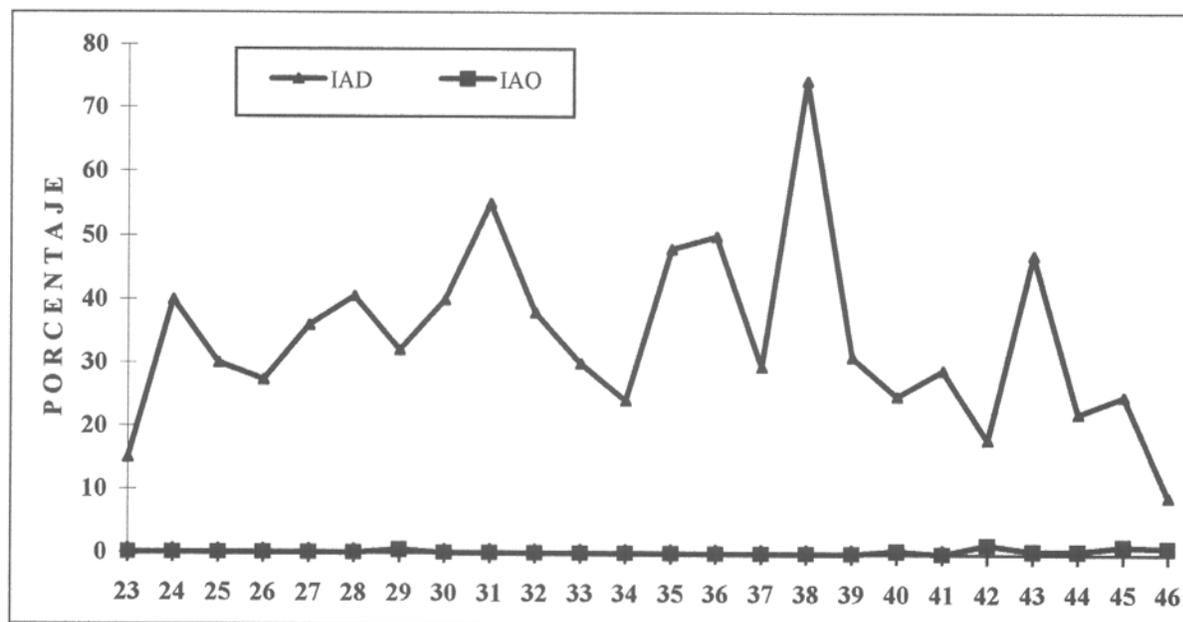


Figura 5. Evolución semanal de los índices de actividad de desove (IAD) y atresia ovárica (IAO), (5 de junio al 22 de noviembre del 2000).

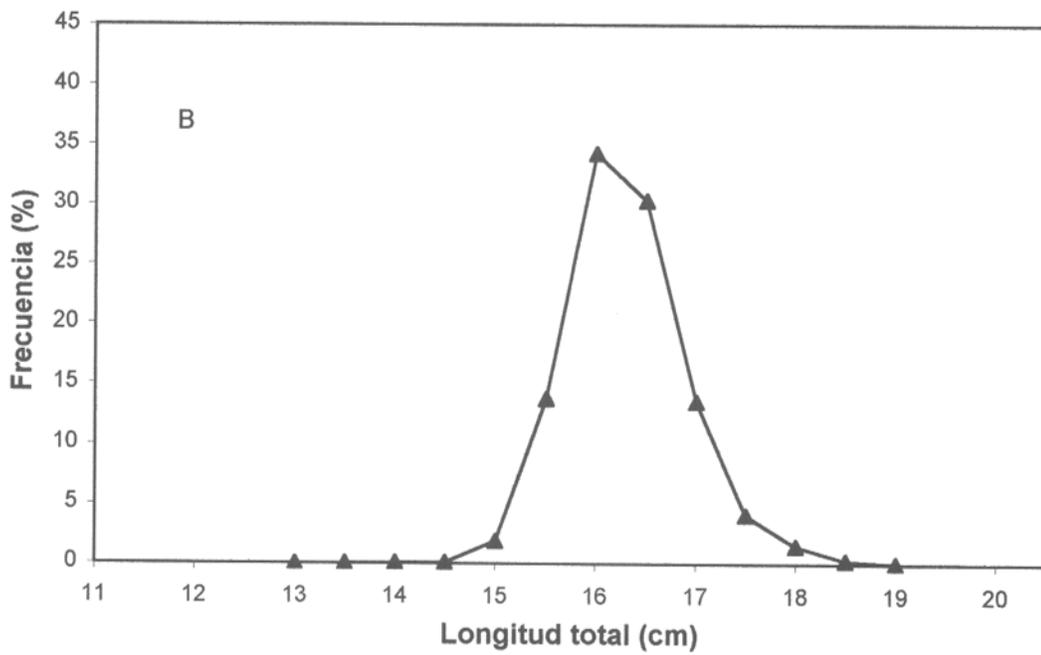
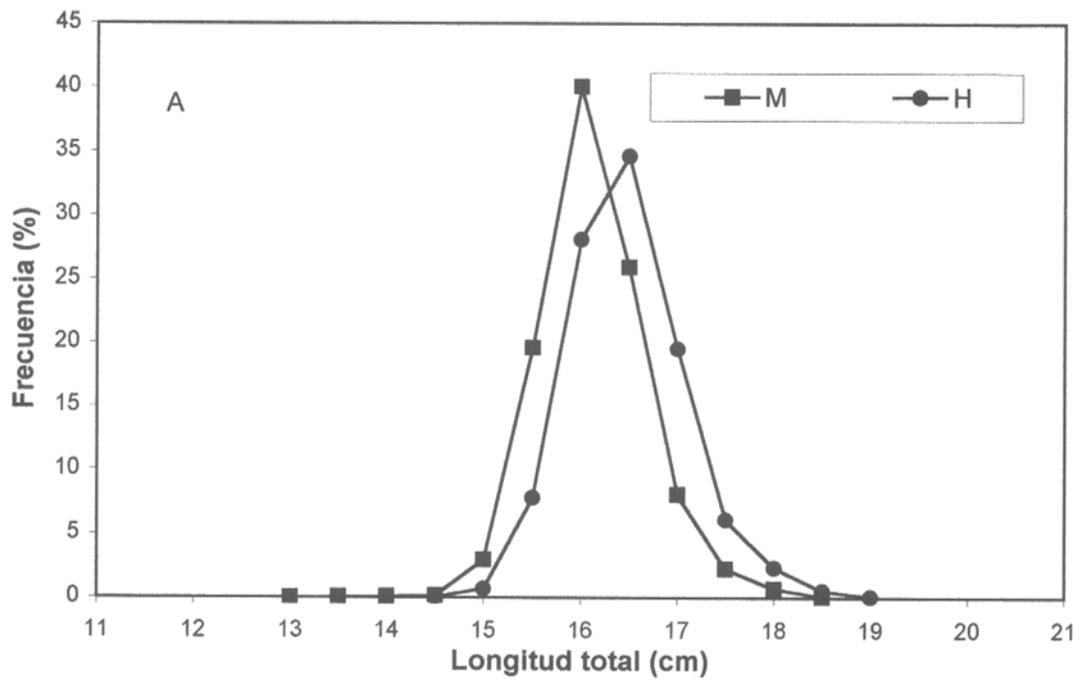


Figura 6. Distribución de tamaños de la anchoveta en la I y II Regiones, agosto-septiembre 2000 (A: por sexo; B: total).

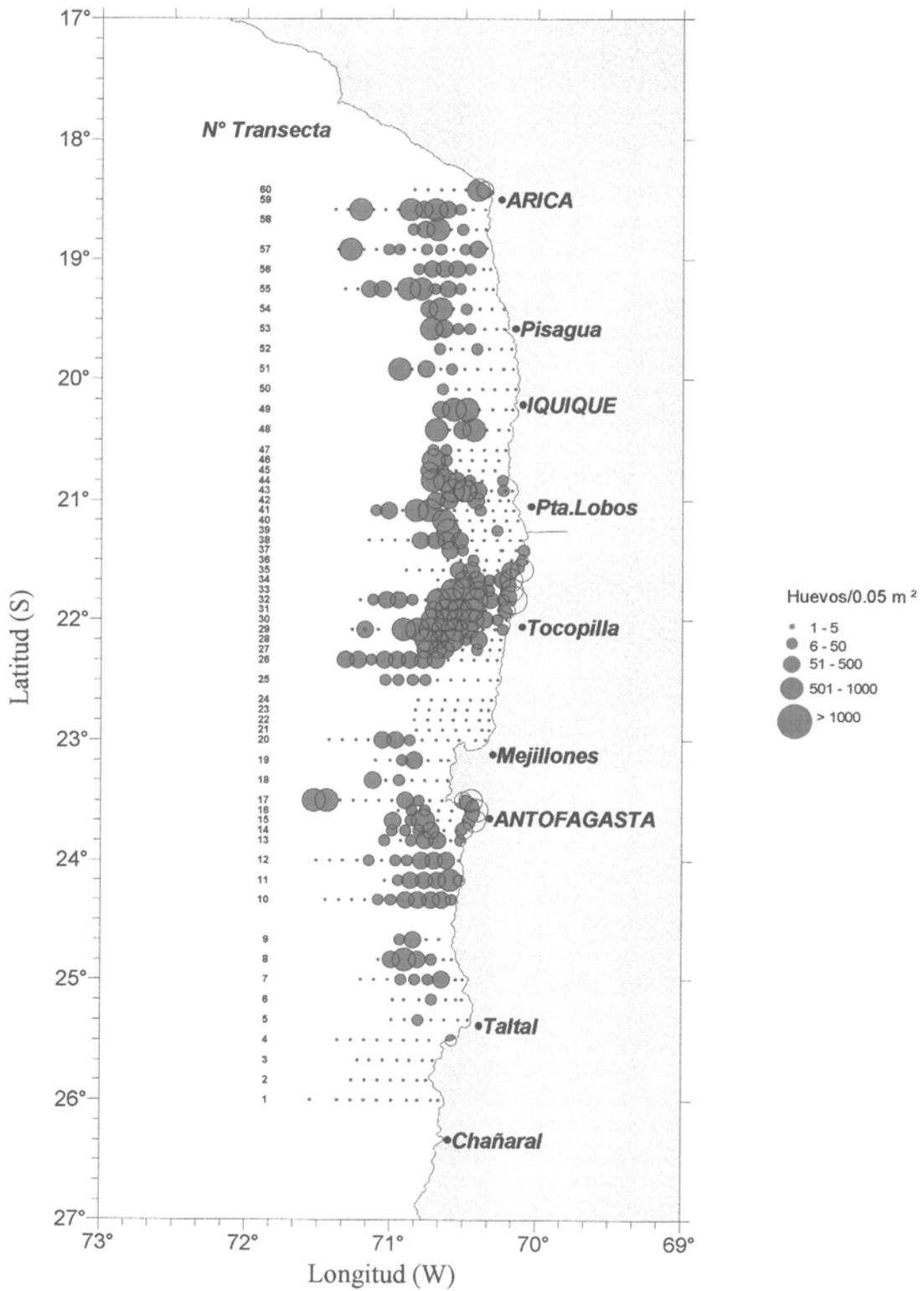


Figura 7. Distribución y abundancia de huevos de anchoveta. Crucero MPH 2000.

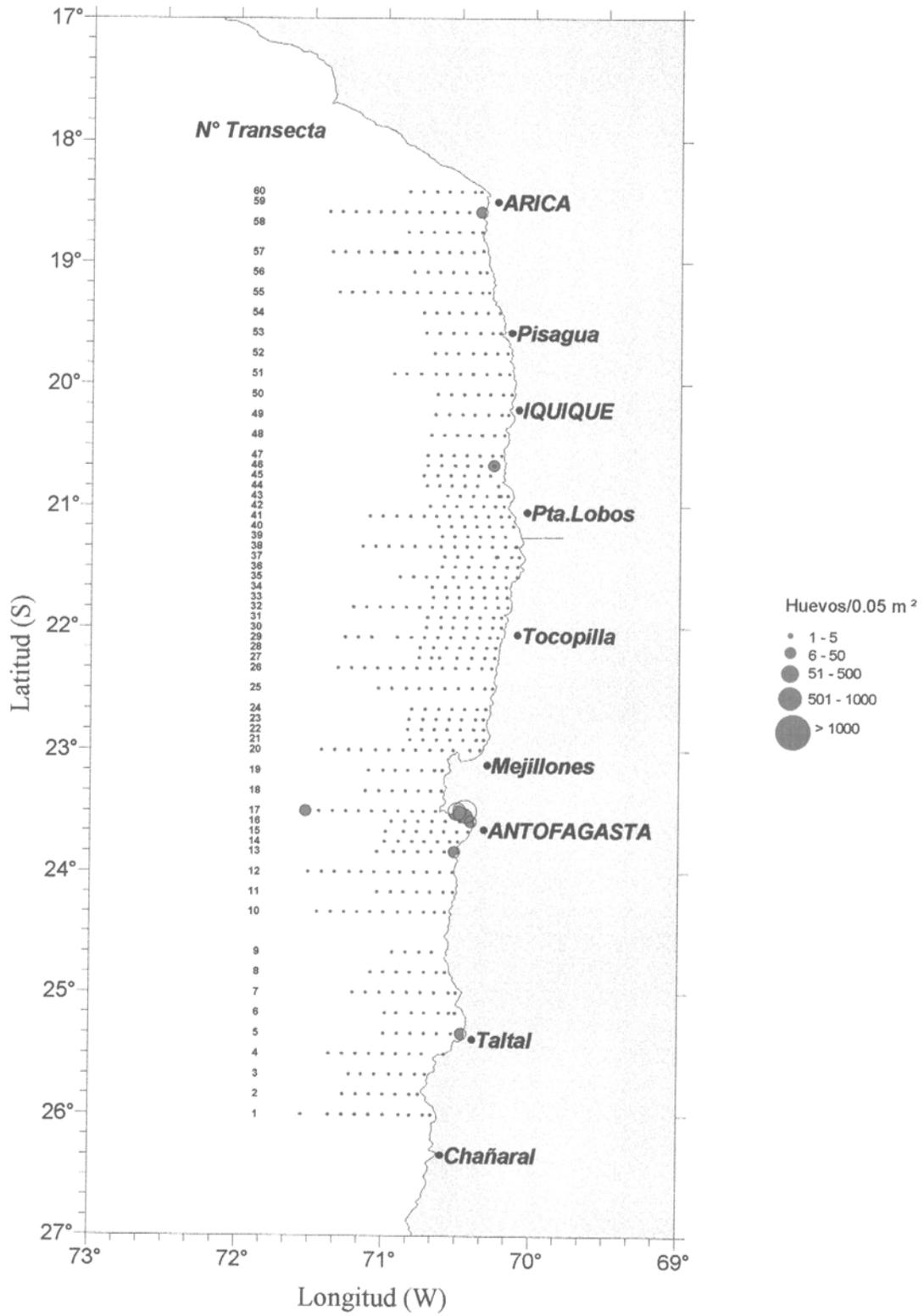


Figura 8. Distribución y abundancia de huevos de sardina. Crucero MPH 2000.

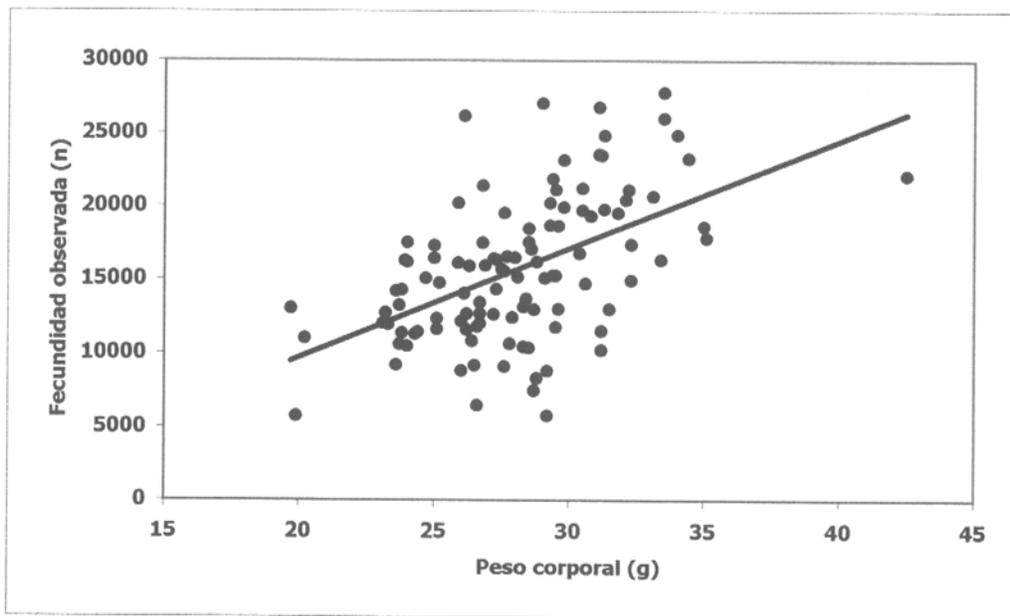


Figura 9. Regresión entre la fecundidad parcial y el peso corporal de hembras hidratadas de anchoveta. Agosto-septiembre 2000.

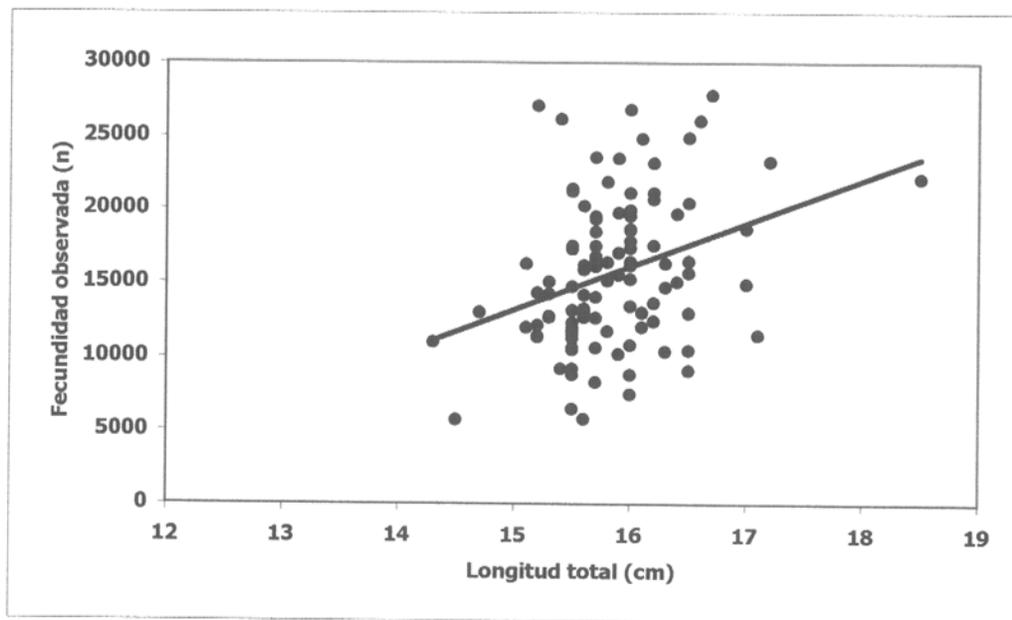


Figura 10. Regresión entre la fecundidad parcial y la longitud total de hembras hidratadas de anchoveta. Agosto-septiembre 2000.

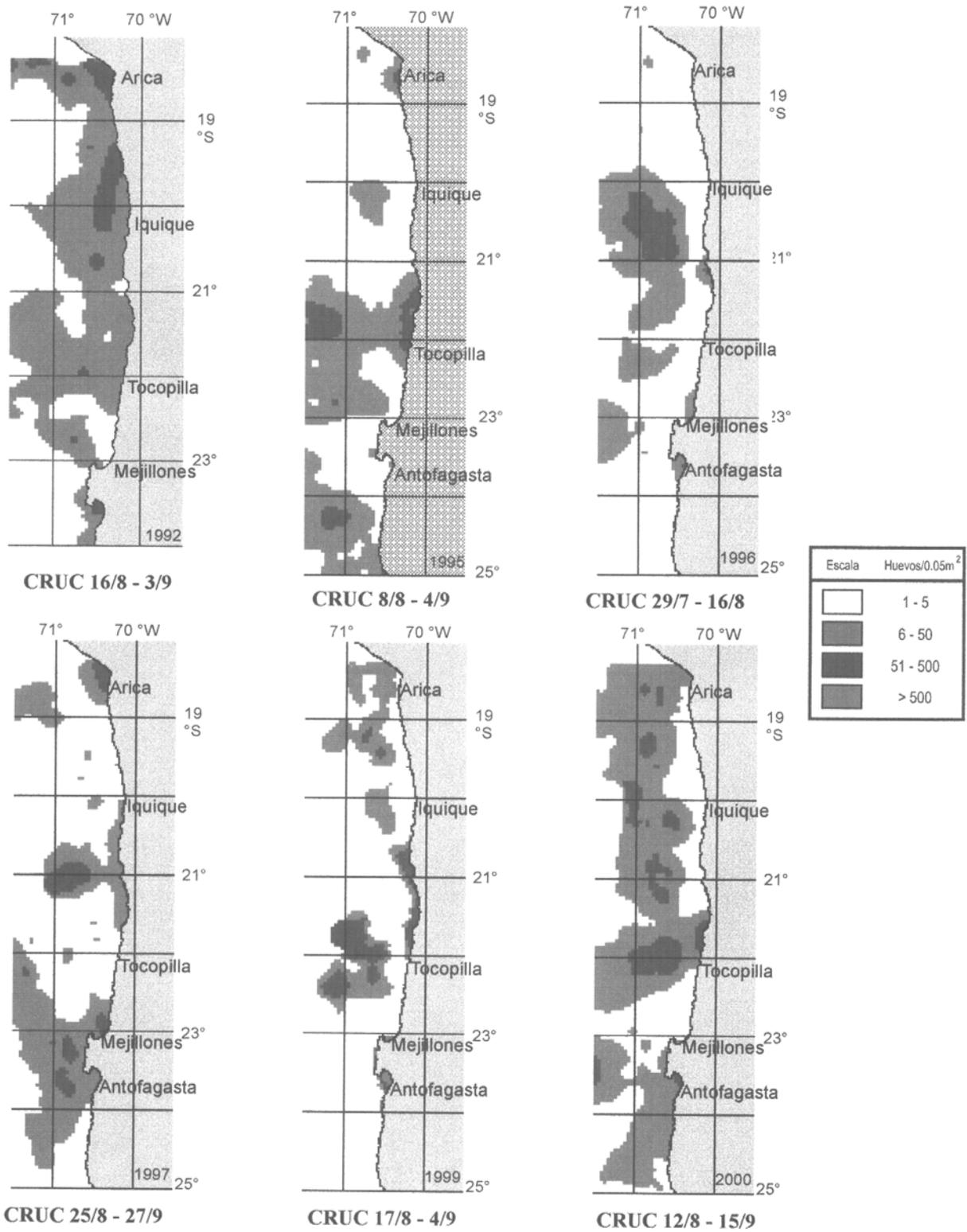


Figura 11. Distribución espacial y temporal de los huevos de anchoveta entre 1992 y 2000.

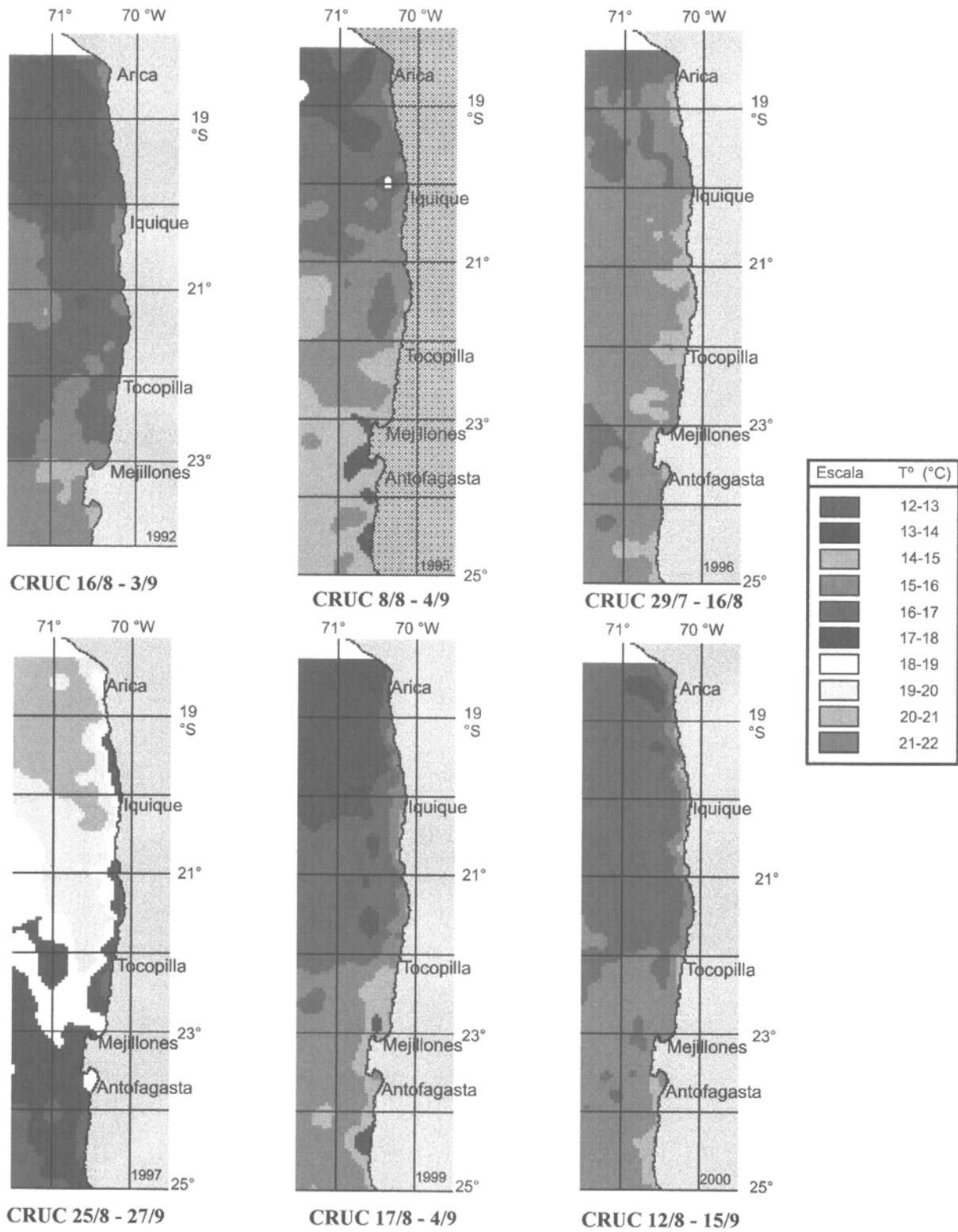


Figura 12. Distribución espacial y temporal de la temperatura superficial (°C) entre 1992 y 2000.

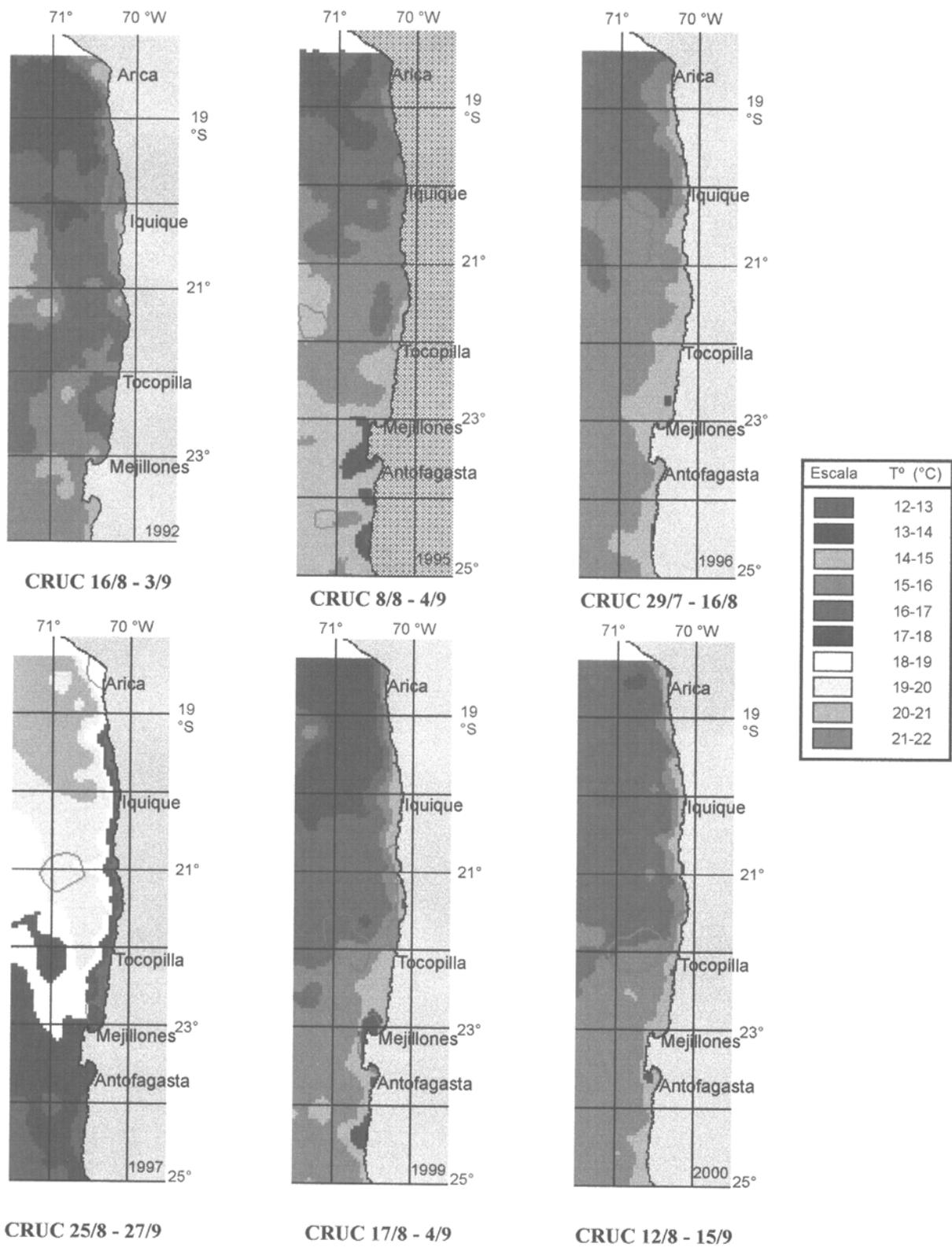


Figura 13. Distribución espacial y temporal de la temperatura (°C) a 10 m entre 1992 y 2000.

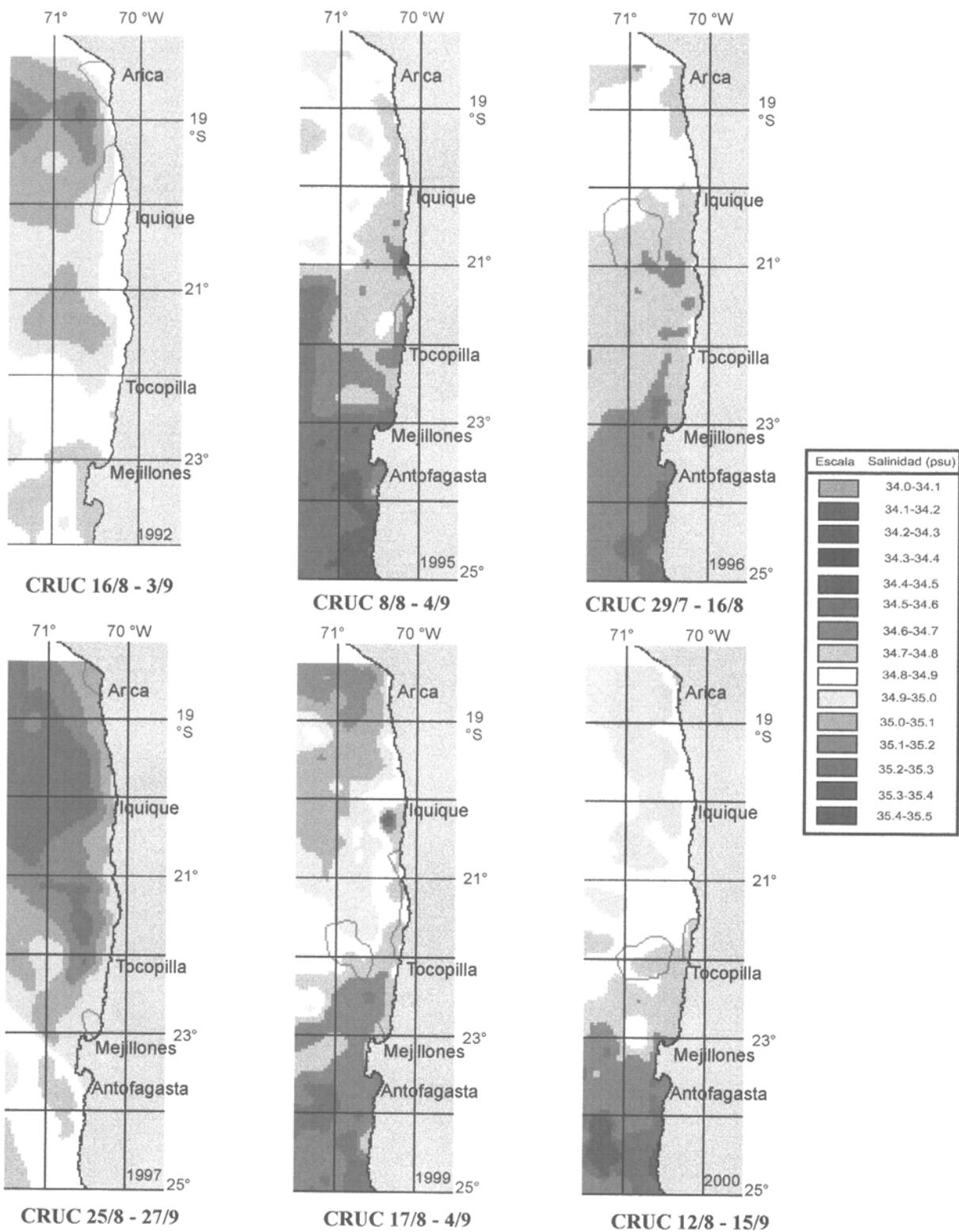


Figura 14. Distribución espacial y temporal de la salinidad superficial entre 1992 y 2000.

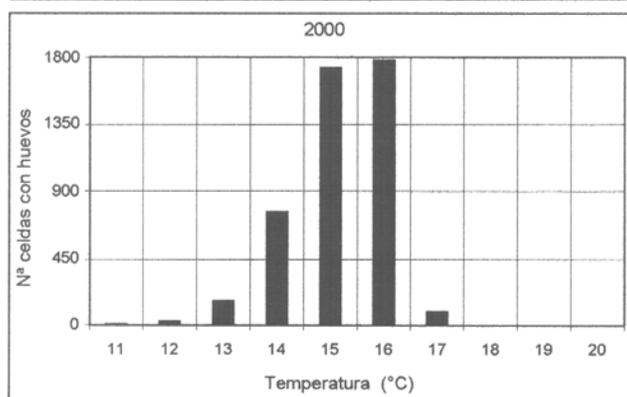
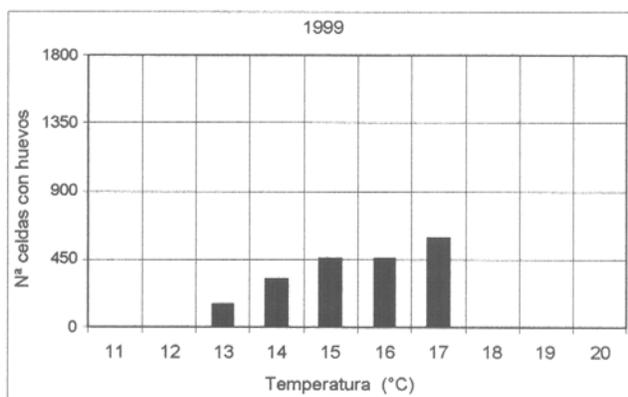
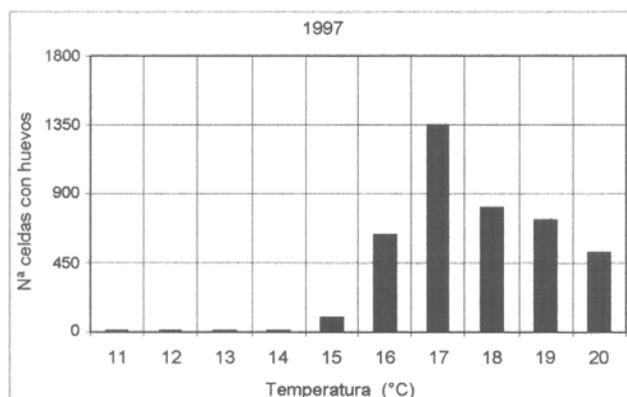
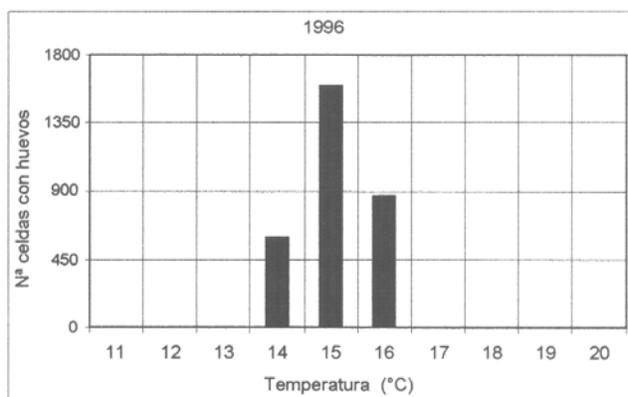
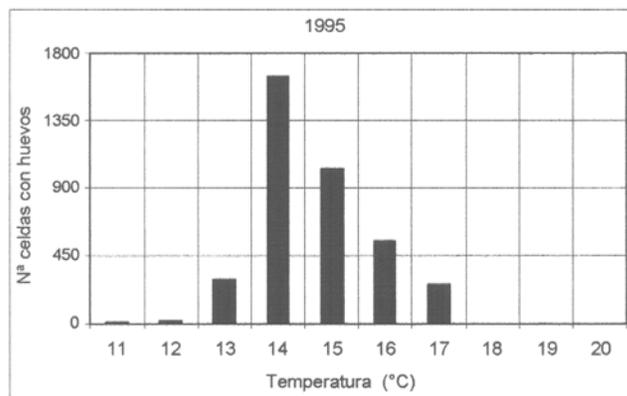
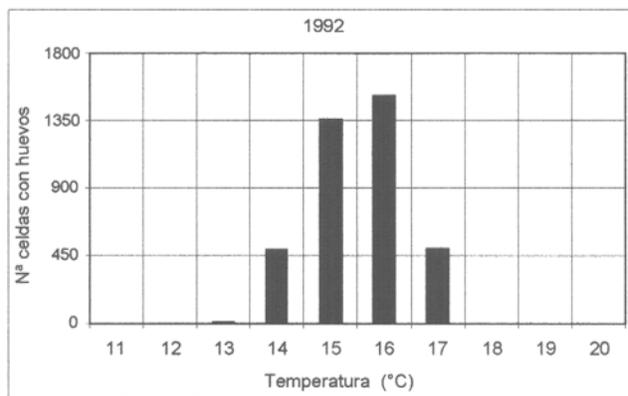


Figura 15. Número de celdas con huevos de anchoveta, respecto a la temperatura a 10 metros de profundidad (°C).

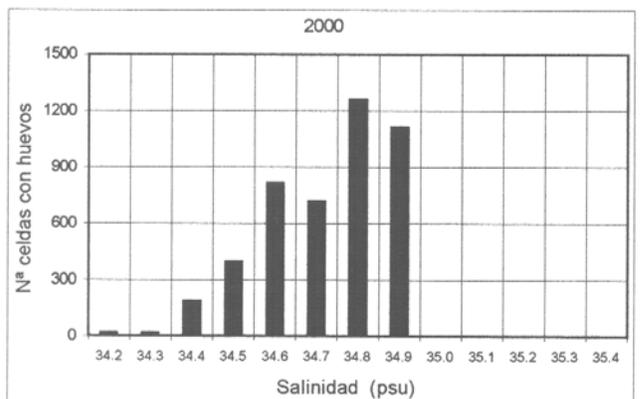
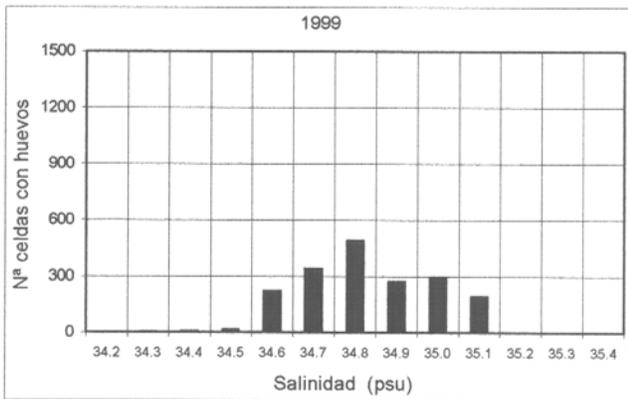
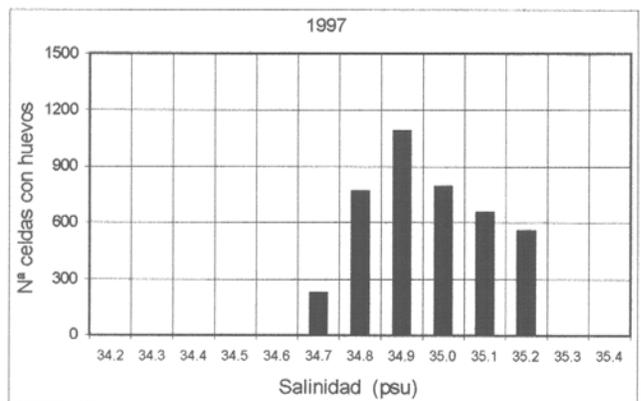
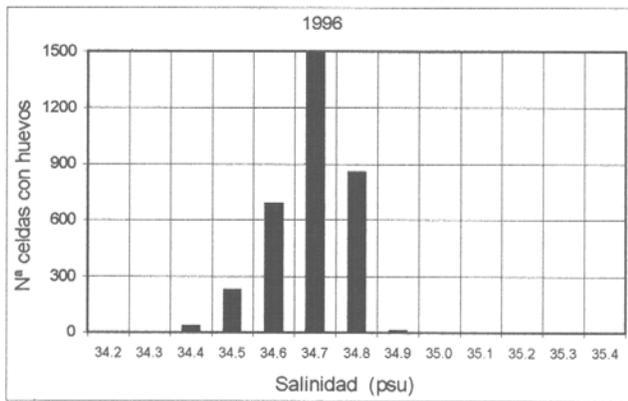
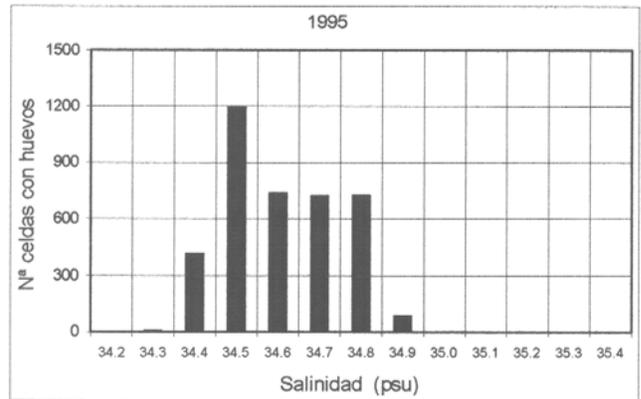
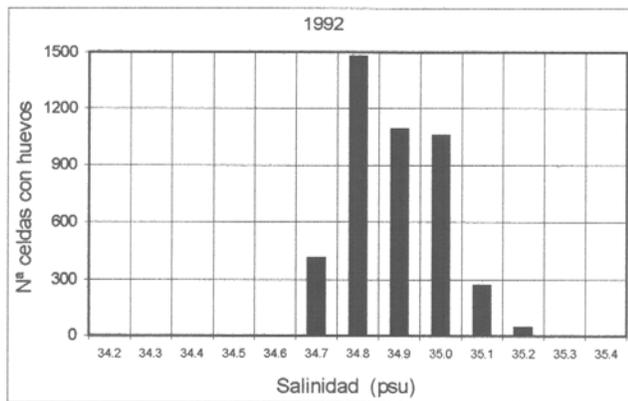


Figura 16. Número de celdas con huevos de anchoveta respecto a la salinidad superficial (psu).

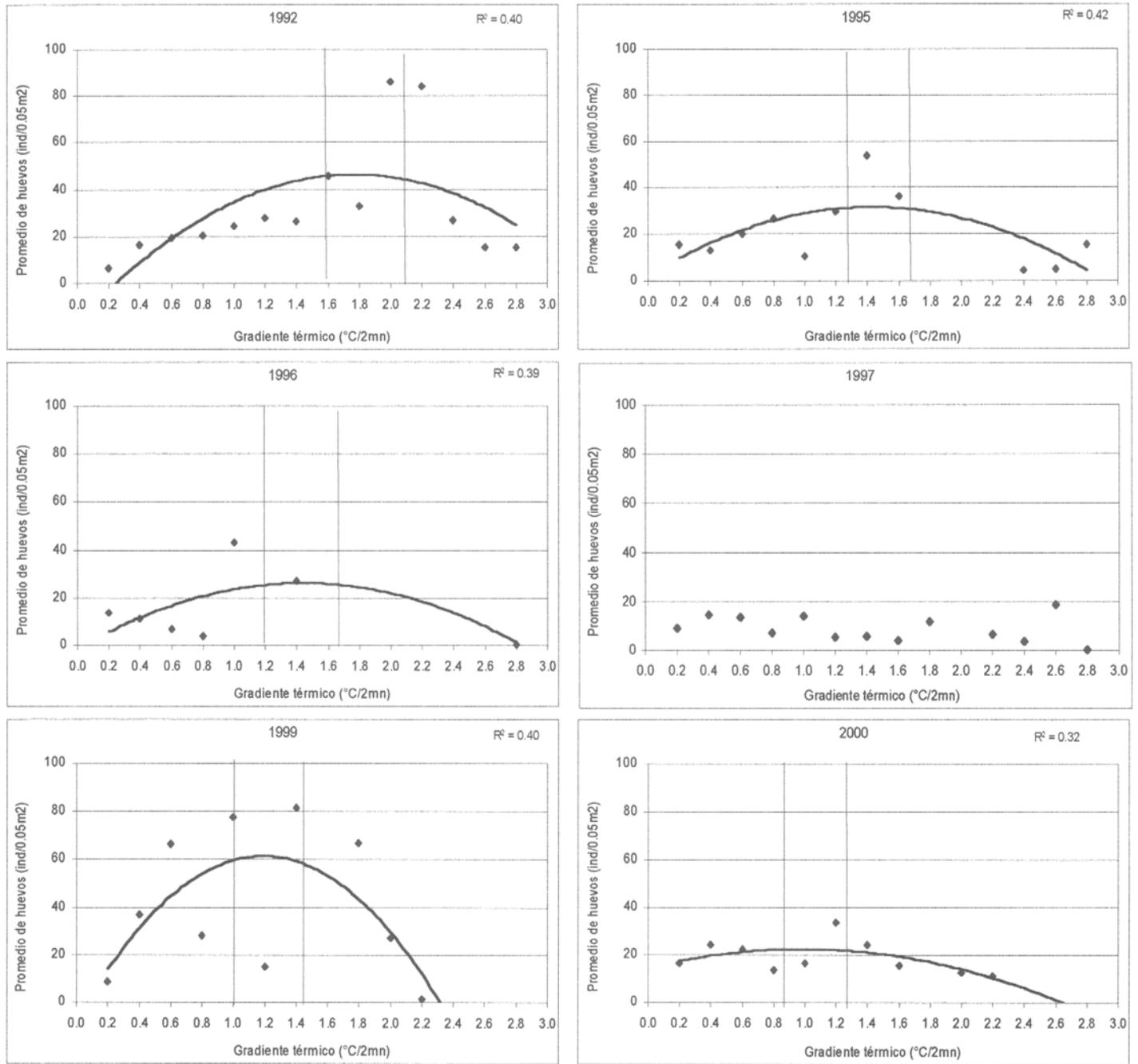


Figura 17. Relaciones entre el promedio de los huevos de anchoveta respecto del gradiente térmico a 10 m de profundidad.

— : "Rango óptimo" de densidad de huevos de anchoveta respecto de la variable ambiental.

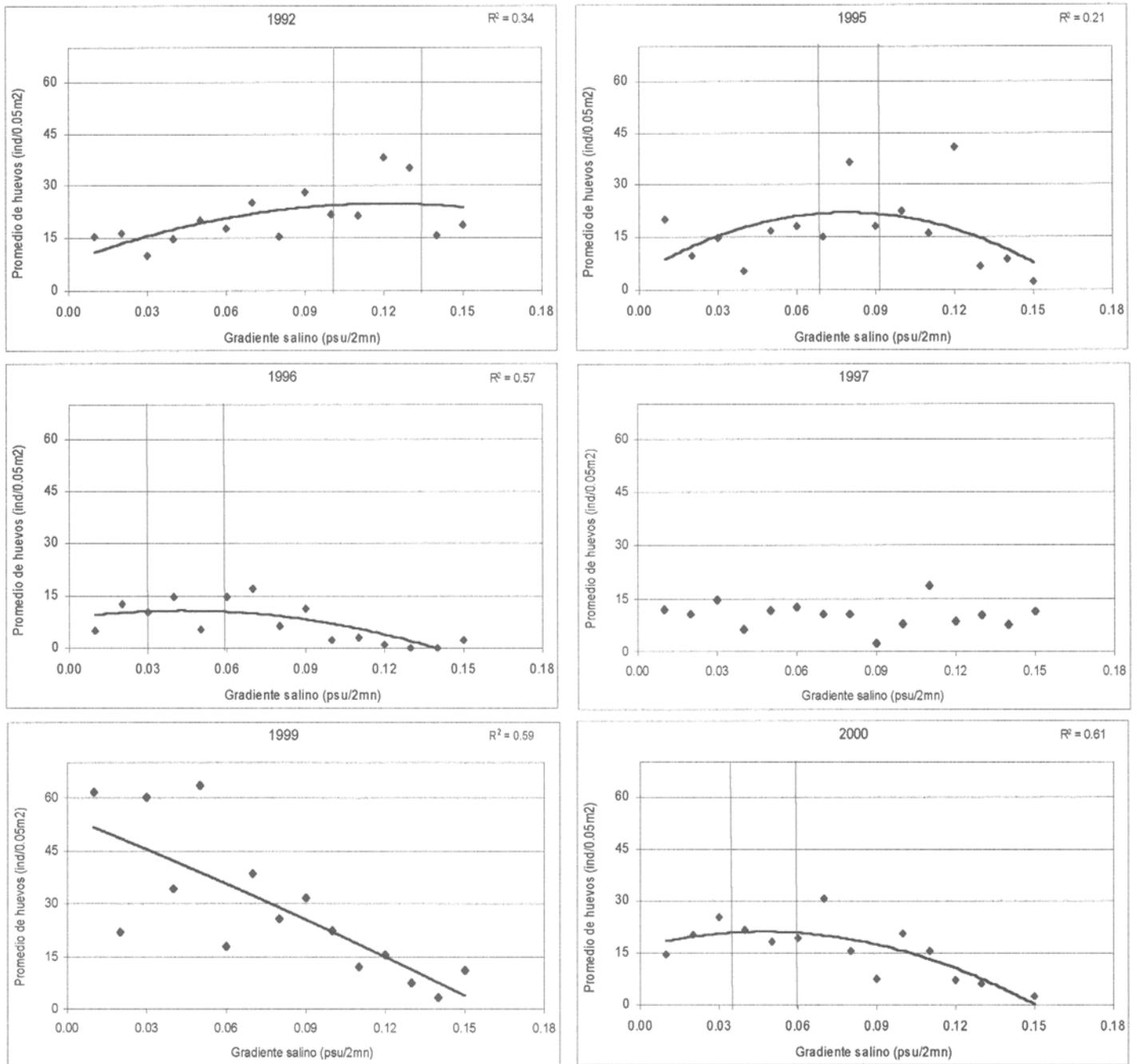


Figura 18. Relaciones entre el promedio de los huevos de anchoveta respecto del gradiente salino superficial.

— : "Rango óptimo" de densidad de huevos de anchoveta respecto de la variable ambiental.

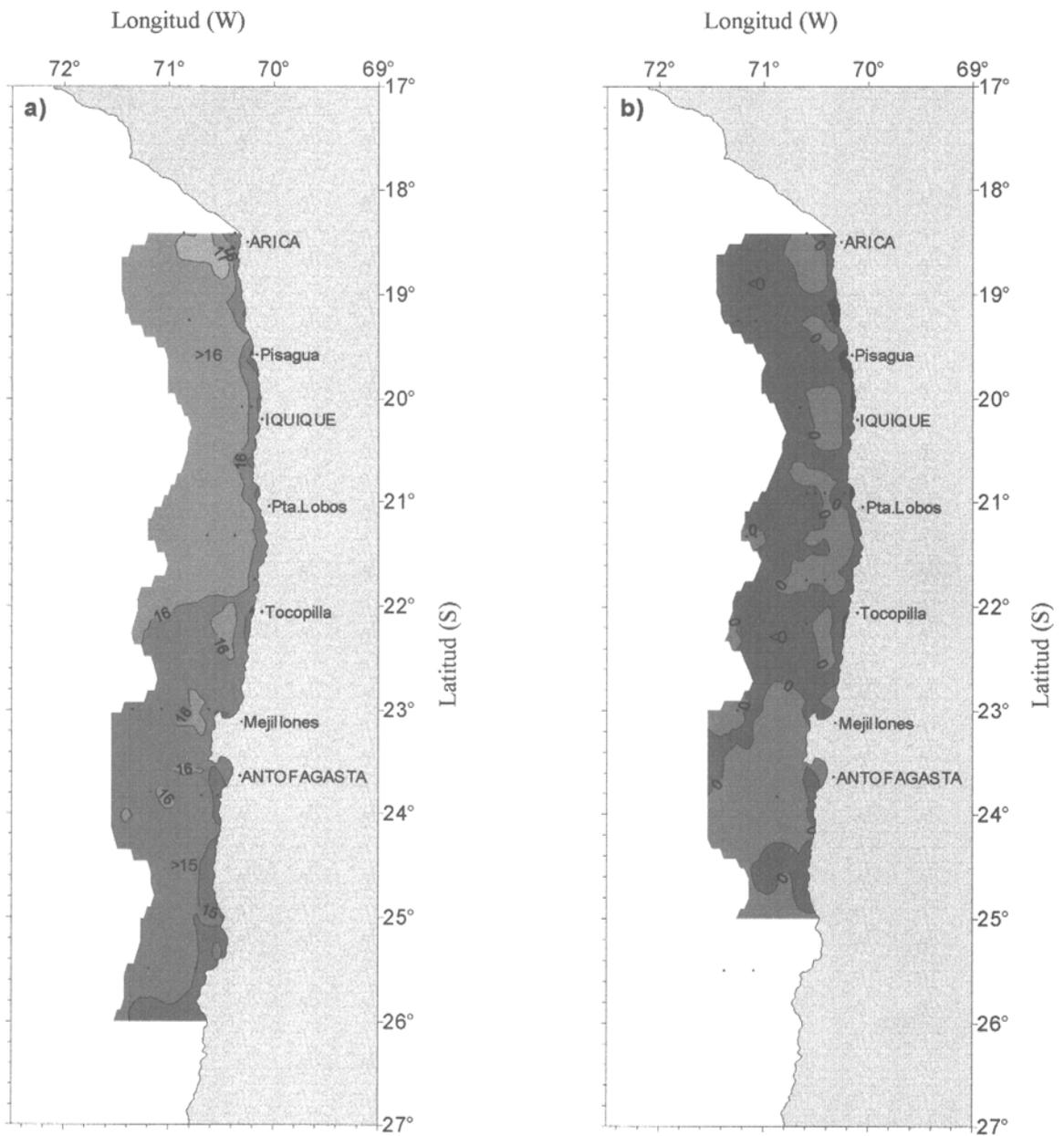


Figura 19. Distribución superficial de a) temperatura y b) anomalía de temperatura (°C). Crucero MPH, agosto 2000.

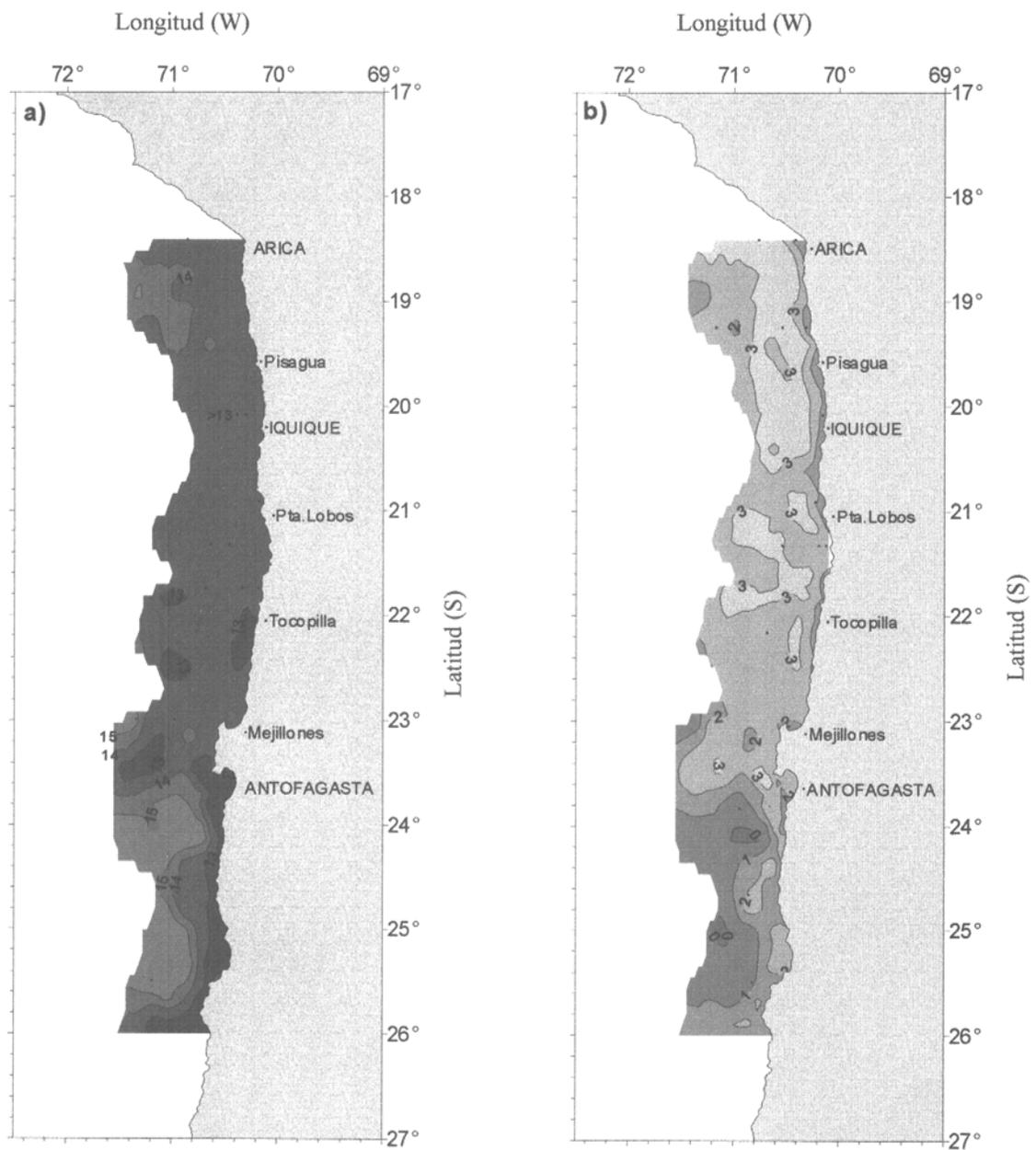


Figura 20. Distribución en el nivel de 50 m de profundidad de a) temperatura y b) diferencia de temperatura entre superficie y 50 m (°C). Crucero MPH, agosto 2000.

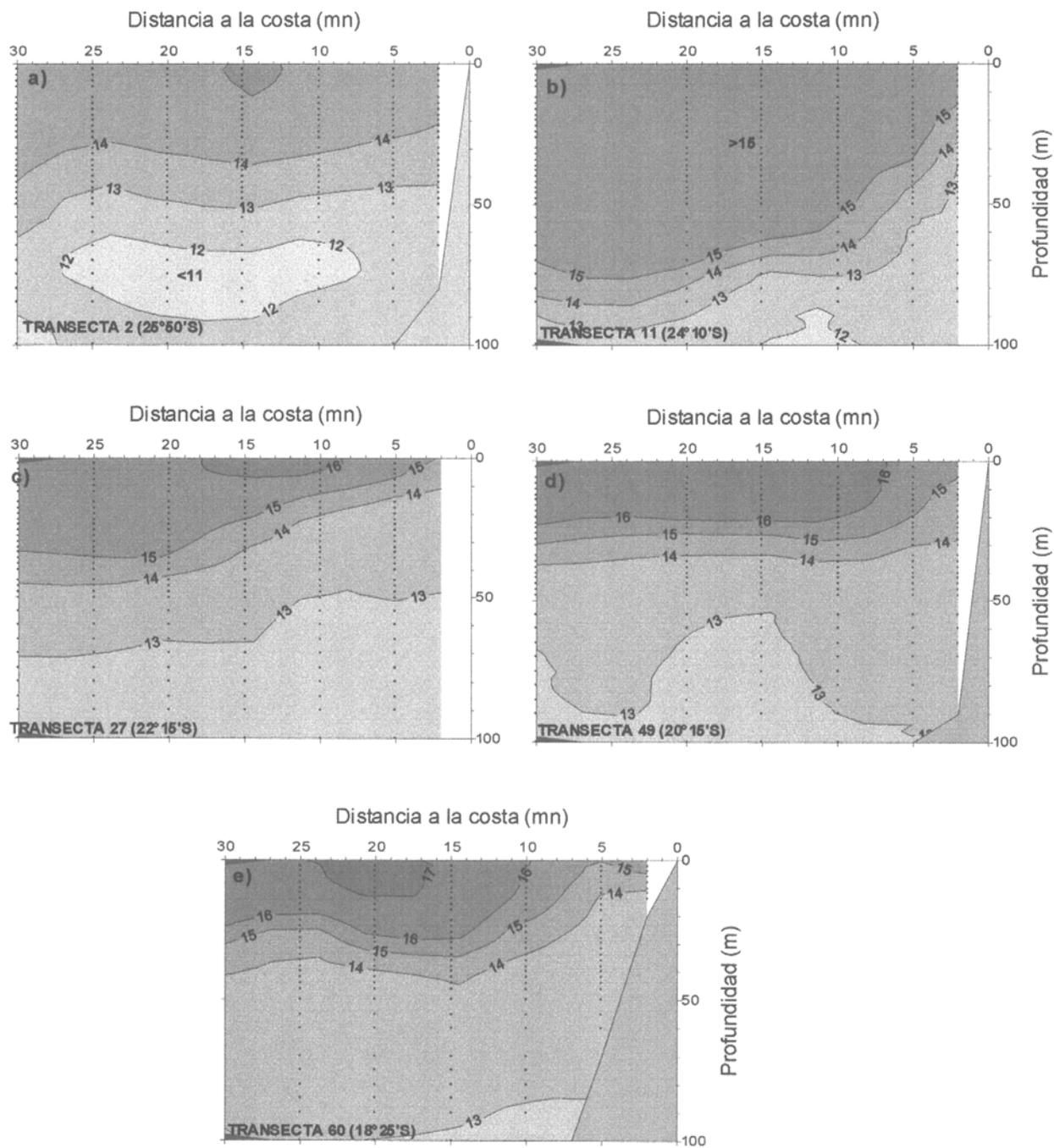


Figura 21. Distribución vertical de temperatura (°C) en las transectas a) 2 (25° 50' S), b) 11 (24° 10' S), c) 27 (22° 15' S.), d) 49 (20° 15' S) y e) 60 (18° 25' S). Crucero MPH, agosto 2000.

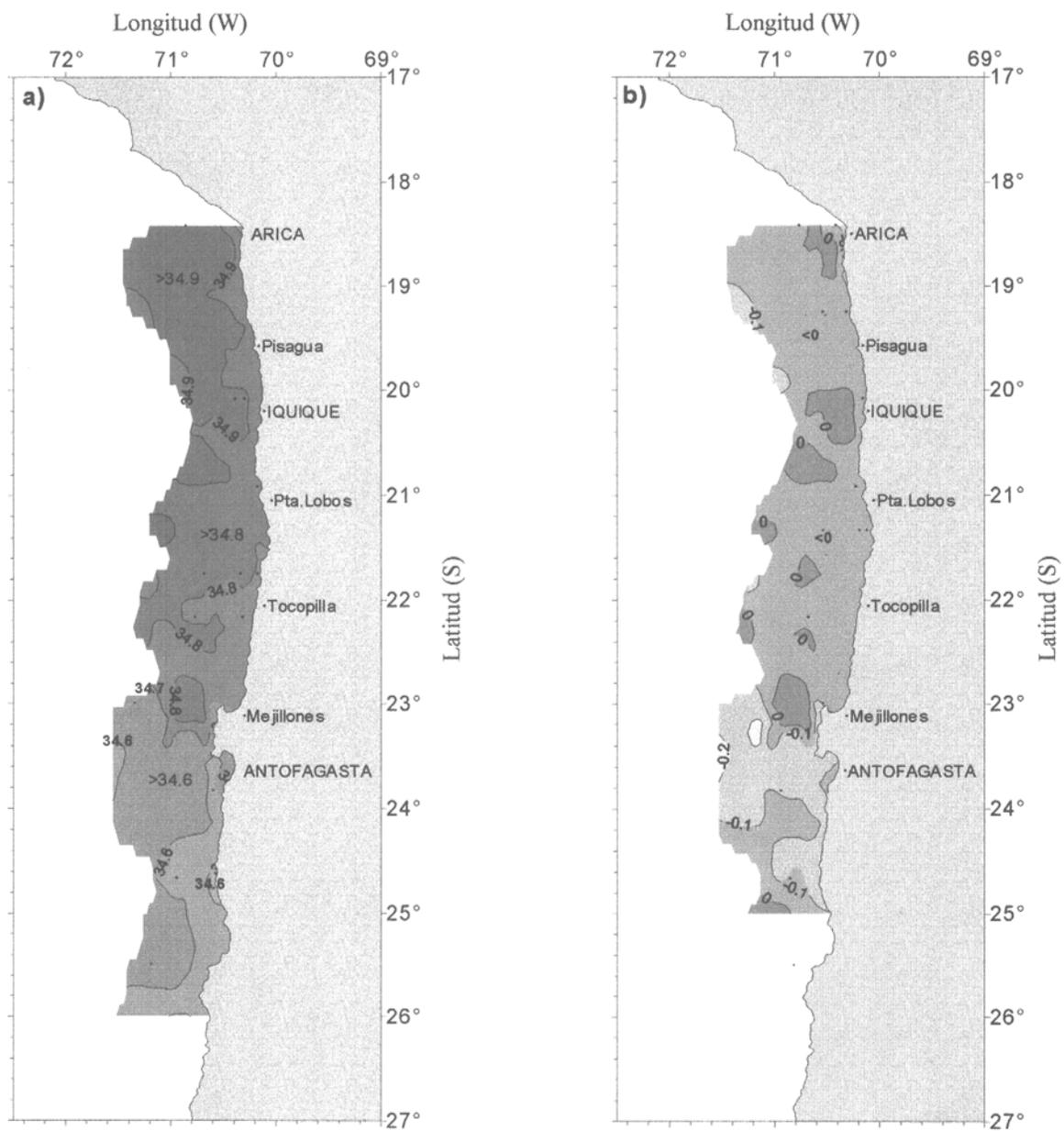


Figura 22. Distribución superficial de a) salinidad y b) anomalía de salinidad (psu).  
Crucero MPH, agosto 2000.

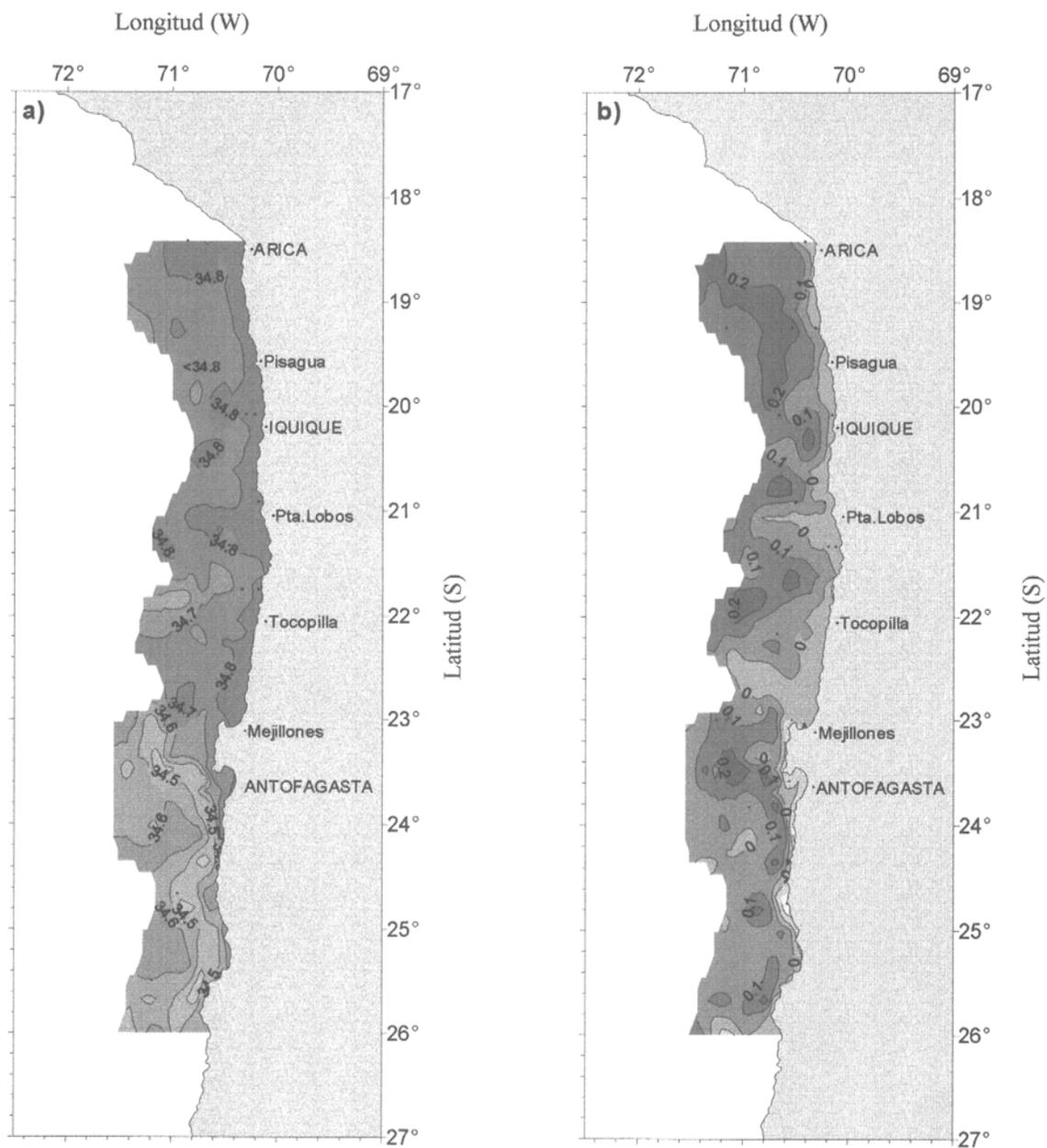


Figura 23. Distribución en el nivel de 0 m de profundidad de a) salinidad y b) diferencia de salinidad entre superficie y 50 m (psu). Crucero MPH, agosto 2000.

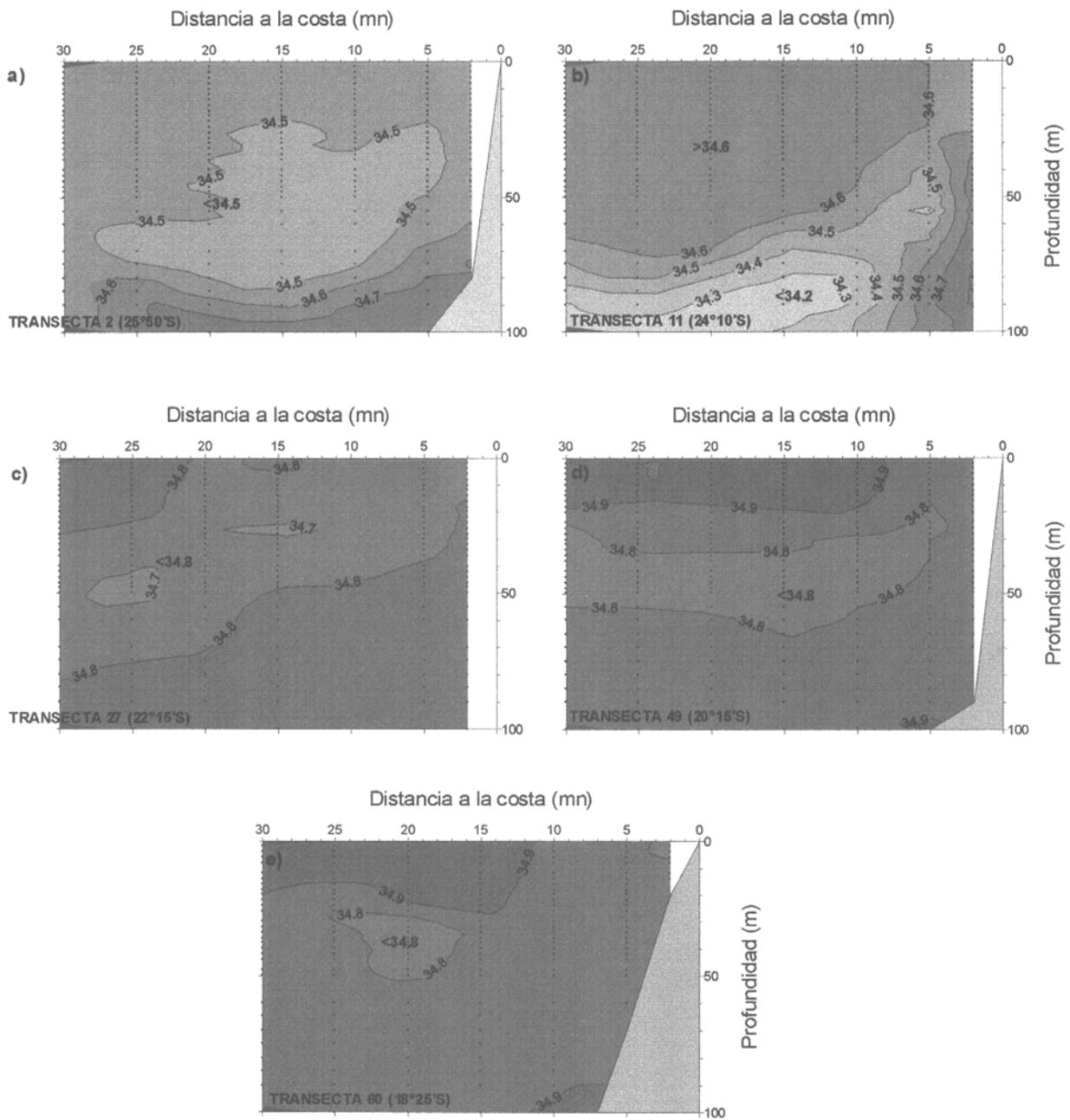


Figura 24. Distribución vertical de salinidad (psu) en las transectas a) 2 (25° 50' S), b) 11 (24° 10' S), c) 27 (22° 15' S), d) 49 (20° 15' S) y e) 60 (18° 25' S). Crucero MPH, agosto 2000.

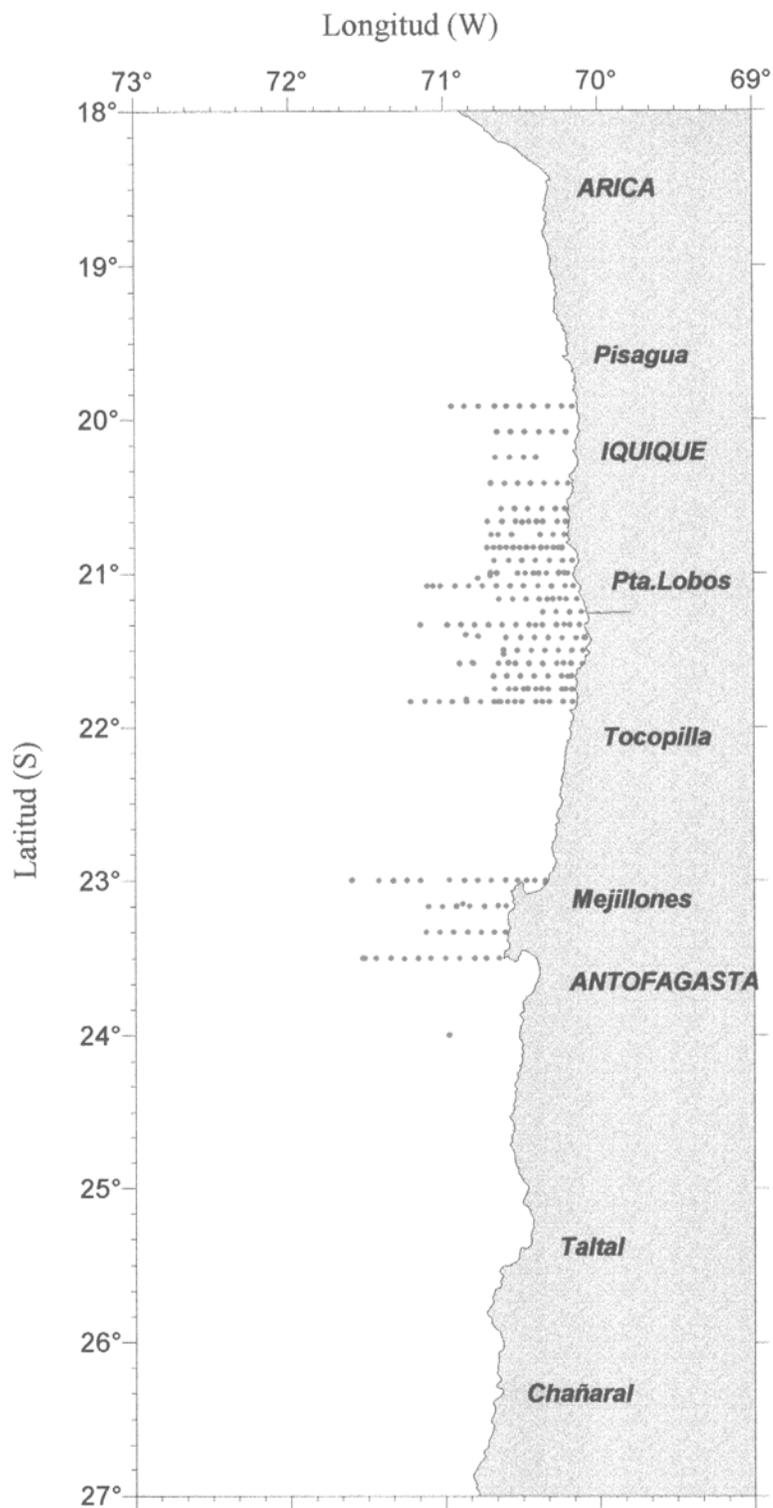


Figura 25. Zona de prospección de la CUFES. Crucero MPH 435(3)00CP. Agosto-septiembre 2000.

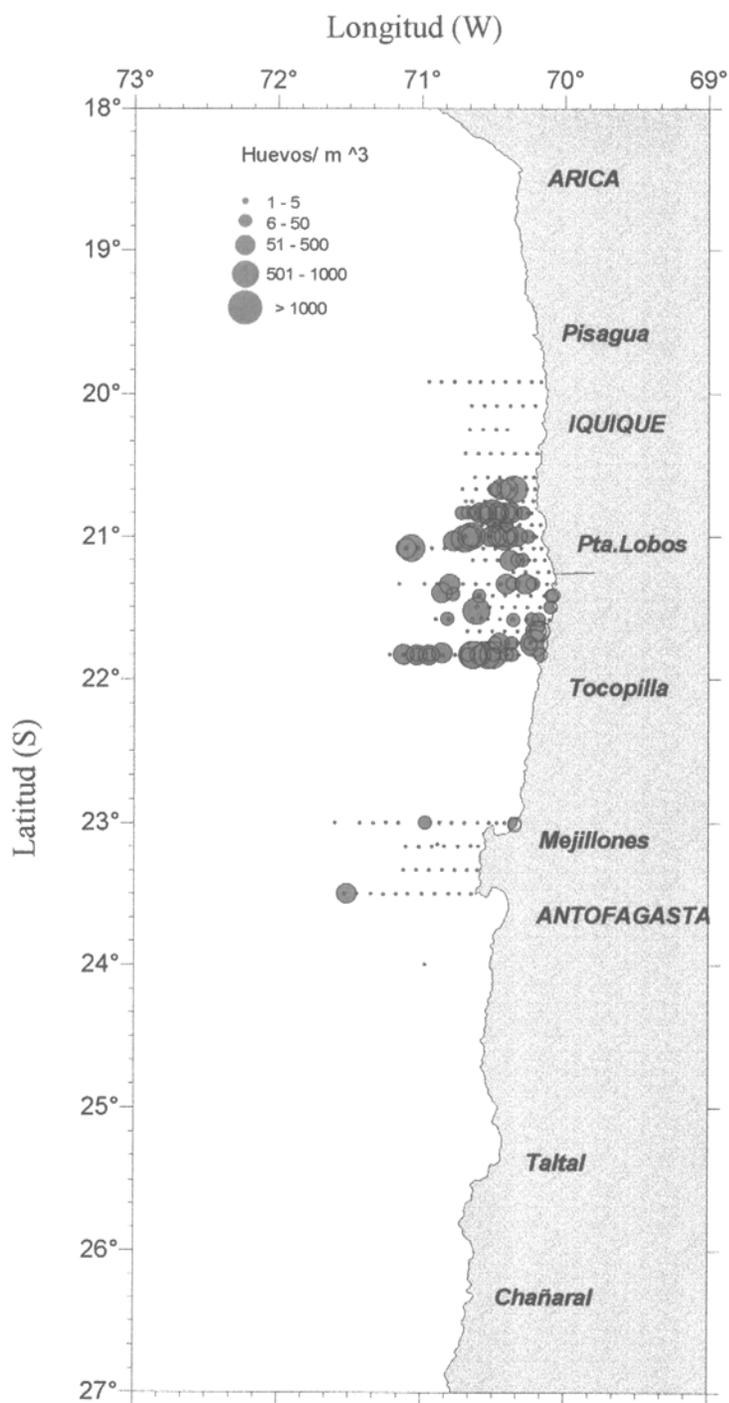


Figura 26. Distribución y abundancia espacial de huevos de anchoveta (*Engraulis ringens*) mediante el uso del sistema CUFES (huevos/m<sup>3</sup>). Agosto-septiembre 2000.

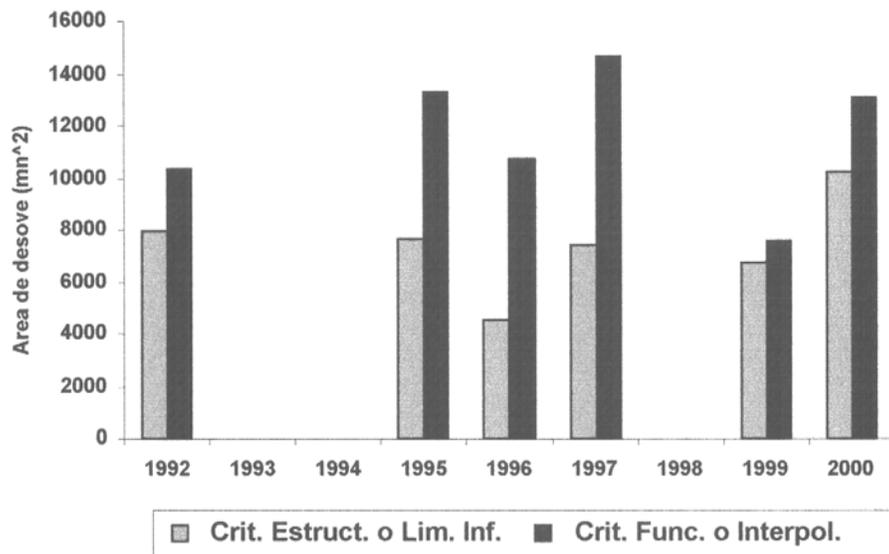


Figura 27. Areas de desove (mn<sup>2</sup>) estimadas para anchoveta entre 1992 y 2000, según los criterios definidos: Criterio Estructural o Límite Inferior y Criterio Funcional o Interpolación.

Número huevos por unidad de muestreo/día (N°/0,05 m<sup>2</sup>/día)

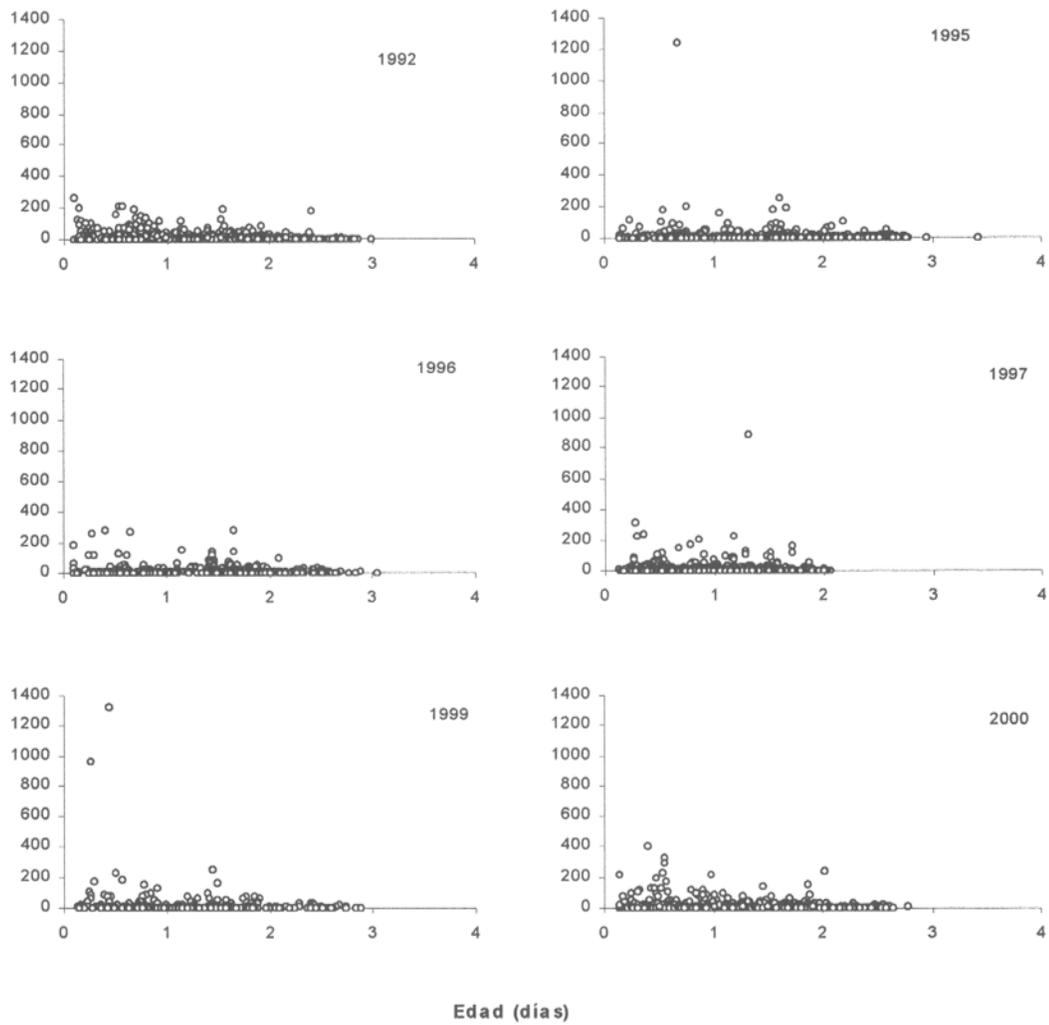


Figura 28. Número de huevos por unidad de muestreo en función de su edad para cada año de aplicación del MPH.

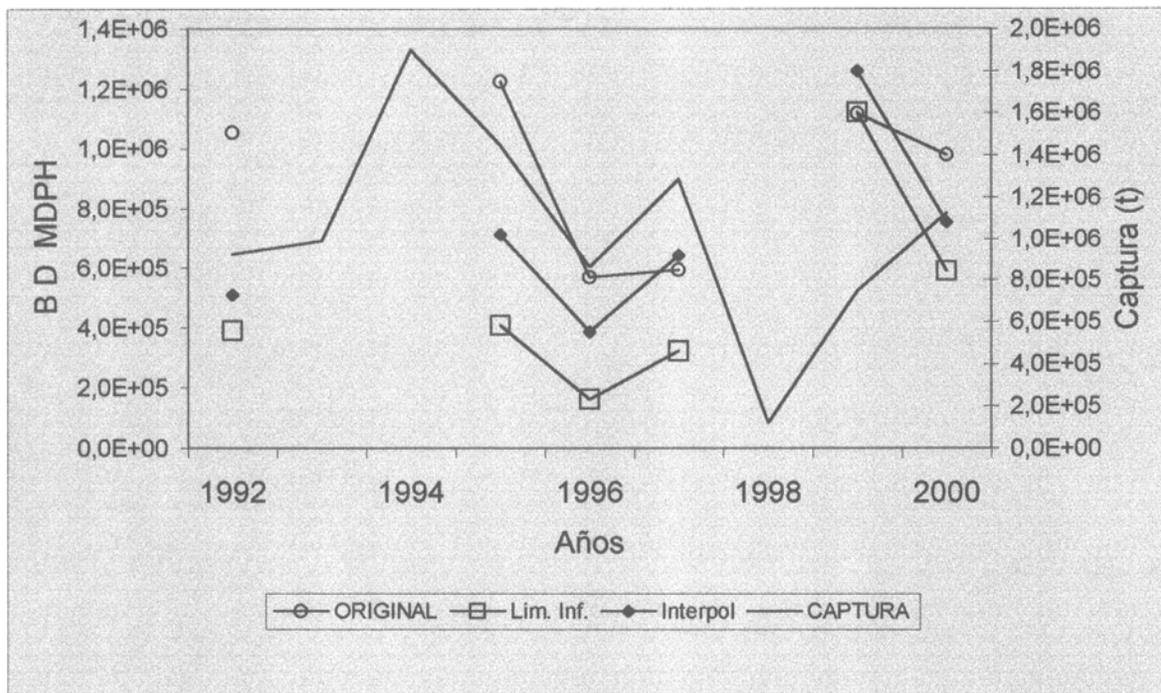


Figura 29. Biomosas estimadas por el MPH sin eliminación de puntos atípicos en 1999 para los escenarios 1 y 2 y capturas totales del año. Original: Biomasa reportada en el mismo año según el autor del informe final.

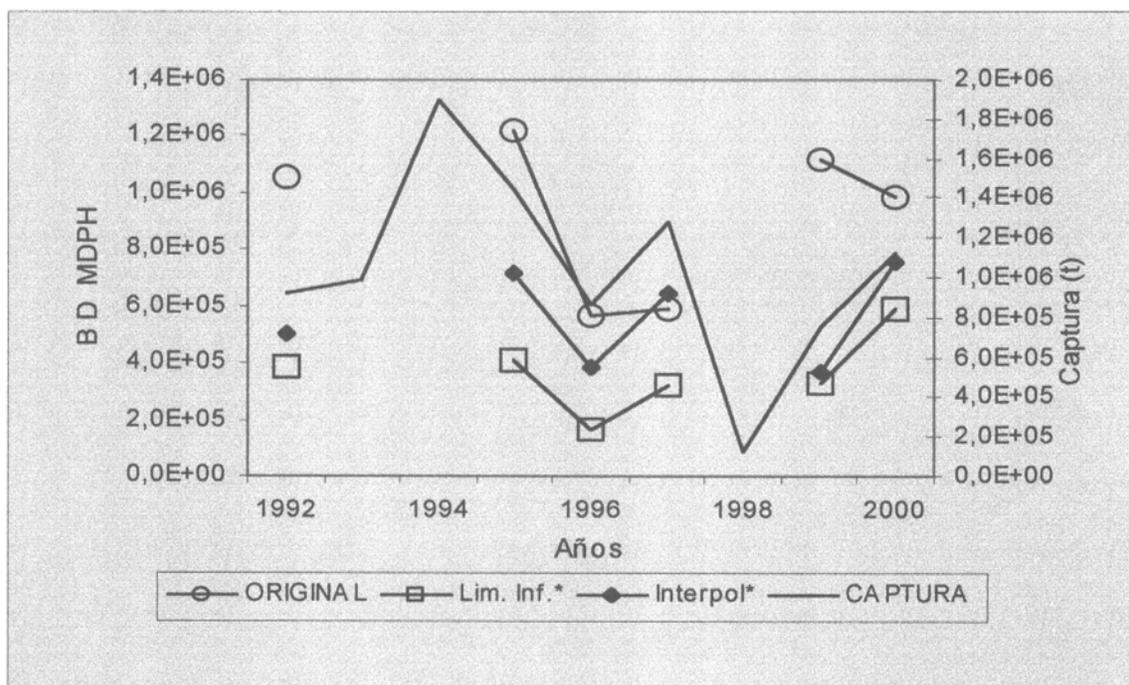


Figura 30. Escenario 3. Con eliminación de puntos atípicos en 1999 para los escenarios 1 y 2.

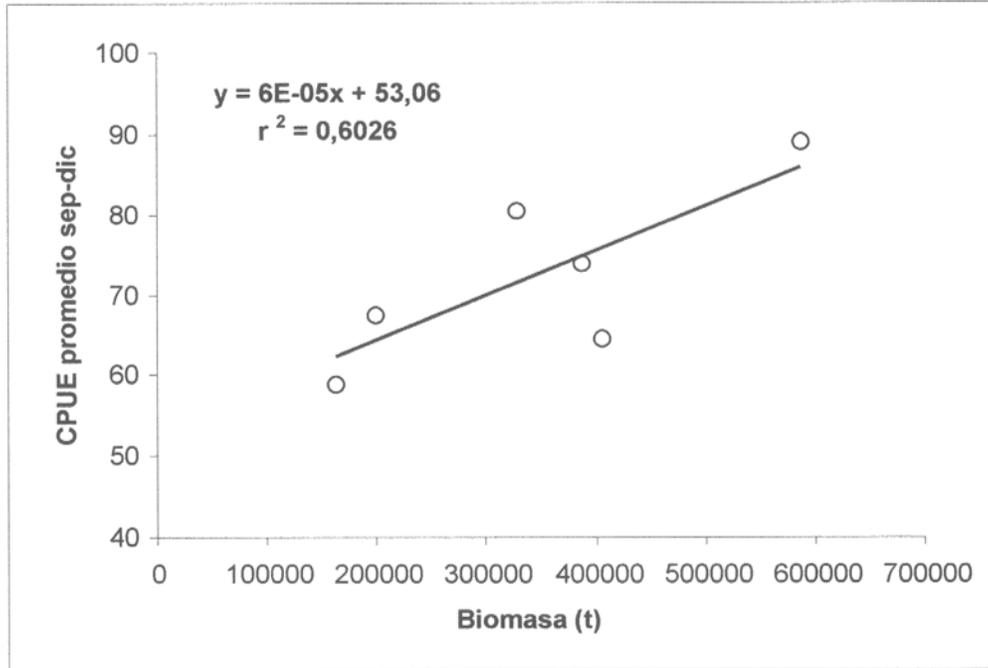


Figura 31. Relación entre la biomasa estimada según Escenario 3 y la captura por unidad de esfuerzo del período septiembre a diciembre del mismo año de aplicación del MPH.

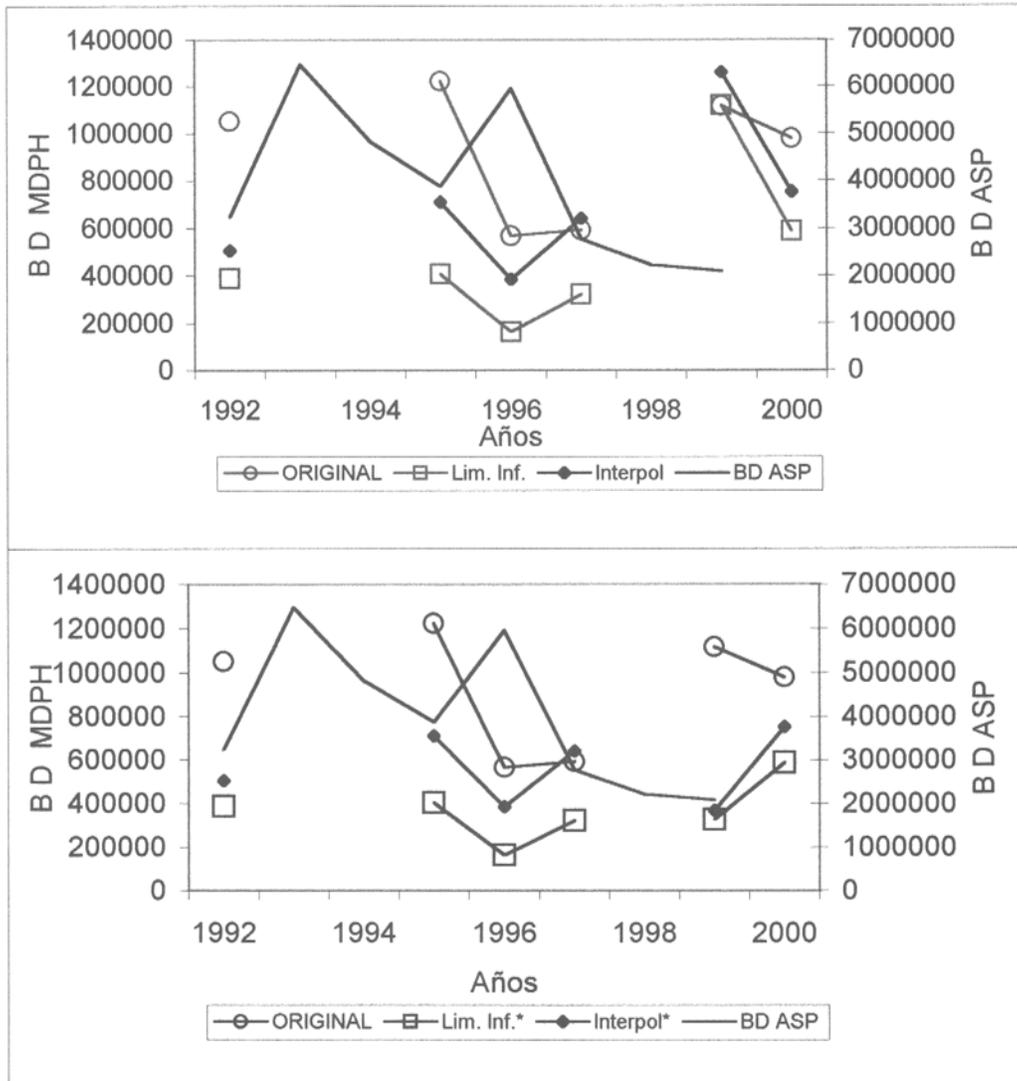


Figura 32. Comparación de biomasa desovante estimada por el ASP (BD ASP) y el MPH.

BDO: Biomasa desovante original

BD1: Biomasa desovante criterio estructural o límite inferior

BD2: Biomasa desovante criterio funcional o de interpolación

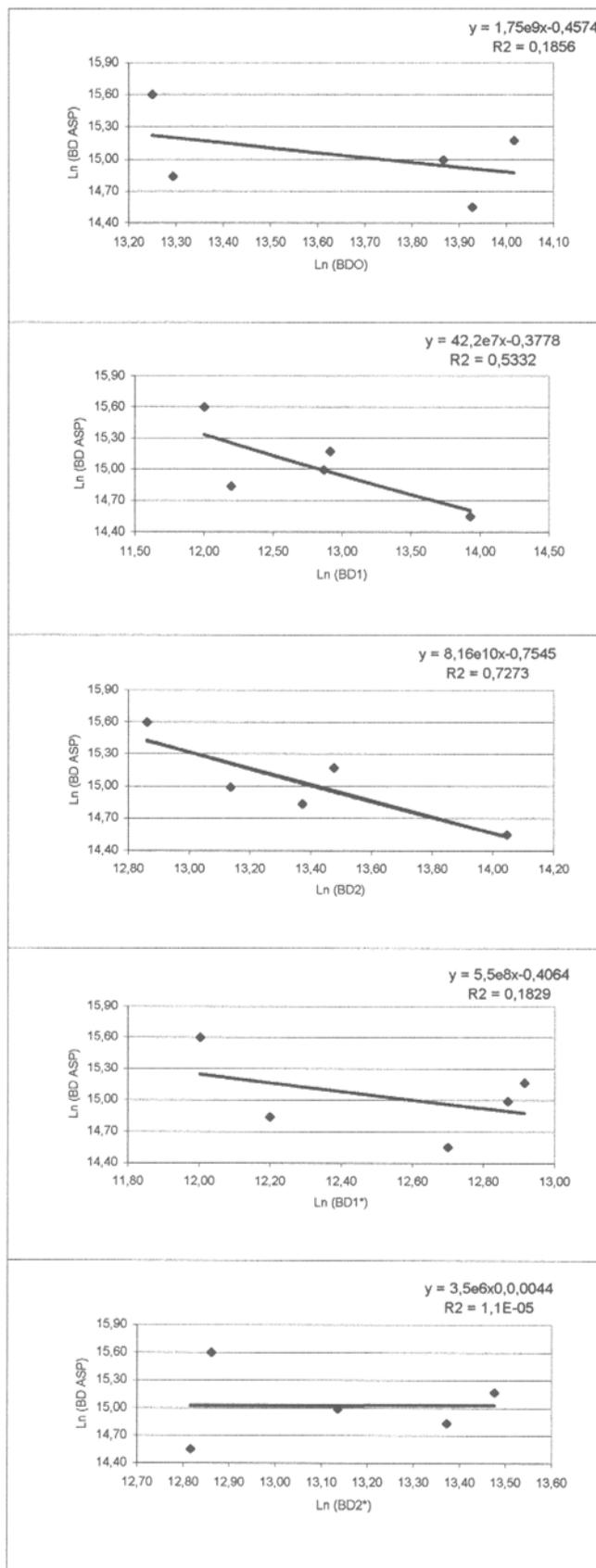


Figura 33. Relación potencial entre el logaritmo natural de la biomasa desovante obtenido por ASP y estimaciones de biomasa desovante por el "Método de Producción de Huevos".

BDO: Biomasa desovante original

BD1: Biomasa desovante criterio estructural o límite inferior

BD2: Biomasa desovante criterio funcional o de interpolación

BD1\*: Biomasa desovante criterio estructural o límite inferior sin punto atípico

BD2\*: Biomasa desovante criterio funcional o de interpolación sin punto atípico

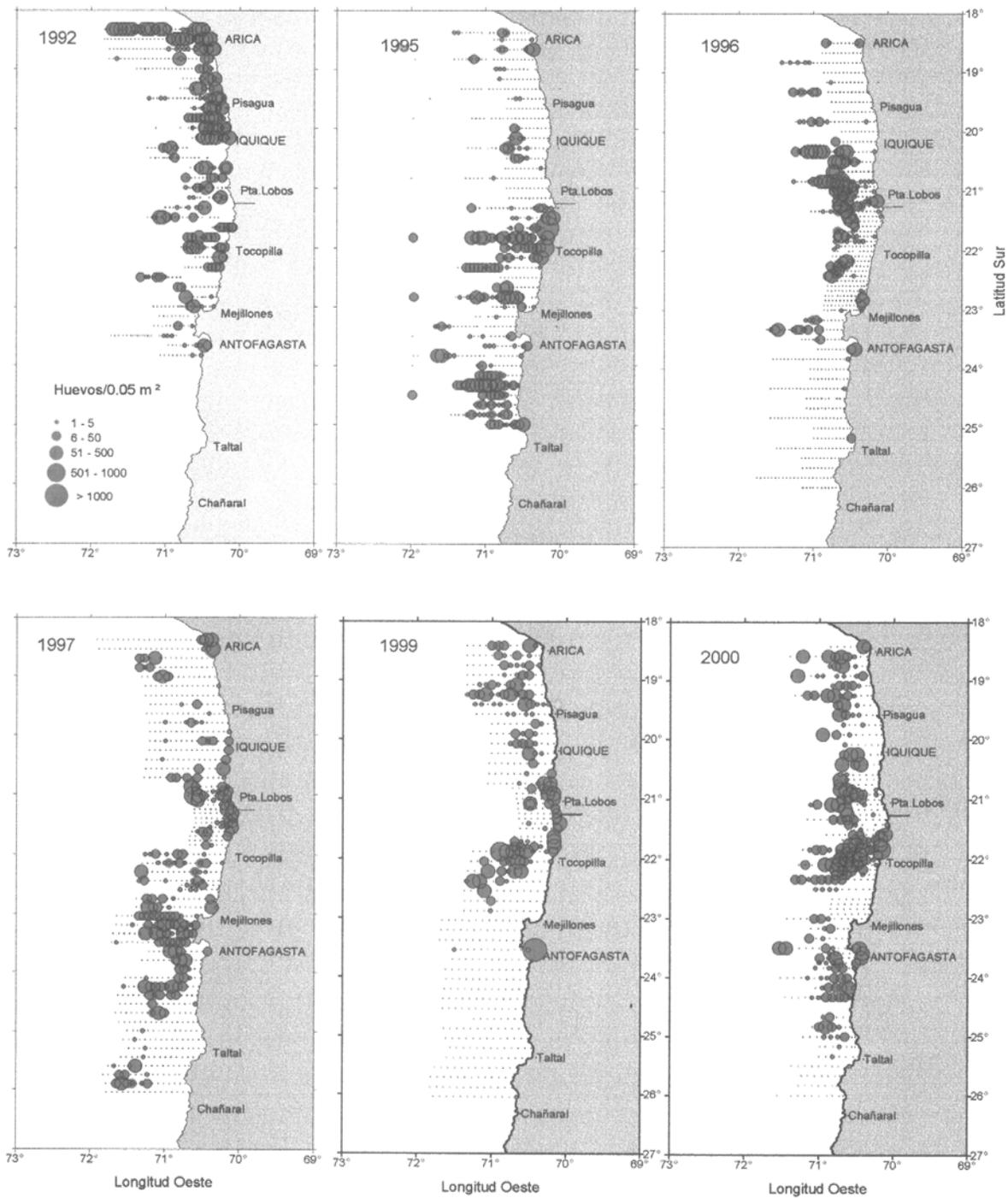


Figura 34. Distribución y abundancia de huevos de anchoveta de las seis prospecciones realizadas entre 1992 y 2000 a través del "Método de Producción de Huevos".

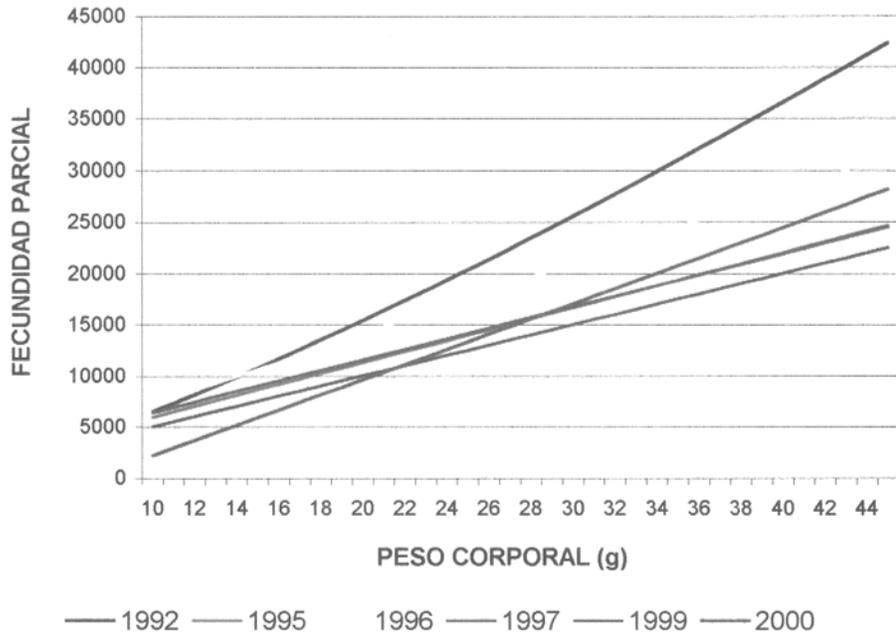


Figura 35. Regresión entre la fecundidad parcial y el peso corporal de la anchoveta en la I y II Regiones.

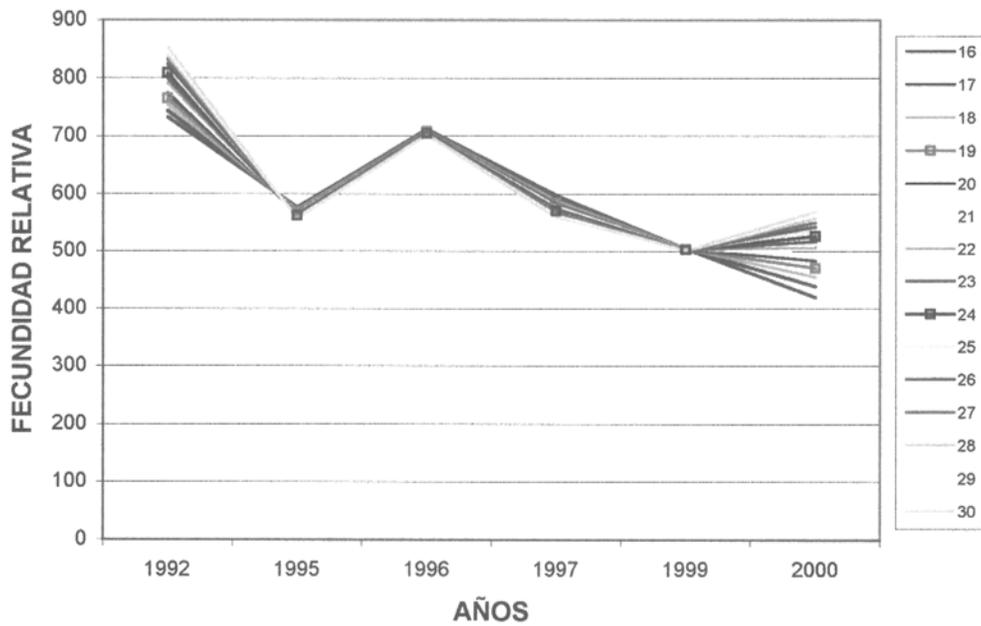


Figura 36. Fecundidad relativa de la anchoveta, en la I y II Regiones. (series: peso corporal en gramos).

# **ANEXOS**

# **ANEXO 1**

---

**CRITERIOS PARA LA  
APLICACIÓN DEL MPDH EN  
LA ESTIMACIÓN DE LA  
BIOMASA DESOVANTE DE  
ANCHOVETA EN LA ZONA  
NORTE DE CHILE**



## ANEXO 1

### Criterios para la aplicación del MPDH en la estimación de la biomasa desovante de anchoveta en la zona norte de Chile

---

#### 1. Diseño de muestreo de plancton y cobertura espacial

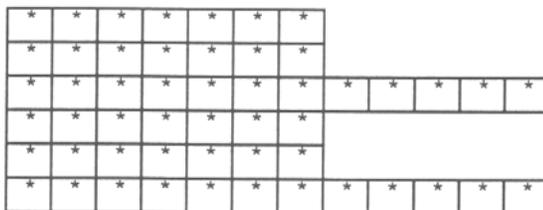
El diseño de muestreo a utilizar deber ser un muestreo aleatorio sistemático, el cual debe cubrir toda el área de desove en el período de máxima actividad reproductiva de la especie. De acuerdo a la experiencia previa, se plantea una cobertura latitudinal desde el límite norte del país hasta los 26° de latitud sur, cubriendo longitudinalmente al menos 60 mn desde la costa.

La distancia entre estaciones que se recomienda debe ser de 3 a 5 mn. El número de estaciones de muestreo dependerá básicamente del nivel de precisión deseado, de la varianza de la variable de interés y del error que se está dispuesto a asumir. Para tal decisión, se puede utilizar como variable indicadora la densidad media de huevos por unidad de muestreo. Según los estudios realizados por IFOP y la UNAP-Univ. de Antofagasta, efectuando entre 500 y 750 estaciones (app), se logran niveles aceptables de precisión en los estimados de biomasa.

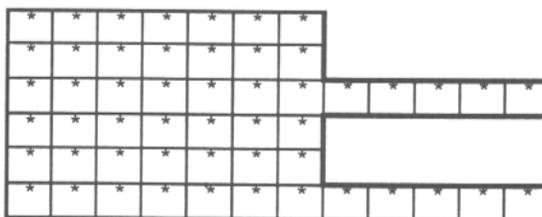
#### 2. Delimitación del área de estudio

El área de estudio o área de crucero (que para este efecto son sinónimos), debe ser delimitada a través de los contornos de las estaciones muestreadas, sin realizar interpolaciones inter-transectas, lo que se puede traducir en la suma aritmética de las áreas que representa cada estación de muestreo. Por ejemplo, si el diseño de muestreo establece transectas cada 10 mn, con estaciones cada 5 mn dentro de la transecta, se deberá realizar la sumatoria del área de cobertura de las estaciones muestreadas, en este caso de 50 mn<sup>2</sup>. Por ejemplo, si la disposición de las estaciones de muestreo en seis transectas, se diagrama a través de la siguiente figura:

---



El cálculo del área de crucero debiera corresponder a la sumatoria de las áreas representadas por cada estación de muestreo, sin realizar interpolaciones entre las transectas más largas, de forma tal, que el área delimitada se pueda diagramar de la siguiente manera:



De este modo las transectas largas (en general fuera de las 30 mn) conservan el área de las transectas costeras.

El principio fundamental para la delimitación del área de estudio esta basado en el diseño de muestreo propuesto, el cual considera estaciones equidistantes dentro de una transecta, las cuales son representativas del área adyacente. Es decir, estaciones cada 5 mn, representan un área de 25 mn<sup>2</sup> cuando la distancia entre transectas es de 5 mn, mientras que cuando la separación entre éstas es de 10 mn, la estación representa un área de 50 mn<sup>2</sup>.

### 3. Delimitación del área de desove

En los distintos estudios se han utilizado diversos criterios para la delimitación del área de desove, los que en general han expandido el área de desove a sectores no cubiertos por el muestreo (por ejemplo interpolaciones entre las transectas de 60 mn), cuyas consecuencias redundan en que las comparaciones de las estimaciones de biomazas entre un año y otro tengan ciertas restricciones.

Existen diversos criterios que se podrían utilizar para la delimitación del área de desove del recurso en estudio:



- a) Considerar el área que cumple con las condiciones oceanográficas requeridas para el desarrollo del proceso de desove, como la temperatura y la oferta trófica del área, entre otras.
- b) Plantear que el proceso de muestreo de ictioplancton debe delimitar el área de desove, en función de la presencia o ausencia de huevos de la especie objetivo del estudio.

Basándose en la alternativa b), se propone que los cálculos del área de desove se ciñan a los siguientes principios, los cuales dan lugar al criterio que se le llamará estructural o de límite inferior.

#### CRITERIO ESTRUCTURAL O DE LIMITE INFERIOR

- Al interior de una transecta, los límites estarán establecidos por las estaciones positivas, es decir, aquellas estaciones con presencia de huevos de la especie en estudio. Si al interior de una transecta existen estaciones negativas entre positivas, se considerará un máximo de tres estaciones negativas. De este modo, si se tienen dos transectas como las mostradas a continuación, donde aquellas con signo (+) representan una estación positiva:

+					+	+						
+	+	+				+	+	+				

el área de desove queda delimitada de la siguiente forma:

+					+	+						
+	+	+			+	+	+					

Este criterio se basa en los resultados obtenidos del análisis geoestadístico de la densidad de huevos encontrada durante el año 2000, el cual, según los modelos ajustados al variograma experimental, entrega una región de influencia (rango) de 23,4 mn (Taller interno, Proyecto FIP 2000-06). Esto quiere decir que en promedio, las observaciones más distanciadas de este valor no presentan correlación. Así, se puede establecer que si entre dos estaciones positivas existe un máximo de tres estaciones negativas, éstas se encontrarían en la región de influencia de las estaciones adyacentes.



Si bien pueden existir diferencias en la región de influencia entre un año y otro, se sugiere mantener el criterio de un máximo de 3 estaciones negativas entre dos positivas para hacer comparables las estimaciones entre un año y otro.

No se realizarán interpolaciones entre transectas cuando exista un área no muestreada entre ellas. Esto se debe a que el tiempo entre estaciones de distintas transectas puede llegar a superar las 24 horas, lo que para la duración del estadio de huevo de la anchoveta (de no más de 72 horas) es una fracción importante.

### CRITERIO FUNCIONAL O DE INTERPOLACION

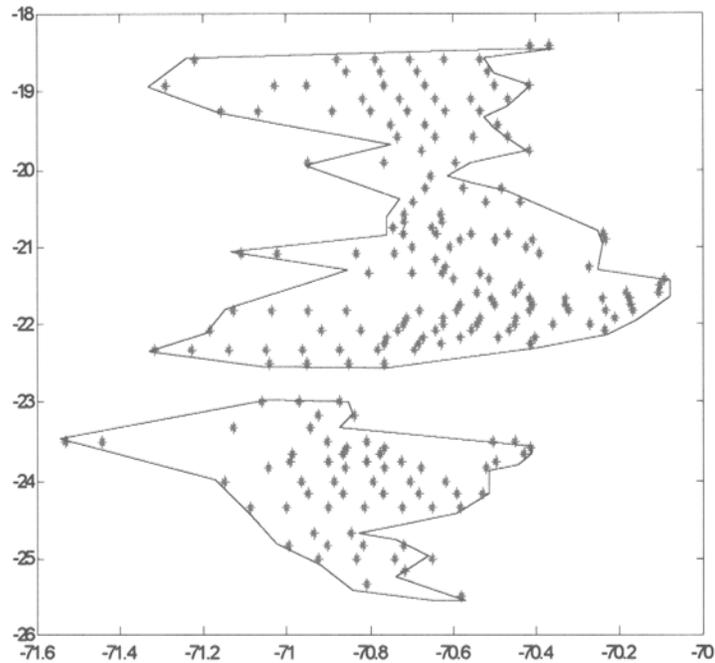
- Unir los puntos positivos oceánicos y costeros entre transectas.
- Interpolar entre las estaciones positivas terminales (costa y océano) de las transectas de 60 mn consecutivas. En la subarea (Loa – Mejillones) donde todas las transectas alcanzan hasta 30 mn de la costa debe interpolarse una distancia máxima de 30 mn entre las transectas.

Nota: La tesis de J. Toloza (1999) muestra por análisis geoestadístico que existe algún grado de correlación hasta 30 mn. A distancias mayores no hay correlación entre las estaciones.

- Las estaciones positivas aisladas deberán examinarse por análisis visual y densidad mínima (categoría 6-50 huevos) si constituyen observaciones atípicas. Estos puntos no serán considerados para la delimitación del polígono del área a integrar.
- Dos transectas consecutivas sin estaciones positivas no serán incluidas en el cálculo del área de desove.

Una implementación de este criterio en Matlab permite obtener polígonos con las áreas estimadas, como el presentado en la Figura 1.

---



**Figura 1.** Polígono delimitando el área de desove de anchoveta en la zona norte de Chile, 2000.

#### 4. Delimitación del área cero (área sin producción de huevos)

El área cero o área sin puesta de huevos, será estimada a través de la diferencia entre el área de crucero y el área de desove delimitada según los criterios antes señalados.

#### 5. Estimación de P0 y Z

##### a) Modelo estadístico y método de estimación

Se utilizará el clásico modelo de curva exponencial de la forma:

$$P_{ijk} = P_i e^{(-Z_i t_{ijk})} + \varepsilon_{ik}$$



donde:

- $P_{ijk}$  = Número de huevos de la edad  $k$ , en la estación  $j$  del estrato  $i$
- $P_i$  = Producción diaria de huevos por unidad de área en el estrato  $i$
- $Z_i$  = Tasa de mortalidad diaria de huevos en el estrato  $i$
- $t_{ijk}$  = Edad en fracción de días
- $\varepsilon_{ijk}$  = Error aleatorio aditivo

El método de estimación corresponde a mínimos cuadrados ponderados, donde el factor ponderador corresponde a la razón entre el área de la estación y el total del área del estrato, de la forma:

$$w_{ji} = \frac{a_{ij}n_{ij}}{\sum_{j=1}^m a_{ij}n_{ij}}$$

donde:

- $w_{ij}$  = factor ponderador de la estación  $j$  en el estrato  $i$
- $a_{ij}$  = área de la estación  $j$  en el estrato  $i$
- $n_{ij}$  = n° de categorías de edad de los huevos en la estación  $j$  en el estrato  $i$

La varianza asintótica de los parámetros del modelo propuesto se estimarán a través de los métodos clásicos, como los propuestos por Gulland (1987).

No obstante la metodología general propuesta, se debe considerar la necesidad de analizar con detención las estaciones con elevado número de huevos, dado su gran impacto en los parámetros estimados del modelo.

#### **b) Asignación de edades a los huevos**

La asignación de edades se realizará según la metodología propuesta por Lo (1985), expresándose las edades en fracción de días, no en intervalos discretos de edad.

Este criterio se basa en la necesidad de utilizar la información a su nivel más real de observación, manteniendo el número de observaciones originales, lo que en definitiva tiende a aumentar los grados de libertad de los ajustes mínimo cuadráticos.



### **c) Eliminación de estadios sub-representados**

Existe una recomendación generalizada de cortar los estadios cercanos al desove debido a una subestimación por reclutamiento incompleto. Hay investigadores que eliminan las edades menores a 8 horas (Armstrong *et al.*, 1988) y otros que eliminan el primer estadio (Sánchez *et al.*, 1996). De acuerdo al análisis efectuado de la distribución de edades y estadios, se aprecia que eliminar las edades menores a 8 horas involucra completamente al estadio I y parcialmente a los estadios II y III, debido al efecto de temperatura sobre el modelo de estimación de edades. Dado que lo que se pretende estimar es un intercepto al origen, se debe tener la precaución de no eliminar observaciones que no estén subestimadas, ya que podría provocar elevación artificial del intercepto a edad cero ( $P_0$ ). Sin embargo, la distribución de frecuencia de estadios de huevos muestra que existe subestimación en los estadios I, pero no en los II y III. Por lo que se recomienda efectuar esta corrección por reclutamiento incompleto en base a estadios (eliminar los estadios I) y no en base a edades.

### **d) Observaciones a incluir en el ajuste**

Dada la existencia de algunas estaciones negativas al interior del área de desove, existe la alternativa de incluirlas en el ajuste del modelo exponencial. Como criterio a utilizar, solo se incluirán en el ajuste las estaciones positivas, es decir, aquellas con presencia de huevos de la especie en estudio.

### **e) Regionalización del área de estudio**

La decisión de realizar una separación por regiones en sentido latitudinal del área de desove, dependerá de:

- De la detección de variaciones regionales en los parámetros de adultos
- De la posible reducción del coeficiente de variación del estimado de  $P_0$ .

### **f) Estimación de la producción diaria de huevos para región o área de estudio**

Se utilizará el estimador de post-estratificación propuesto por Picquelle y Stauffer (1985) para el tratamiento del estrato positivo (área de desove) y el estrato negativo (correspondiente al área sin presencia de huevos).

---

# **ANEXO 2**

---

**BASE DE DATOS**

## BASE DE DATOS DEL PROYECTO FIP 2000-06

### "EVALUACION DEL STOCK DESOVANTE DE LA ANCHOVETA EN LA I Y II REGIONES"

La base de datos generada por el proyecto contempla 3 archivos en formato dBase:

frec\_desov.dbf. Este archivo contiene la información de los análisis microscópicos de las gónadas.

mbiol.dbf. Este archivo contiene la información del peso de las anchovetas muestreadas.

huevos.dbf. Este archivo contiene la información del crucero bio-oceanográfico.

Las variables se presentaron bajo la denominación "Nombre Campo" y cada una de estas variables tienen una breve descripción (Ej. en el archivo frec\_desov la variable LT contiene la información del tamaño de la anchoveta).

#### Archivo frec\_desov

Nombre Campo	Descripción
LT	Longitud total
PT	Peso total
PE	Peso eviscerado
PG	Peso gonada
EMM	Estado de Madurez
FPO	Foliculos post ovulatorios
ATR	Atresia
NO	Número de ejemplar
FECHA_LANC	Fecha de lance
HORA_LANCE	Hora lance
HORA_COLEC	Hora colecta
LANCE	Número del lance

#### Archivo mbiol

Nombre Campo	Descripción
LANCE	Número del lance
NO	Número del ejemplar
PT	Peso total
SEXO	Sexo
PTCOR	Peso total corregido

#### Archivo huevos

Nombre Campo	Descripción
NEST	Número de la estación
LONG	Posición longitudinal
LAT	Posición latitudinal
T0	Temperatura superficial
S0	Salinidad superficial
T10	Temperatura a 10 metros
S10	Salinidad a 10 metros
HUE_SARD	Número de huevos de sardina
I	Numero de huevos estado I
II	Numero de huevos estado II
III	Numero de huevos estado III
IV	Numero de huevos estado IV
V	Numero de huevos estado V
VI	Numero de huevos estado VI
VII	Numero de huevos estado VII
VIII	Numero de huevos estado VIII
IX	Numero de huevos estado IX
X	Numero de huevos estado X
XI	Numero de huevos estado XI
DET	Número de huevos deteriorados
TOTAL	Total de huevos
DCOSTA	Distancia de la costa



---

**Unidad Técnica Promoción y  
Ediciones**

---

**IFOP  
Valparaíso**