



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y OCEANOGRAFICAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA**

INFORME FINAL

**PROYECTO DEL FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA
FIP N° 2005-02**

**“EVALUACION DEL STOCK DESOVANTE DE ANCHOVETA
Y SARDINA COMUN ENTRE LA V Y X REGIONES, AÑO 2005”**

**DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCION**

CONCEPCION, AGOSTO 2006

**Departamento de Oceanografía
Universidad de Concepción**

PROYECTO

FIP N° 2005-02
Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2005

REQUIRENTE

Fondo de Investigación Pesquera
Consejo de Investigación Pesquera

UNIDAD EJECUTORA

Departamento de Oceanografía
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas
Universidad de Concepción

JEFE PROYECTO

MSc. Luis Cubillos Santander
Departamento de Oceanografía
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas
Universidad de Concepción
Casilla 160-C, Concepción, Chile
Tel.: 56-41-207233
Fax: 56-41-256571
E-mail: lucubillos@udec.cl

• **Concepción, Agosto de 2006** •



Informe Final
Evaluación del Stock Desovante de Anchoqueta y
Sardina común entre la V y X Región, año 2005

AUTORES

Luis Cubillos
Leonardo Castro
Gabriel Claramunt
Ciro Oyarzún

• Agosto de 2006 •

Departamento de Oceanografía
Universidad de Concepción

1 Resumen ejecutivo

Se presenta los resultados relativos al desarrollo de los cruceros de huevos y de adultos de anchoveta y sardina común realizados entre la V y X Regiones, orientados a la evaluación de la biomasa desovante mediante de ambos recursos mediante el Método de la Producción Diaria de Huevos, año 2005.

A contar de marzo de 2005, se vigiló la condición reproductiva de las hembras en términos de indicadores macroscópicos y microscópicos, como también a través de muestras de ictioplancton obtenidas a partir de mayo. El examen macroscópico reveló que a contar de julio comenzó a observarse una mayor actividad reproductiva que se tradujo en una mayor contribución de hembras en maduración en julio y un incremento importante del índice gonadosomático la primera semana de agosto, antes del inicio del crucero de evaluación. El índice de actividad de desove de anchoveta fue alto en agosto, presentando valores de alrededor de un 80 %, el cual nos indicó que este recurso se encontraba en la máxima actividad reproductiva, permitiendo definir en este mes el desarrollo del crucero de investigación. A su vez, en el ictioplancton se observó una mayor abundancia de huevos de ambas especies el 27 de julio.

El crucero de huevos como el de adultos se ejecutó en forma simultánea, el primero entre el 21 de agosto y 22 de septiembre y el segundo desde el 24 de agosto hasta el 11 de septiembre de 2005. El crucero de huevos se desarrolló mediante la evaluación del desove en tres estratos geográficos: a) sector norte, sur de Valparaíso – norte de Constitución (33°00'S - 34°20'S), b) sector centro, entre Constitución y Golfo de Arauco (34°46'S – 37°10'S), y c) sector sur, entre el sur de Lebu – Bahía San Pedro (37°22'S – 41°19'S), a través de un muestreo sistemático sobre una grilla regular de estaciones dispuestas en transectas perpendiculares a la costa, equidistante cada 8 millas náuticas y estaciones separadas cada 4 millas náuticas. El sector norte fue evaluado a bordo de la L/M Aqua Luna (21 – 22 de septiembre), el sector centro fue evaluado a bordo de las L/I Kay Kay (30 agosto – 15 de septiembre), y el sector sur por tres lanchas artesanales: L/M Don Leonel (21 de agosto – 26 de agosto), L/M Margarita del Mar (29 – 31 de agosto), y L/M Ebenezer II (29 – 31 de agosto). Se evaluó un total de 288 estaciones con red Calvet del tipo Pairovet.

La expresión del desove indicó una mayor abundancia de huevos de anchoveta en los tres estratos geográficos, siendo la primera vez que se registra huevos de esta especie en el sector norte (Valparaíso – 34°20'S). En el sector centro, hubo una mayor abundancia de huevos de anchoveta en toda el área (46,9 huevos/0,05 m²) mientras que la sardina común tuvo una baja expresión de desove en esta área (2,5

huevos/0,05 m²). En el sector sur, el desove de ambas especies fue más importante y restringida al sector más costero asociado al interior de la isóbata de 100 m, entre los 37°20'S y 40°19'S, siendo la densidad de anchoveta de 77,1 huevos/0,05 m², mayor que la sardina común (30,6 huevos/0,05 m²). Se considera que el crucero abarcó de buena forma el área global de desove de ambas especies, sin embargo algunas estaciones positivas se localizaron en el límite occidental de algunas transectas sin poder resolver el desove al interior de los límites longitudinales del área de estudio.

El crucero de adultos se desarrolló bajo la modalidad de pesca de investigación, utilizando 8 lanchas artesanales distribuidas en 4 lanchas en el sector centro y 4 en el sector sur del área de estudio. Se lograron 64 lances de pesca, de los cuales 3 fueron sin pesca y 4 con sólo presencia. La cobertura geográfica del muestreo de adultos estuvo restringida al interior de las 5 millas, entre Punta Nugurne y el Golfo de Arauco en el sector centro, y entre los 39°32'S – 40°S en el sector sur. Las malas condiciones del tiempo no permitieron desarrollar adecuadamente el crucero de adultos en el sector sur. Se contó con 40 lances de anchoveta y 35 de sardina común para el análisis de los parámetros reproductivos.

La composición por talla de los cardúmenes desovantes, reveló una estructura bi-modal en la anchoveta (n= 4673) y sardina común (n= 4262) en el sector centro, con la moda más importante en ejemplares de 10,5 cm en la sardina común y 11 cm en la anchoveta. En la zona sur, la estructura de tallas de sardina común (n = 339) fue unimodal, y centrada en los 11 cm, mientras que en el caso de la anchoveta (n= 1853) se observó una estructura bi-modal con la moda más importante en los 14 cm.

Los principales resultados obtenidos permiten concluir lo siguiente:

a) La producción diaria de huevos fue estimada en 25,56 huevos/0,05 m²/día para la anchoveta (CV = 33,6 %) y 15,8 huevos/0,05 m²/día para la sardina común (CV = 46,5%).

b) La fracción diaria de hembras desovantes se estimó utilizando la hembras con folículos postovulatorios de día 1 y 2, siendo en la sardina común de 0,093 (CV = 12,2 %) y de 0,11 (CV = 10,3 %) en la anchoveta. Durante el periodo de evaluación, las hembras de ambas especies se encontraban reproductivamente activas. En la anchoveta el 49,4% se encontró madura (ovocitos vitelados) y 36,3% en actividad reproductiva ya sea en desove, desove reciente, o desovadas. Similar situación se observó en la sardina común con 42,7% de las hembras maduras y 35,7% en actividad de desove.

c) La fecundidad parcial en ambas especies se relacionó linealmente en función del peso corporal a partir de 96 hembras hidratadas de sardina común, y 23 hembras de anchoveta. La relación no es estadísticamente diferente entre años, pudiéndose utilizar una relación global para el periodo 2002-2005. La fecundidad media poblacional fue estimada en 4.998 ovocitos (CV = 7,1%) en la anchoveta y de 6.538 ovocitos (CV=9,2%) en la sardina común.

d) La proporción de hembras en peso fue de 52 % en sardina común (CV = 3,1 %), y el peso promedio de las hembras maduras fue de 13,1 g (CV = 8,6%). En la anchoveta, la proporción de hembras fue de 47% (CV = 6,7%), y el peso promedio de 13,6 g (CV = 4,1%).

e) El área de desove fue más extenso en la anchoveta que en la sardina común, con 43,1 % y 15,2 % del área total de estudio respectivamente (32523 km², incluyendo la zona norte). El área de desove de anchoveta fue de 14.018 km² y el de sardina común de 4.929 km².

f) La biomasa desovante de anchoveta fue evaluada en 376.402 t (CV = 35,2%), y la biomasa desovante de sardina común en 64.925 t (CV = 48,3 %). De acuerdo con las evaluaciones pasadas, se puede decir que el stock de sardina común viene saliendo de un periodo de baja abundancia. En el caso de la anchoveta, se observó una biomasa desovante que ha venido incrementándose sostenidamente desde el 2002 al 2005, con una expansión del área de desove.

La dinámica reproductiva de los adultos desovantes de anchoveta y sardina común se observan consistentes y dentro del rango esperado para una condición de máxima actividad reproductiva.

2 Índice general

1	RESUMEN EJECUTIVO.....	1
2	INDICE GENERAL.....	4
3	INDICE DE TABLAS Y FIGURAS	6
4	OBJETIVO GENERAL	11
5	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
6	ANTECEDENTES	12
7	METODOLOGÍA	14
7.1.	ÁREA Y PERÍODO DE ESTUDIO.....	15
7.1.1.	<i>Crucero de huevos.....</i>	<i>15</i>
7.1.2.	<i>Crucero de adultos</i>	<i>16</i>
7.2.	VIGILANCIA REPRODUCTIVA	18
7.2.1.	<i>Estado reproductivo</i>	<i>18</i>
7.2.2.	<i>Monitoreo de ictioplancton</i>	<i>20</i>
7.3.	DISEÑO DE MUESTREO ICTIOPLANCTÓNICO	21
7.3.1.	<i>Grilla regular y muestreo de huevos con red PAIROVET</i>	<i>21</i>
7.3.2.	<i>Grilla regular y muestreo larval con red BONGO</i>	<i>24</i>
7.3.3.	<i>Análisis en el laboratorio.....</i>	<i>25</i>
7.3.4.	<i>Muestreo oceanográfico.....</i>	<i>25</i>
7.4.	DISEÑO MUESTREO DE ADULTOS DESOVANTES.....	26
7.4.1.	<i>Número de lances y tamaño de muestra.....</i>	<i>26</i>
7.4.2.	<i>Justificación del número de lances y ejemplares por lance.....</i>	<i>27</i>
7.5.	OBJETIVO 1: PRODUCCIÓN DIARIA DE HUEVOS, MORTALIDAD, Y VARIANZA ASOCIADA ..	30
7.5.1.	<i>Producción diaria de huevos incorporando la abundancia de larvas con saco vitelino: caso de la anchoveta.....</i>	<i>32</i>
7.5.2.	<i>Modelo innovativo para la producción diaria de huevos</i>	<i>33</i>
7.6.	OBJETIVO 2: PROPORCIÓN DE ESTADIOS DE MADUREZ MICROSCÓPICOS, FRECUENCIA DIARIA DEL DESOVE Y VARIANZA ASOCIADA	40
7.6.1.	<i>Estados de madurez microscópicos.....</i>	<i>40</i>
7.6.2.	<i>Folículos postovulatorios.....</i>	<i>40</i>
7.6.3.	<i>Fracción diaria de hembras desovantes</i>	<i>42</i>
7.7.	OBJETIVO 3: FECUNDIDAD PARCIAL, FECUNDIDAD MEDIA POBLACIONAL Y VARIANZA ASOCIADA.....	44
7.8.	OBJETIVO 4: PROPORCIÓN SEXUAL, PESO PROMEDIO DE HEMBRAS MADURAS, Y VARIANZA ASOCIADA.....	47
7.9.	OBJETIVO 5: BIOMASA DESOVANTE Y VARIANZA ASOCIADA	49
7.10.	OBJETIVO 6: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE HUEVOS ASOCIADA A VARIABLES OCEANOGRÁFICAS	51
7.10.1.	<i>Análisis preferencia-rechazo.....</i>	<i>52</i>
7.10.2.	<i>Análisis geoestadístico</i>	<i>53</i>
7.11.	OTROS ASPECTOS METODOLÓGICOS	55

7.11.1.	Taller de discusión de resultados.....	55
7.11.2.	Comparación con otras evaluaciones.....	56
8	RESULTADOS.....	59
8.1.	MONITOREO REPRODUCTIVO DE ADULTOS	59
8.1.1.	Frecuencia de tallas.....	59
8.1.2.	Indicadores reproductivos macroscópicos.....	60
8.1.3.	Indicadores reproductivos microscópicos	63
8.1.4.	Principales limitantes del monitoreo reproductivo.....	66
8.2.	MONITOREO REPRODUCTIVO DE HUEVOS	67
8.3.	DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE HUEVOS DE ANCHOVETA Y SARDINA COMÚN	69
8.3.1.	Estaciones con presencia de huevos	69
8.3.2.	Abundancia de huevos.....	69
8.3.3.	Distribución de huevos.....	70
8.3.4.	Limitaciones del Crucero de huevos.....	71
8.4.	CRUCERO DE ADULTOS.....	74
8.4.1.	Distribución espacial de los lances de pesca.....	74
8.4.2.	Frecuencia de tamaños	75
8.4.3.	Limitaciones del Crucero de adultos.....	76
8.5.	OBJETIVO 1: PRODUCCIÓN DIARIA DE HUEVOS, MORTALIDAD Y VARIANZA ASOCIADA ...	77
8.5.1.	Incorporación de larvas con saco vitelino en la estimación de P_0	80
8.5.2.	Producción diaria de huevos con modelos recientes.....	82
8.6.	OBJETIVO 2: ESTADOS DE MADUREZ MICROSCÓPICOS, FRACCIÓN DIARIA DE HEMBRAS DESOVANTES Y SU VARIANZA ASOCIADA.....	94
8.7.	OBJETIVO 3: FECUNDIDAD PARCIAL, FECUNDIDAD MEDIA POBLACIONAL Y VARIANZA ASOCIADA.....	97
8.8.	OBJETIVO 4: PROPORCIÓN SEXUAL, PESO PROMEDIO DE HEMBRAS MADURAS, Y VARIANZA ASOCIADA.....	101
8.9.	OBJETIVO 5: BIOMASA DESOVANTE Y VARIANZA ASOCIADA	102
8.10.	OBJETIVO 6: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE HUEVOS ASOCIADA A VARIABLES OCEANOGRÁFICAS	103
8.10.1.	Características superficiales.....	103
8.10.2.	Hidrografía en sectores de mayor desove.....	104
8.10.3.	Secciones verticales.....	111
8.10.4.	Relación huevos-ambiente.....	112
8.10.5.	Análisis preferencia-rechazo.....	114
8.10.6.	Análisis geoestadístico	115
8.10.7.	Comparación con otras evaluaciones.....	120
9	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	126
10	CONCLUSIONES.....	130
11	REFERENCIAS	131
12	ANEXOS	141
12.1.	TALLER DE DISCUSIÓN DE RESULTADOS	141
13	HORAS HOMBRE DEL EQUIPO DE TRABAJO.....	146

3 Índice de tablas y figuras

Tablas	Pág.
Tabla 1. Embarcaciones utilizadas en los muestreos de ictioplancton, coordenadas de cada sector, periodo de muestreo y número de estaciones por sector.	15
Tabla 2. Bitácora de pesca del crucero de adultos de anchoveta y sardina común, año 2005.	17
Tabla 3. Caracterización de los estadios ováricos de peces pelágicos, modificada para hembras de sardina común y anchoveta.	20
Tabla 4. Monitoreo quincenal de huevos de anchoveta y sardina común en el sector costero entre Bahía Concepción y la desembocadura del Río Itata.	21
Tabla 5. Relación entre el número de lances (n) y el tamaño de la submuestra (m) para un rango de coeficientes de variación (CV) para los datos de fracción diaria de hembra desovante determinada en el crucero del 2002 (Cubillos et al. 2003).	29
Tabla 6. Características morfohistológicas de los folículos postovulatorios.	41
Tabla 7. Resumen de distribución de frecuencias de tamaño durante el monitoreo reproductivo en la VIII Región (LT se refiere a la longitud total).	59
Tabla 8. Resumen de distribución de frecuencias de tamaño durante el monitoreo reproductivo en la X Región (LT se refiere a la longitud total).	60
Tabla 9. Distribución del estado de madurez sexual macroscópico de sardina común y anchoveta durante el monitoreo reproductivo en la VIII Región en número y porcentaje (entre paréntesis).	61
Tabla 10. Distribución del estado de madurez sexual macroscópico de sardina común y anchoveta durante el monitoreo reproductivo en la X Región en número y porcentaje (entre paréntesis).	61
Tabla 11. Estados de madurez microscópicos (EMM) por mes, número y porcentaje (entre paréntesis) para sardina común y anchoveta.	64
Tabla 12. Folículos postovulatorios (FPO) por mes, número y porcentaje (entre paréntesis) para sardina común y anchoveta durante el periodo de monitoreo.	64
Tabla 13. Presencia de Folículos Postovulatorios totales (FPO) en las muestras del monitoreo reproductivo de anchoveta y sardina común.	65
Tabla 14. Número de estaciones totales por sector, estaciones con huevos de anchoveta y sardina común y el porcentaje que representan las estaciones con huevos de cada especie del total de estaciones muestreadas por sector.	69
Tabla 15. Número total de huevos de anchoveta y sardina común por sector, promedio (y desviación estándar) de huevos considerando el número total de estaciones y considerando sólo las estaciones positivas, y máxima abundancia de huevos por estación (huevos/0,05 m ²) en cada sector.	70
Tabla 16. Longitud promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y número de ejemplares de sardina común y anchoveta por zona, sexo y total, 24 de agosto-11 de septiembre.	75
Tabla 17. Area total, área positiva y estimación de la producción diaria de huevos por especie y sector, varianza y coeficiente de variación (CV).	80
Tabla 18. Area total, área positiva y estimación de la producción diaria de huevos por especie y sector, varianza y coeficiente de variación (CV), con regresión no lineal ponderada.	80

Tablas		Pág.
Tabla 19.	Area total, área positiva y estimación de la producción diaria de huevos (P0) para la anchoveta incorporando la producción de larvas con saco vitelino a la curva de mortalidad embrionaria por sector, varianza, Var(P0), y coeficiente de variación (CV).	82
Tabla 20.	Resumen de los datos de los lances de anchoveta: longitud total (LT), peso total (PT), peso total corregido (PTCOR), peso corporal (PC), peso de gónada (PG), fecundidad parcial estimada (FPE), hembras maduras (HM), hembras hidratadas (HH), folículos postovulatorios (FPO) de edad 0, 1, y 2 días. Peso promedio de hembras corregido (PTH), número de hembras (H), peso promedio de machos corregidos (PTM), y número de machos (M) del muestreo aleatorio de proporción sexual.	94
Tabla 21.	Resumen de los datos de los lances de sardina común (ver Tabla 20 para nomenclatura).	95
Tabla 22.	Frecuencia y proporción de estadios de madurez sexual microscópicos (%) de anchoveta y sardina común (ver Tabla 3 y Fig. 3). Los estadios en desove, postdesovante de tanda, y desovados se agruparon en el estadio VII.	96
Tabla 23.	Parámetros del modelo lineal utilizado para estimar la fecundidad parcial en función del peso corporal en anchoveta.	97
Tabla 24.	Resultados de los análisis de regresión lineal para la fecundidad parcial en función del peso corporal en hembras de anchoveta para cada año de aplicación del MPH en la Zona Centro-Sur. Sa: Error estándar del intercepto. P(a=0): Probabilidad de que intercepto = 0.	98
Tabla 25.	Resultados de los análisis de regresión lineal a través del origen (Intercepto = 0) para la fecundidad parcial en función del peso corporal en hembras de anchoveta para cada año de aplicación del MPH en la Zona Centro-Sur.	99
Tabla 26.	Resultados de los análisis de regresión lineal a través del origen (Intercepto = 0) para la fecundidad parcial en función del peso corporal en hembras de anchoveta con todos los años de aplicación del MPH en la Zona Centro-Sur (2002 al 2005).	100
Tabla 27.	Parámetros del modelo lineal utilizado para estimar la fecundidad parcial en función del peso corporal.	100
Tabla 28.	Parámetros reproductivos, producción diaria de huevos y biomasa del stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur de Chile. Entre paréntesis se indica el coeficiente de variación entre paréntesis.	102
Tabla 29.	Prueba de aleatorización de la asociación entre los huevos de sardina común y anchoveta con la temperatura y profundidad. El símbolo "*" denota los valores de probabilidad $p \leq 0.05$. El número debajo de cada valor p es el rango de preferencia de la variable ambiental.	114
Tabla 30.	Resultados de la validación cruzada para el número de sectores y el máximo número de puntos a ser usados en el kriging para el número de huevos de anchoveta y sardina común.	119
Tabla 31.	Resumen de los parámetros reproductivos, producción diaria de huevos y biomasa del stock desovante de anchoveta y sardina común evaluados con el MPDH en el periodo 2002 – 2005. Nomenclatura: W = peso promedio de hembras maduras (g), F = fecundidad media poblacional (ovocitos/día), S = fracción diaria de hembras desovantes; R = proporción sexual en peso; P0 = producción diaria de huevos (huevos/0,05 m ² /día) en el área positiva; B = biomasa desovante (t); A ₁ = área de desove positiva; FED=fecundidad específica diaria. FR= fecundidad relativa.	122

Tablas		Pág.
Tabla 32.	Evaluación acústica de la biomasa de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur de Chile (1999-2006). Los valores se refieren a la estimación con geoestadística, indicándose el coeficiente de variación (CV).	123
Figuras		Pág.
Figura 1	Mapa de la grilla de muestreo a lo largo de la plataforma continental de Chile Centro-Sur. Se indica la distribución del veril de los 200 m. a) Estaciones muestreadas con red CalVET, b) Estaciones en que se realizaron lances arrastres de red Bongo y perfiles de CTD. Adicionalmente, se señala con un círculo rojo la ubicación del área de monitoreo quincenal de huevos.	23
Figura 2	Estadios de madurez sexual microscópicos característicos de sardina común.	40
Figura 3	Evolución mensual del índice gonadosomático para ambas especies durante el periodo de monitoreo, a) VIII región y b) X región.	62
Figura 4	Índice de actividad de desove, en los meses de monitoreo reproductivo en la VIII Región.	66
Figura 5	Serie de tiempo de la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común en las muestras de monitoreo ictioplancton realizado entre la Desembocadura del Río Itata y Bahía Coliumo, VIII Región.	67
Figura 6	Patrón de desove de anchoveta y sardina común según modelo GAM, familia poisson y enlace log. El día 200 representa fines de julio, 260 al 21 de septiembre, 300 a fines de octubre.	68
Figura 7	Distribución de huevos de anchoveta en los sectores norte, centro y sur.	72
Figura 8	Distribución de huevos de sardina común en los sectores norte (ausentes), centro y sur.	73
Figura 9	Distribución espacial de lances de pesca positivos de a) sardina común y b) anchoveta, 24 de agosto - 11 de septiembre de 2005.	74
Figura 10	Frecuencia de longitudes (%) de sardina común (izquierda) y anchoveta (derecha) en el crucero de adultos. 24 de agosto – 11 de septiembre 2005.	76
Figura 11	Número de huevos por estadio de desarrollo y zona de anchoveta y sardina común (21 de agosto – 22 de septiembre, 2005).	77
Figura 12	Abundancia de huevos de anchoveta en función de la edad por zona.	78
Figura 13	Abundancia de huevos de sardina común en función de la edad.	79
Figura 14	Producción de huevos y larvas con saco vitelino de anchoveta en el sector centro y sur.	81
Figura 15	Modelo de desarrollo de los huevos temperatura-estadio dependiente de anchoveta (<i>Engraulis ringens</i>), para 11.5 °C (izquierda, panel superior), 15 °C (derecha, panel superior), 16 °C (izquierda, panel inferior), y 18 °C (derecha, panel inferior).	84
Figura 16	Modelo de desarrollo de los huevos temperatura-estadio dependiente de sardina común (<i>Strangomera bentincki</i>) a temperature de 10 °C (izquierda, panel superior), 11.5 °C (derecha, panel superior), 13 °C (izquierda, panel medio), 15 °C (derecha, panel medio), 16 °C (izquierda, panel inferior), y 17 °C (derecha, panel inferior).	85
Figura 17	Modelo GAM de desarrollo de los huevos temperatura-estadio dependiente para anchoveta (izquierda) y sardina común (derecha), sobre la base de los datos de incubación disponibles.	87
Figura 18	Efectos del sistema de coordenadas (componente espacial), modelada como un proceso isotrópico de la abundancia de huevos por edad, y la edad en días.	88

Figuras		Pág.
Figura 19	Diagnóstico para el ajuste del modelo GAM utilizado para la producción diaria de huevos de anchoveta en la zona norte y centro del área de estudio.	89
Figura 20	Distribución espacial de la producción diaria de huevos de anchoveta en la zona norte y centro, modelada con GAM. Los puntos indican las estaciones positivas al interior del área de desove.	89
Figura 21	Efectos del sistema de coordenadas (componente espacial), modelada como un proceso isotrópico de la abundancia de huevos por edad, y la edad en días.	90
Figura 22	Diagnóstico para el ajuste del modelo GAM utilizado para la producción diaria de huevos de anchoveta en la zona sur del área de estudio.	91
Figura 23	Distribución espacial de la producción diaria de huevos de anchoveta en la zona sur, modelada con GAM. Los puntos indican las estaciones positivas al interior del área de desove.	91
Figura 24	Efectos del sistema de coordenadas (componente espacial), modelada como un proceso isotrópico de la abundancia de huevos por edad, y la edad en días.	92
Figura 25	Diagnóstico para el ajuste del modelo GAM utilizado para la producción diaria de huevos de sardina común en la zona sur del área de estudio.	93
Figura 26	Distribución espacial de la producción diaria de huevos de sardina común en la zona sur, modelada con GAM. Los puntos indican las estaciones positivas al interior del área de desove.	93
Figura 27	Regresión lineal entre la fecundidad parcial y el peso corporal de hembras de anchoveta, 2005.	97
Figura 28	Relación lineal entre la fecundidad parcial y el peso corporal de anchoveta para los años 2002 a 2005.	98
Figura 29	Líneas de regresión para la fecundidad parcial en función del peso corporal con forzamiento al origen, para cada año de aplicación del Método de Producción de Huevos en anchoveta Zona Centro-Sur.	99
Figura 30	Regresión lineal entre la fecundidad parcial y el peso corporal de hembras de sardina común, 2005.	100
Figura 31	Líneas de regresión para la fecundidad parcial en función del peso corporal con forzamiento al origen, para cada año de aplicación del Método de Producción de Huevos en sardina común Zona Centro-Sur.	101
Figura 32	Temperatura superficial del mar, obtenida de promedios diarios entre las fechas a) 20 y 24 de Agosto, b) 30 de Agosto y 3 de Septiembre y c) entre el 9 y el 13 de Septiembre.	103
Figura 33	Características hidrográficas (temperatura (oC), salinidad y densidad (σ_t) superficiales (1 m) en el sector central de la zona de estudio. Malfuncionamiento del sensor de salinidad no permitió obtener valores al sur de la transecta ubicada a 36°00'S.	105
Figura 34	Características hidrográficas (temperatura (oC), salinidad y densidad (σ_t)) a 10 m de profundidad, en el sector central de la zona de estudio. Malfuncionamiento del sensor de salinidad no permitió obtener valores al sur de la transecta ubicada a 36°00'S.	106
Figura 35	Características hidrográficas (temperatura (oC), salinidad y densidad (σ_t)) a 50 m de profundidad, en el sector central de la zona de estudio. Malfuncionamiento del sensor de salinidad no permitió obtener valores al sur de la transecta ubicada a 36°00'S.	107
Figura 36	Características hidrográficas (temperatura (oC), salinidad y densidad (σ_t) superficiales (1 m) en el sector sur de la zona de estudio.	108
Figura 37	Características hidrográficas (temperatura (oC), salinidad y densidad (σ_t)) a 10 m de profundidad en el sector sur de la zona de estudio.	109

Figuras		Pág.
Figura 38	Características hidrográficas (temperatura (oC), salinidad y densidad (sigma-t) a 50 m de profundidad en el sector sur de la zona de estudio.	110
Figura 39	Secciones verticales de temperatura, salinidad y sigma-t obtenidas en 3 sectores de máxima abundancia de huevos de anchoveta en las zonas central (transecta 19) y sur (Transectas 34 y 42) de muestreo.	111
Figura 40	Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta y sardina común sobre secciones horizontales de temperatura a 10 m de profundidad en la zona central.	112
Figura 41	Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta y sardina común sobre secciones horizontales de temperatura a 10 m de profundidad en la zona sur.	113
Figura 42	Representación escalada (círculos) de la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común por estación diagramas sobrepuesta en diagramas T-S de datos hidrográficos colectados a 10 m de profundidad en la zona sur, zona de mayor abundancia de huevos de ambas especies.	114
Figura 43	Distribución espacial y distribución de frecuencia de la densidad de huevos de anchoveta y sardina común.	115
Figura 44	Variograma empírico y variograma Gaussiano ajustado con mínimos cuadrados ponderados. Los parámetros son nugget =1280.49, sill=13366.93, y rango=7.04 mn.	116
Figura 45	Variogramas direccionales en 4 direcciones ortogonales demostrando falta de anisotropía en anchoveta.	116
Figura 46	Reconstrucción del proceso espacial mediante kriging puntual ordinario utilizando parámetros de variograma obtenidos por mínimos cuadrados ponderados. La escala indica valores de densidad de huevos de anchoveta en número/0,05 m ² .	117
Figura 47	Variograma empírico método robusto y variograma Esférico ajustado con mínimos cuadrados ponderados. Los parámetros son nugget =10.6, sill=51.82, y rango=17.62 mn.	118
Figura 48	Variogramas direccionales en 4 direcciones ortogonales demostrando falta de anisotropía en sardina común para la zona sur del estudio.	118
Figura 49	Reconstrucción del proceso espacial mediante kriging puntual ordinario utilizando parámetros de variograma obtenidos por mínimos cuadrados ponderados. La escala indica valores de densidad de huevos de sardina común zona sur en número/0,05 m ² .	119
Figura 50	Grilla de muestreo de los cruceros FIP 2002-14, FIP 2003-06, FIP 2004-03, FIP 2005-02, y distribución de las estaciones positivas con huevos de anchoveta.	121
Figura 51	Evaluaciones directas de la biomasa de sardina común (arriba) y de anchoveta (abajo). La evaluación acústica de biomasa total se indica con cuadros rojos, y la biomasa del stock desovante (MPDH) con puntos azules. La captura de ambos pelágicos ocurre durante el primer semestre de cada año.	123
Figura 52	Trayectoria mensual de los cambios de biomasa de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur, considerando la biomasa acústica y las capturas mensuales. Se compara con las evaluaciones de stock desovante, que no participaron en el ajuste del modelo.	124

4 Objetivo general

Evaluar el stock desovante de los recursos anchoveta y sardina común correspondiente al litoral de la V a la X Regiones.

5 Objetivos específicos

6.1. Estimar la producción diaria de huevos en el mar, su varianza asociada y la tasa diaria de mortalidad instantánea de los huevos para los recursos anchoveta y sardina común.

6.2. Estimar la proporción de estadios de madurez sexual microscópicos y la fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta y sardina común con su varianza asociada.

6.3. Estimar la fecundidad parcial en función del peso corporal, el modelo de regresión correspondiente a esta relación, y la fecundidad media poblacional de los recursos anchoveta y sardina común, con sus respectivas varianzas.

6.4. Estimar la proporción sexual en peso y el peso promedio de hembras maduras de los recursos anchoveta y sardina común, con sus respectivas varianzas.

6.5. Estimar la biomasa del stock desovante de anchoveta y sardina común y su varianza asociada, incluyendo la covarianza de los parámetros de adultos.

6.6. Realizar un análisis de la distribución espacial de huevos asociada a variables oceanográficas.

6 Antecedentes

La sardina común (*Strangomera bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) son peces pelágicos pequeños de gran importancia pesquera para una flota industrial y otra artesanal de cerco que opera en la zona centro-sur de Chile, con Talcahuano y Corral como los principales centros de desembarque. Ambas especies se caracterizan por su fuerte distribución costera, por presentar un corto ciclo de vida, con tres a cuatro años de longevidad, rápido crecimiento, elevada tasa de mortalidad natural, por formar cardúmenes altamente densos, y por ser especies marcadamente influenciadas por factores ambientales (bióticos y abióticos) en todas las etapas de su ciclo vital (Yáñez et al. 1992, Cubillos y Arancibia 1993, Cubillos et al. 1998, Castro et al. 2000, Castro y Hernández 2000, Cubillos et al. 2001, Cubillos y Arcos, 2002).

La pesquería se desarrolla estacionalmente en la zona centro-sur, con capturas fuertemente dependientes de los pulsos de reclutamiento anual, proceso que tiende a ocurrir entre noviembre y enero de cada año, cuatro a cinco meses después del desove y representado por peces con una longitud modal centrada entre los 6 y 7 cm de longitud total (Cubillos et al. 1998, 2001, 2002). La evaluación del reclutamiento anual de los stocks de anchoveta y sardina común se realiza desde 1999 mediante el método hidroacústico (Castillo et al. 2000, 2001, 2002a, 2003a), método que también fue aplicado en el 2001 para evaluar la biomasa del stock desovante (Castillo et al., 2002b). Sin embargo, el método hidroacústico evalúa la biomasa total presente más bien que el stock desovante. Asimismo, es bastante cuestionable utilizar solamente la talla de primera madurez sexual para fraccionar la biomasa total hidroacústica evaluada. En otras palabras, el método hidroacústico no considera la dinámica reproductiva del stock, principalmente en términos de la frecuencia del desove y la subsiguiente producción de huevos realizada. Por esta razón, el método más adecuado para evaluar el stock desovante de peces con fecundidad indeterminada, como la sardina común y la anchoveta, es el Método de la Producción Diaria de Huevos (MPDH) ya que incorpora tanto la dinámica reproductiva como la producción de huevos realizada.

En efecto, actualmente el MPDH es la metodología más robusta para la evaluación de la biomasa desovante de peces pelágicos pequeños con desove parcial (Lasker 1985, Hunter y Lo 1993, 1997, Lo et al. 2001, Somarakis et al., 2004). La biomasa desovante se define como la razón entre la producción diaria de huevos (huevos por unidad de superficie por día) y la fecundidad específica diaria de la población adulta (huevos por día por tonelada métrica) en el área de desove. La producción diaria de huevos se evalúa a partir de la producción total de huevos durante la época reproductiva mediante un crucero ictioplanctónico. La fecundidad específica diaria de la población adulta se determina a partir de muestras de peces obtenidas durante un crucero de pesca, y de las cuales se determina la fecundidad media

poblacional, peso promedio de hembras, frecuencia del desove y proporción sexual. Estos parámetros reproductivos, así como la producción diaria, son tasas instantáneas que permiten evaluar la biomasa desovante en un instante determinado dentro del periodo reproductivo sin la necesidad de integrar toda la producción de huevos en una estación de desove completa (Hunter y Lo 1993, 1997).

En el año 2002, el Consejo de Investigación Pesquera teniendo presente lo informado por Subsecretaría de Pesca en términos de la conveniencia de iniciar y mantener una línea de investigación respecto del stock desovante de anchoveta y sardina común, incluyó por primera vez una evaluación del stock desovante a través de la aplicación del método de la producción diaria de huevos (MPDH) en el programa anual de investigación del Fondo de Investigación Pesquera. Dicho primer estudio fue desarrollado por investigadores del Instituto de Investigación Pesquera, el Departamento de Oceanografía de la Universidad de Concepción, y el Instituto de Fomento Pesquero, permitiendo estimar adecuadamente la producción de huevos y los parámetros reproductivos que permiten evaluar la biomasa del stock desovante (Cubillos et al. 2003). En el 2003, investigadores del Instituto de Fomento Pesquero, Instituto de Investigación Pesquera, Departamento de Oceanografía de la Universidad de Concepción, y del Departamento de Ciencias del Mar de la Universidad Arturo Prat ejecutaron el estudio FIP 2003-06 (Bernal et al., 2004), consistente en la segunda aplicación del método de producción diaria de huevos. En el 2004, el Departamento de Oceanografía de la Universidad de Concepción ejecutaron el estudio FIP 2004-03 (Cubillos et al. 2005). El presente proyecto (FIP 2005-02) constituye la cuarta aplicación del método demandada por el Consejo de Investigación Pesquera.

Se destaca que en todos los estudios previos ha participado básicamente el mismo equipo de trabajo, cuya ventaja radica en la generación y mantención de una serie de tiempo estandarizada y consistente de biomasa desovante, producción diaria de huevos, área de desove y parámetros reproductivos. Estos aspectos son fundamentales en evaluación de stock, particularmente cuando las evaluaciones de biomasa o producción de huevos se integran a un modelo de dinámica para evaluar la situación del stock. En efecto, los protocolos de muestreo, así como los criterios y análisis metodológicos, entre otros, se mantendrían constantes en el tiempo reduciendo la importancia del sesgo (si existe) y la propagación de la varianza debida a criterios de análisis basados en juicios de valor. De particular importancia son los criterios y análisis relativos a la determinación de los parámetros reproductivos de los adultos (i.e. clasificación de estadios microscópicos de los adultos, fecundidad parcial), como en la determinación de la producción diaria de huevos (i.e. clasificación de estadios de desarrollo de los huevos, asignación de la edad, criterios para delimitar el área de desove). Es más, los resultados de los tres proyectos previos (FIP 2002-14, FIP 2003-06, FIP 2004-03), y el actual (FIP 2005-02), han sido ampliamente discutidos con los mismos

expertos internacionales: Dra. Nancy Lo (SWFSC, EE.UU.) y Dr. Andrés Uriarte (AZTI, España), lográndose mejoras metodológicas y un seguimiento riguroso de las recomendaciones sugeridas por ellos. La amplia experiencia de estos investigadores ha permitido aplicar correctamente el MPDH a la sardina común y anchoveta en la zona centro-sur, en términos convencionales. Ello dice relación con los criterios que deben tenerse en cuenta para una adecuada estimación de la producción diaria de huevos (P_0), por ejemplo: a) respecto de las cohortes de huevos no observadas (valores cero) al interior del área de desove, b) sobre los criterios de post-estratificación y la incorporación de estaciones negativas que no están representando el área de desove, c) los criterios de corte de edades debido al reclutamiento incompleto de huevos y aquellas próximas a la eclosión, y d) los criterios de diseño para evitar la autocorrelación espacial de la densidad de huevos con el objeto de considerar que cada una de las muestras sean independientes en el espacio (Smith y Hewitt 1985, Somarakis y Tsimenides 1997). Asimismo, la adecuada evaluación del sesgo en la determinación de la fracción diaria de hembras desovantes, y la fecundidad parcial utilizando las hembras hidratadas.

7 Metodología

La aplicación del método de la producción diaria de huevos (MPDH) implica el desarrollo de un diseño de muestreo suficiente, en términos de la abundancia promedio y precisión de la producción total de huevos en el área de desove, y simultáneamente evaluar la condición reproductiva de los adultos que están desovando en términos de la fecundidad media poblacional, fracción de hembras desovantes diarias, peso promedio de las hembras maduras, y proporción en peso de las hembras durante el período de mayor actividad reproductiva (Hunter y Lo 1993, Hunter y Lo 1997, Alheit 1993).

El periodo de máxima actividad reproductiva se identificó a través de un monitoreo de la condición reproductiva de los adultos y de la abundancia de huevos en el plancton, antecedentes que permitieron definir el periodo de muestreo. El diseño del muestreo ictioplanctónico contempló cubrir completamente el área de desove, asegurándose que la densidad de huevos en cada estación fuera independiente de la densidad observada en estaciones adyacentes. Para ello se tomó en cuenta el rango de los variogramas de sardina común y anchoveta sobre la base del muestreo intensivo realizado durante el 2002 (Cubillos et al., 2003). A su vez, el diseño de muestreo de adultos se realizó en forma simultánea con el crucero de huevos y contempló un número suficiente de muestras en términos del número de lances y de ejemplares necesarios para reducir la variabilidad interlances.

7.1. Área y período de estudio

7.1.1. Crucero de huevos

El área de estudio quedó definida por la zona costera comprendida entre los 33°00'S y los 41°19'S. Desde un punto de vista operacional, el área de estudio se dividió en tres sectores: a) Sector Norte, entre el sur de Valparaíso y norte de Constitución (33°00' – 34°20'S), b) Sector Centro, entre el norte de Constitución y el Golfo de Arauco (34°46' – 37°10'S), y c) Sector Sur, entre los 37°22'S y 41°19'S. En cada uno de estos sectores se desarrollaron cruceros para colecta del ictioplancton utilizando las siguientes embarcaciones, en las fechas indicadas en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Embarcaciones utilizadas en los muestreos de ictioplancton, coordenadas de cada sector, periodo de muestreo y número de estaciones por sector.

	Sector	Coordenadas	Período	Nº Estaciones
L/M Aqua Luna	Norte	33°00'S - 34°20'S	21/09/2005-22/09/2005	18
LC Kay Kay	Centro	34°46'S - 37°10'S	30/08/2005-15/09/2005	130
L/M Don Leonel	Sur	37°22'S - 39°20'S	21/08/2005-26/08/2005	73
L/M Margarita del Mar	Sur	39°29'S - 41°19'S	29/08/2005-31/08/2005	31
L/M Ebenezer II	Sur	39°29'S - 41°19'S	29/08/2005-31/08/2005	36
Total				288

El muestreo del sector norte fue realizado con la embarcación artesanal Aqua Luna; el sector centro fue muestreado con la lancha científica Kay-Kay, y el sector sur fue muestreado con tres embarcaciones artesanales: Don Leonel (37°22'S – 39°20'S), y luego Ebenezer y Margarita del Mar (ambos 39°29'S – 41°19'S). Las dos últimas embarcaciones debieron operar en el sector más austral, en transectas contiguas y simultáneamente, como medida de seguridad por el mal tiempo imperante en la zona. Por este motivo y con el objeto de lograr un muestreo de toda la zona principal de desove dentro de la ventana de tiempo de mayor desove, hubo por lo tanto un periodo en que se estuvo operando con tres embarcaciones al mismo tiempo (dos en el sur y una en el centro) lo que incidió presupuestariamente por tener que triplicarse el equipamiento y personal (además de todos los seguros comprometidos).

El muestreo de ictioplancton completo fue llevado a cabo de sur a norte, entre el 21 de Agosto y el 22 de Septiembre, justo en el periodo de máximo desove conocido para la anchoveta de la zona centro-sur. Esto corresponde a una reducción en dos días respecto del año 2004 y más de un mes respecto a la duración del estudio del año 2003 (hasta el 24 de Octubre en el 2003), a pesar de haber sido una temporada invernal con condiciones climáticas mucho peores a los dos años anteriores y a pesar de las complicaciones de la realización en múltiples embarcaciones artesanales diferentes. El sector sur, donde tradicionalmente se encuentran las mayores abundancias de huevos, fue muestreada los últimos diez días de Agosto; el sector centro entre la cuarta semana de agosto y la segunda semana de Septiembre, y el sector norte, donde normalmente las abundancia de huevos son mínimas (muestreo de carácter exploratorio), la tercera semana de Septiembre.

7.1.2. Crucero de adultos

El crucero de adultos se inició durante la veda reproductiva, comprendida entre 21 de julio y el 31 de agosto, y que en el presente año se extendió hasta el 20 de septiembre, según el Decreto Exento N° 1051. La Subsecretaría de Pesca, mediante resolución N° 2517 del 05 de agosto de 2005, autorizó a ocho embarcaciones artesanales para que desarrollaran actividades de pesca para la obtención de muestras de adultos de sardina común y anchoveta. Estas embarcaciones se distribuyeron en cuatro lanchas con puerto base en la VIII Región y cuatro lanchas con puerto base en la X Región (Corral). En la misma resolución, se autorizó a las tres lanchas artesanales para desarrollar el crucero de huevos.

El crucero de adultos se desarrolló entre el 24 de agosto y el 11 de septiembre de 2005. En dicho periodo se efectuó un total de 64 lances de pesca, de los cuales 3 fueron sin pesca, 4 lances fueron clasificados como muestra (presencia), con 36 lances con sardina común y 47 con anchoveta. Del total de lances positivos (61), 47 lances son de la zona centro, correspondiendo 32 lances de sardina común y 35 lances de anchoveta. En la zona sur, son 4 lances de sardina común y 12 lances de anchoveta. Con respecto a los lances de pesca mixtos hubo un total de 30 lances de los cuales 27 corresponden a la zona centro y 3 a la zona sur (**Tabla 2**).

Tabla 2. Bitácora de pesca del crucero de adultos de anchoveta y sardina común, año 2005.

Zona	L/M	Nº lance	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Captura	Sardina	Anchoveta
Centro	Don Julian	1	24/08/05	8:30	3624,2	7254,15	10	X	X
Centro	Don Julian	2	24/08/05	10:30	3623,4	7253,70	40	X	X
Centro	Don Julian	3	24/08/05	16:00	3624	7254,02	10	X	X
Centro	Don Julian	4	25/08/05	8:05	3624,7	7253,49	15	X	X
Centro	Don Julian	5	25/08/05	11:00	3550,2	7240,18	15	X	X
Centro	Don Julian	6	31/08/05	13:37	3643,1	7300,81	30	X	X
Centro	Don Julian	7	31/08/05	16:30	3643,2	7300,31	30	X	X
Centro	Don Julian	8	01/09/05	9:00	3642,2	7305,12	30	X	X
Centro	Don Julian	9	02/09/05	9:30	3643,2	7300,32	50	X	X
Centro	Don Julian	10	08/09/05	9:30	3643,4	7300,86	30	X	X
Centro	Don Julian	11	08/09/05	11:00	3655,4	7315,40	70		X
Centro	Don Yaco	1	24/08/05	9:45	3709,5	7321,08	S/R	X	X
Centro	Don Yaco	2	24/08/05	11:42	3711,3	7329,37	S/R	X	X
Centro	Don Yaco	3	25/08/05	8:25	3708,4	7336,15	S/R		X
Centro	Don Yaco	4	25/08/05	10:25	3707,5	7334,92	S/R		X
Centro	Don Yaco	5	31/08/05	10:55	3709	7337,29	S/R		X
Centro	Don Yaco	6	31/08/05	12:58	3709,3	7337,65	S/R	X	X
Centro	Don Yaco	7	31/08/05	14:47	3708,6	7338,61	S/P		
Centro	Don Yaco	8	31/08/05	17:09	3711,1	7332,30	S/R	X	
Centro	Capito I	1	24/08/05	8:30	3624,8	7253,47	7	X	X
Centro	Capito I	2	24/08/05	11:00	3623,1	7253,70	3	X	
Centro	Capito I	3	24/08/05	13:00	3623,1	7252,50	15		
Centro	Capito I	4	24/08/05	15:40	3625,10	7252,40	25		
Centro	Capito I	5	24/08/05	17:30	3625,40	7252,20	3		
Centro	Capito I	6	25/08/05	8:15	3624,5	7253,75	10		
Centro	Capito I	7	25/08/05	12:30	3627,8	7254,92	10	X	X
Centro	Capito I	8	01/09/05	8:30	3643,4	7300,15	10	X	X
Centro	Capito I	9	01/09/05	12:15	3643,3	7300,68	20	X	X
Centro	Capito I	10	02/09/05	8:30	3643,4	7300,92	15	X	X
Centro	Capito I	11	02/09/05	10:10	3643,2	7301,66	10		
Centro	Capito I	12	02/09/05	12:00	3643,3	7300,87	20	X	X
Centro	Capito I	13	07/09/05	7:20	3643,4	7301,04	20	X	X
Centro	Capito I	14	07/09/05	10:00	3643,4	7300,80	20	X	X
Centro	Capito I	15	07/09/05	11:20	3643,50	7300,72	30	X	X
Centro	Riveira	1	25/08/05	10:00	3628,00	7255,00	S/R	X	X
Centro	Riveira	2	25/08/05	11:30	3630,00	7255,00	S/R	X	X
Centro	Riveira	3	25/08/05	15:00	3629,00	7257,00	S/R	X	X
Centro	Riveira	4	30/08/05	18:35	3643,2	7301,68	10	X	X
Centro	Riveira	5	01/09/05	16:00	3648,4	7312,28	S/R	X	X
Centro	Riveira	6	01/09/05	18:45	3647,7	7312,13	40	X	X
Centro	Riveira	7	02/09/05	13:00	3642,82	7300,19	10	X	X
Centro	Riveira	8	02/09/05	15:30	3643,14	7300,34	10	X	X
Centro	Riveira	9	07/09/05	16:40	3643,50	7300,75	5	X	X
Centro	Riveira	10	07/09/05	18:15	3643,20	7300,87	5	X	X
Centro	Riveira	11	08/09/05	8:25	3643,00	7301,60	4	X	
Centro	Riveira	12	08/09/05	10:45	3643,30	7300,33	4	X	
Centro	Riveira	13	08/09/05	12:40	3642,76	7300,23	4	X	
Sur	Nicolas	1	24/08/05	15:25	3935,28	7322,36	20	X	X
Sur	Nicolas	2	30/08/05	9:50	3956,52	7339,54	S/P		
Sur	Don Borney	1	24/08/05	12:50	3936,20	7324,20	40		X
Sur	Don Borney	2	24/08/05	15:00	3935,60	7323,60	35	X	X
Sur	Don Borney	3	30/08/05	10:00	3956,60	7339,10	0,1		X
Sur	Don Borney	4	31/08/05	10:00	3935,20	7325,70	S/P		
Sur	Samaritano	1	24/08/05	16:10	4000,13	7346,05	12,5	X	X
Sur	Samaritano	2	31/08/05	10:45	3937,46	7324,35	0,4	X	X
Sur	Samaritano	3	01/09/05	11:25	3955,07	7336,02	0,2		X
Sur	Orka	1	24/08/05	13:25	3936,00	7324,00	50	X	X
Sur	Orka	2	24/08/05	15:10	3935,00	7322,00	15	X	X
Sur	Orka	3	24/08/05	17:20	3937,00	7323,00	20	X	X
Sur	Orka	4	30/08/05	8:45	3956,00	7339,00	0,2	X	X
Sur	Orka	5	30/08/05	11:25	3959,00	7337,00	S/M		X
Sur	Orka	6	31/08/05	10:15	3932,00	7328,00	S/M	X	X
Sur	Orka	7	01/09/05	11:00	3955,00	7335,00	S/M	X	X
Sur	Orka	8	11/09/05	16:00	3933,00	7322,00	S/M	X	X

* S/P=sin pesca; S/R= Sin registro de tonelaje; S/M= Solo muestras, pesca poco abundante

7.2. Vigilancia reproductiva

7.2.1. Estado reproductivo

Los antecedentes disponibles señalan que la principal época reproductiva de sardina común y anchoveta ocurre entre julio y octubre, con indicadores macroscópicos que presentan un máximo entre la segunda quincena de agosto y fines de septiembre, aunque en la anchoveta se puede extender hasta octubre (Cubillos et al. 1999).

En el 2005, el monitoreo reproductivo comenzó en marzo y se orientó a la obtención de muestras de ejemplares para el seguimiento reproductivo temporal con el objeto de establecer la condición reproductiva de las hembras de sardina común y anchoveta, y además permitir fijar de una manera mas precisa la fecha en que se inició el crucero de evaluación.

La actividad reproductiva de los adultos, en el periodo previo, durante y después del crucero de evaluación, se evaluó mediante indicadores reproductivos macroscópicos. En la escala temporal, se analiza la evolución del índice gonadosomático (IGS), expresado por:

$$1)... \quad IGS = \frac{G}{P - G} \times 100$$

donde G es el peso de la gónada (g) y P es el peso total (g). En los peces con desove parcial y fecundidad indeterminada el peso de la gónada varía en función del estado de madurez sexual. Por lo tanto, el IGS promedio de peces en diferentes estados de madurez sexual constituye un indicador de los estados más dominantes, esperándose valores promedio máximos del IGS como indicadores de una mayor actividad reproductiva.

Los estados de madurez sexual microcópicos se basaron en la clasificación utilizada por Cubillos et al. (1999), basada en Holden y Raitt (1975); a saber:

Estado I, Inmaduro: Los ovarios ocupan cerca de 1/3 de la longitud de la cavidad abdominal, rosáceos, translúcidos, ovocitos invisibles a simple vista.

Estado II, Virgen madurando y/o en recuperación: Los ovarios ocupan casi la mitad de la longitud la cavidad abdominal. Color rosado y ovocitos invisibles a simple vista.

Estado III, Maduro: Los ovarios cubren cerca de 2/3 de la cavidad abdominal. Color rosado a amarillento. Aspecto granular, ovocitos visibles. Los ovocitos son grandes e indistinguibles a simple vista. Se observan vasos sanguíneos superficiales.

Estado IV, Hidratado: Los ovarios ocupan toda la cavidad abdominal. Color naranja opaco a rosado, casi transparentes, con vasos sanguíneos superficiales poco visibles. Al presionar fluyen ovocitos hidratados, transparentes, del doble de tamaño que los ovocitos de una gónada madura.

Estado V, En regeneración: Ovarios flácidos, distendidos, contraídos a la mitad de la cavidad abdominal. Las paredes son delgadas, flojas y lumen grande. Los ovarios pueden contener aún restos de ovocitos opacos, maduros y en desintegración, oscurecidos o translúcidos. Este ovario pasa a la etapa II de esta escala.

No obstante, la condición reproductiva de las hembras se precisó con un análisis histológico con el objeto de determinar la incidencia de las hembras reproductivamente activas, y particularmente las post-desovante de tanta según la escala de madurez sexual descrita en la **Tabla 3**.

Para calcular la incidencia de la condición desovante, se calculó un Índice de Actividad de Desove (IAD) basado en Oliva et al. (2002), el cual requiere de la observación sistemática del ovario contabilizándose la presencia de folículos postovulatorios de diferentes edades y de los ovocitos hidratados, para estimar la proporción de individuos que alcanzaron este estado en el stock parental maduro. El análisis histológico de las gónadas se realizó de acuerdo al procedimiento descrito por Hunter y Goldberg (1980). El Índice de Actividad de Desove (IAD), fue expresado por:

$$2)... \quad IAD = \frac{\text{estados}(VI + VII + VIII + IX)}{\text{estados}(III + IV + V + VI + VII + VIII + IX)} \times 100$$

Básicamente, el estado VI representa hembras hidratadas, y los estados VII, VIII y IX se caracterizan por la presencia de folículos postovulatorios. A diferencia del IAD descrito por Oliva et al. (2002), el índice aquí planteado incluye hembras que potencialmente contienen todas las edades de folículos postovulatorios (hembras en actividad de desove) respecto del total de hembras activas.

Tabla 3. Caracterización de los estadios ováricos de peces pelágicos, modificada para hembras de sardina común y anchoveta.

ESTADIO OVARICO	CITOLOGIA E HISTOMORFOLOGIA OVARICA
Estadio I: Virginal	Ovario con numerosos nidos ovogoniales y ovocitos primitivos rodeados por tejido conectivo intersticial de donde destacan tabiques fibro-conectivos.
Estadio II: Inmaduro (reincidente)	Lamelas repletas con ovocitos no vitelados rodeados por delgadas células foliculares. Vesícula germinativa grande y de posición central, con prominentes nucléolos esféricos, próximos a la membrana nuclear. El citoplasma es escaso, finamente granular y fuertemente basófilo. En ovocitos previtelogénicos tardíos se observan pequeñas vesículas periféricas.
Estadio III: Parcialmente vitelado	Predominio de ovocitos en estado temprano de depósito de vitelo, abarcando no más de las $\frac{3}{4}$ partes del citoplasma. Vesícula germinativa grande, central, con numerosos nucléolos periféricos. Se destaca la presencia de vesículas periféricas. La zona radiata es delgada, subyacente a células foliculares de poca altura.
Estadio IV: Vitelado	Ovocitos cargados de glóbulos de vitelo, desde la periferia a la región perinuclear. Vesícula germinativa mantiene su posición central permaneciendo los nucléolos en la periferia. La zona radiata bien desarrollada. Células foliculares rectangulares en sentido transversal con núcleo esférico, central y citoplasma ligeramente basófilo.
Estadio V: Próximo a la hidratación	Ovocitos cuyo citoplasma presenta grandes glóbulos de vitelo (término del depósito de vitelo). Vesícula germinativa excéntrica migrante hacia el polo animal. Células foliculares altas claramente distinguibles, con núcleo ovoide desplazado a la base y citoplasma claro de aspecto espumoso.
Estadio VI: Hidratado	Ovocitos con o sin vesícula germinativa en el polo animal, según se haya iniciado la maduración, los cuales se han expandido incrementando considerablemente de tamaño por incorporación de fluidos. Los glóbulos de vitelo se fusionan formando placas de vitelo por ingreso de líquido al citoplasma. La granulosa y la zona radiata se adelgazan.
Estadio VII: En desove	Co-existencia de ovocitos hidratados y folículos postovulatorios nuevos, entre ovocitos con depósito temprano de vitelo.
Estadio VIII: Postdesovante de tanda	Ovario con presencia de folículos postovulatorios y ovocitos vitelogénicos; eventualmente ovocitos próximos a la hidratación.
Estadio IX: Desovado	Predominio de ovocitos inmaduros. Se aprecia atresia folicular. Ovocitos vitelados residuales y eventualmente folículos postovulatorios.

7.2.2. Monitoreo de ictioplancton

Adicionalmente, y como parte de una segunda sobre-oferta relacionada con el monitoreo reproductivo de adultos, se llevo a cabo un monitoreo quincenal de abundancia de huevos de anchoveta y sardina común en el plancton desde la primera semana de Mayo 2005, periodo que incluye el periodo de máxima reproducción de ambas especies en la zona (**Tabla 4**). El objetivo es tener un estimador adicional que incluya muestras extras - previo, durante y posterior al periodo de la veda reproductiva. El monitoreo adicional del huevos en el plancton se llevo a cabo en la Octava Región obteniéndose de 6 a 10 muestras por salida, colectadas en estaciones ubicadas entre Bahía Concepción y la desembocadura del Río Itata, zona reconocida como de alta frecuencia de ocurrencia de huevos de anchoveta y sardina común (Figura 1, círculo rojo). La metodología de muestreo consistió de arrastres oblicuos con red Bongo de 300 micrones de trama, aro de 60 cm de diámetro, equipada con flujómetro para la cuantificación de agua

filtrada. Las muestras fueron preservadas en formalina 10% y procesadas bajo lupa estereoscópica utilizando los métodos estándares de identificación de huevos y larvas de las dos especies objetivo.

Tabla 4. Monitoreo quincenal de huevos de anchoveta y sardina común en el sector costero entre Bahía Concepción y la desembocadura del Río Itata.

Muestreo	Fecha	Nº de muestras
1	11/05/05	10
2	02/06/05	8
3	15/06/05	10
4	06/07/05	12
5	14/07/05	10
6	27/07/05	12
7	10/08/05	10
8	24/08/05	10
9	08/09/05	12
10	21/09/05	12
11	13/10/05	8
12	26/10/05	5
13	09/11/05	5
14	25/11/05	5
16	07/12/05	5

El análisis de este indicador reproductivo, la densidad de huevos se realizó mediante Modelos Aditivos Generalizados (GAM, Hastie y Tibshirani, 1990). Se utilizó el software 'mgcv' (Wood, 2001, 2002, 2003), que ha sido desarrollado como una biblioteca de funciones en *R* (<http://www.cran.r-project.org>, Ihaka & Gentleman, 1996). *R* es un programa de libre distribución bajo los términos del "Free Software Foundation's GNU General Public License (Hornik, 2002). La documentación e instalación de los paquetes es lo suficientemente simple y bien documentada dentro del programa. Para modelar la serie de tiempo de la densidad de huevos de anchoveta y sardina común se utilizó una estructura de error Poisson, los días desde el 1º de enero como variable independiente, y el mes como fuente de variación fija (cofactor).

7.3. Diseño de muestreo ictioplanctónico

7.3.1. Grilla regular y muestreo de huevos con red PAIROVET

Se considera que la expresión espacial del desove de ambas especies en la principal época de desove es costera, no superando las 20 millas náuticas de la costa, tal como lo sugieren los resultados de cruceros previos (Castro et al., 1997), en agosto-septiembre de 2001 (FIP 2001-14, Castillo et al., 2002b), agosto-

septiembre de 2002 (FIP 2002-14, Cubillos et al. 2003), en agosto-octubre de 2003 (FIP 2003-06, Bernal et al. 2004), y en agosto-septiembre de 2004 (Cubillos et al., 2005).

En el 2002, se realizó un muestreo intensivo (estaciones cada 2 millas a lo largo de transectas separadas cada 5 mn) con el objeto de evaluar diferentes diseños de grilla (Cubillos et al. 2003). El análisis geoestadístico reveló que la distribución espacial de los huevos de anchoveta presentó anisotropía zonal, con el rango del variograma de aproximadamente el doble en la dirección N-S que en la dirección E-O. El tamaño de las agregaciones de los huevos de anchoveta fue de aproximadamente 3,6 millas en la dirección E-O y de 6,6 millas en la dirección N-S. En el caso de la sardina común, la distribución espacial de los huevos mostró anisotropía zonal, con el rango en el eje N-S (15,6 millas) aproximadamente igual al doble del rango en el eje E-O (6,4 millas). La Dra. Nancy Lo (SFSC, NOAA, EE.UU.) recomendó reducir la intensidad del muestreo realizada el 2002 ya que es necesario mantener independencia entre las estaciones, tratando de evitar el sobre-muestreo y la autocorrelación espacial de la abundancia entre estaciones adyacentes. Por esta razón, y sobre la base de los rangos de los variogramas, se consideró una grilla regular de muestreo consistente en transectas separadas cada 8 mn y estaciones cada 4 mn a lo largo de cada transecta.

Asimismo, dada la distribución costera del desove durante el máximo reproductivo de ambas especies, atribuida esencialmente al predominio de convergencias costeras inducidas por vientos norte que determinan concentración y retención de huevos y larvas en la región costera (Cubillos 1999, Cubillos et al. 2001; Cubillos et al., 2005), se consideró que la extensión longitudinal del área de evaluación cubriera solamente la plataforma continental delimitada por la isóbata de 200 m.

En consecuencia, teniendo en cuenta los rangos de los variogramas, que están relacionados con el tamaño de las agregaciones, parches o cluster de huevos, y la extensión de la plataforma continental variable delimitada por la isóbata de 200 m, se estableció la grilla de estaciones separadas cada 4 millas náuticas y transectas separadas cada 8 millas náuticas para los sectores centro y sur, previamente mencionados. Sin embargo, dado el carácter exploratorio del sector norte, la grilla en dicho sector comprende sólo estaciones cada 4 mn y transectas cada 20 mn (**Figura 1**).

El área completa de estudio fue muestreada utilizando una grilla de 288 estaciones dispuestas en transecta perpendiculares a la costa. El límite occidental de las transectas, y por lo tanto su extensión, varió latitudinalmente a lo largo del área de estudio dependiendo de la ubicación del quiebre de la plataforma continental (200 m) desde la cual se realizaron un máximo de dos estaciones más hacia el océano. A su

vez, como límite oriental se consideró una distancia máxima de media milla náutica desde la costa (**Figura 1a**).

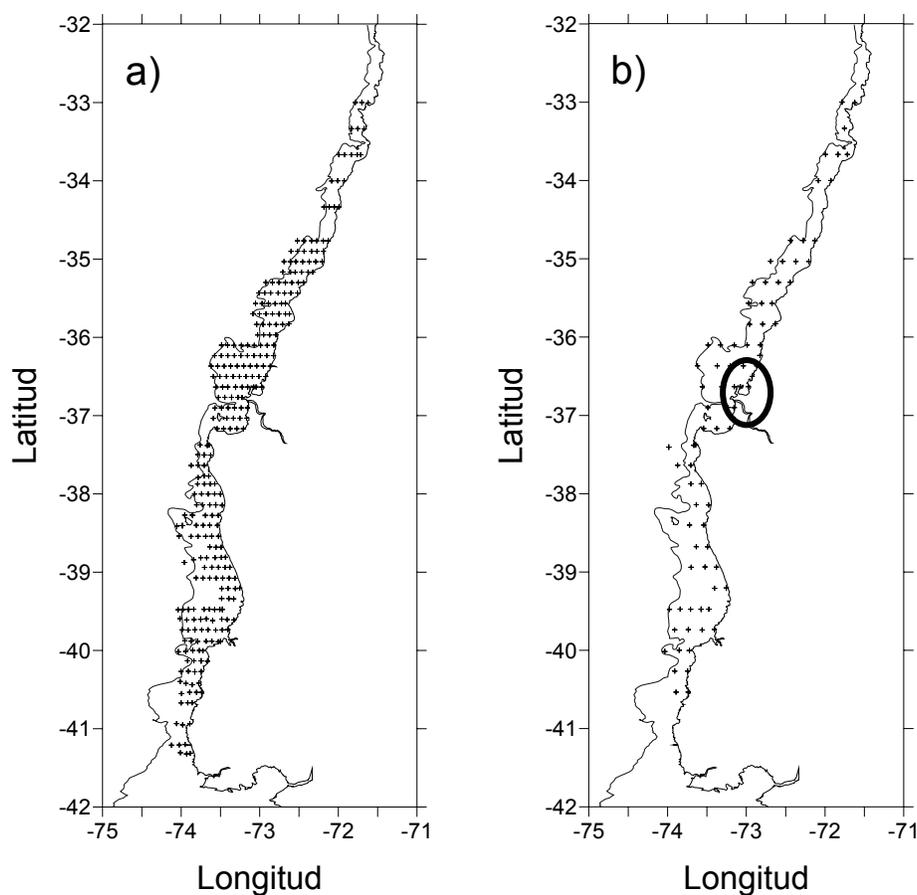


Figura 1. Mapa de la grilla de muestreo a lo largo de la plataforma continental de Chile Centro-Sur. Se indica la distribución del veril de los 200 m. a) Estaciones muestreadas con red CalVET, b) Estaciones en que se realizaron lances arrastres de red Bongo y perfiles de CTD. Adicionalmente, se señala con un círculo rojo la ubicación del área de monitoreo quincenal de huevos.

La grilla de estaciones, para efectos operacionales, fue dividida en los sectores previamente definidos:

a) Sector Norte: El muestreo en este sector fue de carácter exploratorio y de menor intensidad. La distribución de transectas estuvo espaciada cada 20 millas náuticas, comenzando en los 33°00'S y terminando en los 34°20'S (se agregó una transecta más hacia el sur (34°20'S) respecto del año pasado). En cada transecta, la disposición espacial de las estaciones de muestreo fue cada 4 millas náuticas comenzando la primera estación en la media milla náutica de la costa. En total se realizaron 5 transectas con un total de 18 estaciones en este sector.

b) Sector Centro: El diseño en esta zona estuvo orientado a la evaluación de la producción diaria de huevos, y consideró 19 transectas separadas cada 8 millas náuticas entre los 34°46'S y el Golfo de Arauco. En cada transecta, las estaciones estuvieron separadas cada 4 millas náuticas, comenzando a partir de la media milla náutica, totalizándose 130 estaciones.

c) Sector Sur: En esta zona la grilla de estaciones tuvo la misma resolución que el sector centro, y se extendió entre los 37°22'S y 41°19'S. En este sector se agregaron transectas en la zona más al norte, siguiendo las recomendaciones de los talleres del año anterior. En total se realizaron 29 transectas y 140 estaciones planctónicas. En este sector, dadas las muy malas condiciones climáticas y operación en embarcaciones artesanales, hubo que abortar estaciones especialmente en los límites oeste de varias transectas y estaciones en el sector más austral de la zona de muestreo, zona normalmente de menor actividad de desove.

En cada estación, la colecta de huevos de sardina común y anchoveta consistió en un arrastre vertical desde una profundidad máxima de 70 m en zonas profundas, mientras que en aguas someras se realizó considerando un resguardo máximo de 5 m sobre el fondo. Para el muestreo se utilizó una red PAIROVET, consistente en dos redes CalVET (California Vertical Egg Tow, Smith et al. 1985) de 0,05 m² de área de boca y 150 µm de trama, equipada con un depresor de 36 kg que mantuvo la red vertical, y cuya velocidad de virado fue 70 m por minuto.

En cada lance de red, se registró el número de transecta, estación, fecha, hora, posición geográfica, profundidad de ecosonda, tipo de arrastre, red planctónica utilizada, cantidad de cable arriado, ángulos de cable y duración del lance (tiempo de arriado y virado). Una vez a bordo, las muestras de zooplancton fueron preservadas en una solución de formalina al 10% de agua de mar neutralizada con bórax (tetaborato de sodio).

7.3.2. Grilla regular y muestreo larval con red BONGO

Adicionalmente, y como parte de la sobre-oferta en este proyecto, dentro de la misma grilla de muestreo regular con red Pairovet, se realizó muestreos oblicuos de zooplancton con redes Bongo en un total de 82 estaciones con el objeto de contar con larvas de anchoveta y sardina común que permitieran contar con una mejor base explicativa respecto de la producción diaria de huevos así como de la distribución espacial del desove y del área de crecimiento larval de ambas especies en el área (Figura 1b). La ubicación de las estaciones utilizadas para muestreos con red Bongo correspondió a las estaciones en que se hizo muestreo

hidrográfico (CTD), realizándose por sector: 8 estaciones en el sector norte, 40 en el sector centro y 34 en el sector sur. Los lances con red bongo fueron oblicuos desde una profundidad de 70 m, y a una velocidad de 2 nudos. La red bongo utilizada fue de 60 cm de diámetro de boca, 300 μ m de trama, equipada con un flujómetro digital General Oceanics para la cuantificación del volumen de agua muestreada y con un depresor de 30 kg. Las muestras, una vez a bordo, fueron preservadas en formalina 10% para su posterior análisis en laboratorio.

7.3.3. Análisis en el laboratorio

Las muestras de plancton colectadas fueron analizadas en el Laboratorio de Oceanografía Pesquera y Ecología Larval (LOPEL, <http://www2.udec.cl/~lopel/>) del Departamento de Oceanografía de la Universidad de Concepción. El plancton se analizó bajo lupa con el objeto de separar la totalidad del ictioplancton, identificando y separando los huevos y larvas de sardina común y anchoveta según los criterios de Fischer (1958), Einarsson y Rojas (1963), Moser y Ahlstrom (1985), Santander et al. (1984), y Herrera et al. (1987).

Los huevos de las dos especies fueron clasificados en 11 estadios de desarrollo sobre la base de los cambios morfológicos que ocurren durante la embriogénesis, y que han sido descritos por Moser y Ahlstrom (1985) y Santander et al. (1984) para la anchoveta, y por Herrera et al. (1987) y Sepúlveda et al. (2000) para sardina común. Los estadios de desarrollo no identificables o desintegrados se clasificaron como huevos deteriorados, y asignados aleatoriamente a uno de los 11 estadios de desarrollo (Lo, 1985).

7.3.4. Muestreo oceanográfico

Según lo indicado en las secciones anteriores, en las mismas estaciones de la grilla regular en que se realizaron muestreos con red bongo también se llevaron a cabo perfiles hidrográficos con un CTD Seabird 19 (sectores centro y sur), equipado además con un sensor de Oxígeno disuelto en el sector sur (mediciones de oxígeno se entregarán como un adicional ya que no estaban comprometido en la propuesta). Los lances hidrográficos se realizaron hasta 100 metros de profundidad o hasta 10 metros del fondo, según la batimetría de las estaciones. Adicionalmente, en todas las estaciones de la grilla (286 estaciones), se midió la temperatura superficial del mar a bordo (temperatura de balde) con termómetros digitales. En los sectores centro y sur, finalmente, se registró a bordo la dirección e intensidad del viento durante todo el crucero y en todas las estaciones, y el estado del mar.

7.4. Diseño muestreo de adultos desovantes

El muestreo de adultos de sardina común y anchoveta se realizó simultáneamente con la ejecución del crucero ictioplanctónico, bajo la modalidad de Pesca de Investigación autorizada por Subsecretaría de Pesca (Resolución 2517 del 05 de agosto de 2005). Se utilizó cuatro lanchas artesanales con puerto base en la VIII Región (L/M Don Yaco , L/M Don Riveira, L/M Don Julián y L/M Capito I) y cuatro lanchas artesanales con puerto base en la X Región (L/M Orka, L/M Samaritano, L/M Nicolas, y L/M Don Borney), las cuales realizaron lances de pesca para la obtención de las muestras de adultos necesarias entre el 24 de agosto y el 11 de septiembre de 2005. Las lanchas artesanales operaron con red de cerco anchovetera, estando equipadas con sonar, radar, GPS, y radios VHS y HF.

7.4.1. Número de lances y tamaño de muestra

El diseño de muestreo compatibiliza las características biológicas de los clupeiformes en el sentido que los cardúmenes desovantes se estructuran y segregan según su condición reproductiva durante la época reproductiva (Blaxter y Hunter, 1982). En este sentido, el diseño de muestreo considera un muestreo bi-etápico donde las unidades primarias están determinadas por el número de cardúmenes (lances) y como segunda unidad al número de ejemplares al interior de cada lance (Picquelle, 1985). A su vez, el diseño de muestreo considera un muestreo aleatorio de individuos para determinar la frecuencia de tallas, la frecuencia diaria de hembras desovantes, y la proporción sexual, y un muestreo dirigido para la colecta de hembras hidratadas para la determinación de la fecundidad parcial en función del peso corporal.

El diseño de muestreo bi-etápico en cada estrato geográfico se desarrolló al azar desde el punto de vista de la hora del lance y tratando de cubrir los extremos geográficos de cada zona según autonomía de cada lancha, con el objeto de evitar que los lances de pesca se distribuyeran muy cerca de los puertos bases.

El muestreo de ejemplares se realizó a bordo, obteniéndose de cada lance positivo una muestra aleatoria de 120 ejemplares para determinar la estructura de tallas de los cardúmenes desovantes. A estos ejemplares se les identificó el sexo y fueron medidos en su longitud total utilizando un ictiómetro con una precisión de 0,5 cm.

Posteriormente, se obtuvo una muestra aleatoria de 40 hembras maduras (Picquelle, 1985), las que fueron fijadas inmediatamente en una solución de formalina al 10% (bufferda con sales). El procedimiento consistió en abrir los ejemplares desde el ano hasta las aletas pélvicas, sin dañar la gónada, y preservados enteros en el fijador. Se preservaron 10 ejemplares máximo por frasco de 2,5 litros de capacidad, con el

objeto de evitar la saturación del fijador. La solución se preparó según Oliva et al. (2001) consistente en 16,2 l de agua destilada, 117 g de fosfato de sodio dibásico (Na_2HPO_4), 72 g de fosfato monosódico ($\text{NaH}_2\text{PO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$) y 1,8 l de solución de formaldehído (37%). Estos ejemplares fueron sometidos a un examen histológico, con el objeto de determinar su estado de madurez sexual y finalmente la fracción diaria de hembras desovantes.

A su vez, con el objeto de determinar la proporción sexual en peso, en cada lance se obtuvo una muestra aleatoria de 50 ejemplares, los cuales fueron preservados en formalina al 10% (diluida en agua de mar). Estos individuos fueron trasladados al Laboratorio de Evaluación de Poblaciones Marinas y Análisis de Pesquerías (<http://www2.udec.cl/~lucubillos/>) de la Universidad de Concepción, para determinar el sexo, peso y longitud de cada ejemplar.

Finalmente, a bordo se realizó un muestreo dirigido de hembras hidratadas con el objeto de contar con un número suficiente para determinar la fecundidad parcial. Estos ejemplares fueron preservados en formalina al 10% (buferada con sales). La totalidad de los ejemplares colectados fueron sometidos a un examen histológico para descartar aquellos que contengan folículos postovulatorios.

7.4.2. Justificación del número de lances y ejemplares por lance

El tamaño de muestra se justifica estadísticamente según metodología descrita por Picquelle (1985), consistente en la evaluación del diseño de muestreo bi-etápico y donde la media y la varianza son estimadas según Cochran (1980) por:

$$3)... \quad \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n},$$

donde:

$$4)... \quad \bar{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^m X_{ij}}{m}$$

$$5)... \quad \hat{V}AR(\bar{X}) = (1 - f_1) \frac{S_1^2}{n} + f_1(1 - f_2) \frac{S_2^2}{nm}$$

donde:

$$6)... \quad S_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{X}_i - \bar{\bar{X}})^2}{n-1} \text{ es el componente de varianza entre lances, y}$$

$$7)... \quad S_2^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (X_{ij} - \bar{X}_i)^2}{n(m-1)} \text{ es el componente de varianza intra-lances.}$$

Además,

$$8)... \quad f_1 = \frac{n}{N},$$

donde N es el número total de estaciones, y

$$9)... \quad f_2 = \frac{m}{M}$$

donde M es el número total de elementos en cada estación. La ecuación del estimador de varianza permite encontrar valores óptimos de n (número de lances) y m (elementos en cada estación) que son de mínima varianza. Como en la mayoría de las evaluaciones pesqueras la fracción muestreada es pequeña o despreciable ($f_1 \cong 0$), entonces la ecuación de varianza quedaría expresada por:

$$10)... \quad \hat{V}AR(\bar{\bar{X}}) = \frac{S_1^2}{n}$$

En esta expresión queda eliminado el componente de varianza intra-lances, y la muestra de lances puede ser tratada como una muestra agrupada, permitiendo analizar la relación entre la varianza y los valores de n y m . La correlación intra-grupos (ρ) es una función de la razón de la varianza de muestras agrupadas y la varianza de muestras aleatorias, según:

$$11)... \quad \frac{\sigma_{\bar{\bar{X}}}^2 \text{ agrupada}}{\sigma_{\bar{\bar{X}}}^2 \text{ aleatoria}} = 1 + \rho(m-1)$$

donde:

$$12)... \quad \sigma_{\bar{\bar{X}}}^2 \text{ agrupada} = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{X}_i - \bar{\bar{X}})^2}{n(n-1)},$$

y

$$13)... \quad \sigma_{\bar{\bar{X}}}^2 \text{ aleatoria} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (X_{ij} - \bar{\bar{X}})^2}{nm(nm-1)}$$

Ya que no existe una combinación óptima de m y n para los distintos parámetros (proporción sexual, fracción desovante, fecundidad y peso de hembras), entonces el parámetro que tenga la mayor varianza relativa fue elegido para determinar m y n . En el crucero realizado el 2002, la fracción diaria de hembras desovantes (S) fue el menos preciso, con $S = 0,107$ ($CV = 0,128$) para la anchoveta y $S = 0,131$ ($CV = 0,113$) para la sardina común. Cubillos et al. (2003) calcularon las curvas de precisión (CV) en función del número de hembras por lance (m) y el número de lances (n), considerando una correlación intra-grupos estimada en 0,02 para ambas especies, con un número de lances efectivos de $n = 32$ en anchoveta y $n = 57$ en sardina común. El número promedio de hembras muestreadas por lance fue de $m = 42$ y $m = 22$ para anchoveta y sardina común, respectivamente.

Se observó que con 40 lances por especie y una muestra de 35 hembras se satisfacen los requerimientos de precisión para la estimación de la fracción diaria de hembras desovantes, con CV cercanos al 10% (**Tabla 5**). Este coeficiente puede ser aún menor si la fracción diaria de hembras desovantes es mayor a 0,120 tal y como lo demuestra Picquelle (1985).

Tabla 5. Relación entre el número de lances (n) y el tamaño de la submuestra (m) para un rango de coeficientes de variación (CV) para los datos de fracción diaria de hembra desovante determinada en el crucero del 2002 (Cubillos et al. 2003).

Nº de lances (n)	$CV = 0,1$	$CV = 0,128$	$CV = 0,15$	$CV = 0,2$
a) anchoveta:				
$m =$ submuestra de hembras				
20	215	52	28	13
25	92	34	20	10
30	60	25	16	8
35	44	20	13	7
40	35	16	11	6
60	19	10	7	4
80	13	7	5	3
100	10	6	4	2
b) sardina común:				
20	475	47	25	10
25	102	30	17	8
30	56	21	13	6
35	40	17	11	5
40	30	14	9	5
60	16	8	6	3
80	10	6	4	2
100	8	5	3	2

7.5. Objetivo 1: Producción diaria de huevos, mortalidad, y varianza asociada

La producción diaria de huevos corresponde al número de huevos promedio desovados por día, por unidad de superficie, en el área de desove evaluada a través de un crucero de huevos (Picquelle y Stauffer 1985). La producción diaria de huevos, P_0 , y su varianza, se estimó de acuerdo con el siguiente modelo de mortalidad:

$$14)... \quad P_{t_{kij}} = P_0 \exp(-Zt_{kij}) + \varepsilon_{kij}$$

donde $P_{t_{kij}}$ es el número de huevos (huevos por unidad de área) a la edad t de la k -ésima cohorte o tanda diaria de huevos de la estación i en el j -ésimo estrato, t_{kij} es la edad en días, medido como el tiempo transcurrido desde la hora del desove, estimada para la k -ésima cohorte o tanda diaria de huevos en la i -ésima estación del estrato j , P_0 es la producción diaria de huevo por una unidad de área, Z es la tasa instantánea de mortalidad diaria de huevos, y ε_{kij} es un término de error aditivo.

El modelo asume que todos los huevos son fertilizados y desovados a una hora fija, y que todos los huevos experimentan una tasa instantánea de mortalidad constante. Debido a la estructura aditiva del término error, se utilizó regresión no lineal minimizando las diferencias cuadráticas entre la producción de huevos estimada por el modelo y la observada. Sin embargo, se evaluó también el desempeño de una regresión no-lineal ponderada por el inverso del error estándar en el caso que la abundancia de huevos en función de la edad evidencie la ocurrencia de valores extremadamente altos de abundancia (Lo et al. 2001, Somarakis et al. 2002).

De acuerdo con las sugerencias de la Dra. Nancy Lo (SWFSC, NOAA, EE.UU.) y Dr. Andrés Uriarte (AZTI, España), debido a la asunción de una producción diaria de huevos es factible que algunas cohortes esperadas no se observen en algunas estaciones. Por lo tanto, la abundancia cero para cohortes que debieron observarse debería ser tomada en cuenta debido simplemente al hecho de que el modelo de estimación asume una producción diaria de huevos por unidad de superficie. Trabajar sólo con la abundancia positiva (>0) podría determinar una sobre-estimación de la producción diaria de huevos, al interior del área de desove.

Por otra parte, se consideró criterios asociados con las colas de la abundancia de huevos. En el caso de la sardina común y anchoveta se descartó todos los datos con una edad inferior a 4 horas después de la hora del desove para evitar sesgos relacionados con el reclutamiento incompleto de huevos al plancton. Este

criterio se acordó también en el caso de la anchoveta de la zona norte de Chile (G. Claramunt, com. pers.). A su vez, se evitó las edades cercanas a la eclosión de las larvas ya que podrían producir sesgo en la estimación de la mortalidad y producción diaria de huevos. Esto se debe a que los huevos que eclosionan pasan a ser larvas con saco vitelino, y no necesariamente mueren. Por lo tanto, solamente una fracción de la edad máxima esperada para una cohorte de huevos debe estar representada en el modelo de mortalidad. Todas las edades mayores al 90% de la edad esperada de eclosión fueron descartadas para evitar los probables sesgos causados por eclosión (Somarakis et al. 2002, 2004). Estos criterios metodológicos fueron aplicados a los datos de producción diaria de huevos de los cruceros previos (FIP 2002-14, FIP 2003-06, FIP 2004-03) con el objeto de establecer comparaciones válidas entre los parámetros estimados.

Para asignar la edad a los huevos, se utilizó el procedimiento automatizado de Lo (1985) con los modelos temperatura-estadio-dependiente descritos por Sepúlveda et al. (2000) que permiten calcular la edad en función de la temperatura y el estadio de desarrollo. En el caso de la sardina común, se tiene:

$$15)... \quad Y_{D,T} = 15,98 \times \exp(-0,0631 \times T - 0,0198 \times D) \times D^{1,04},$$

y para el caso de la anchoveta:

$$16)... \quad Y_{D,T} = 18,1 \times \exp(-0,0789 \times T - 0,0542 \times D) \times D^{1,31}$$

donde $Y_{D,T}$ es la edad promedio estimada de los huevos para cada estadio y temperatura; T es la temperatura, y D es el estadio de desarrollo. Se utilizó el procedimiento de Lo (1985) para corregir la estimación de la edad al tiempo de la colecta de huevos considerando un tiempo cero que corresponde a la hora del desove, asumida a las 22:00 horas. La corrección consiste en ajustar la fracción del día desde la hora del desove hasta la colecta, considerando la siguiente expresión:

$$17)... \quad Y_{D,T,k} = Y_{D,T} + k - f$$

donde $Y_{D,T}$ es la edad estimada por el modelo, k es la hora de la colecta (lance), y f es la fracción remanente que surge de la suma de la hora estimada y la hora del desove menos 24 horas. Las decisiones de corrección según la hora de colecta son:

$$18)... \quad Y_{D,T,k} = \begin{cases} k < (f - g) \Rightarrow & y_{D,T} - g \\ (f - g) < k < (f + g) \Rightarrow & y_{D,T} + k - f \\ (f + g) < k \Rightarrow & y_{D,T} + g \end{cases}$$

donde g es el doble de la desviación estándar de la edad dentro de cada estadio.

El área de desove quedó definida por el área delimitada por las estaciones positivas. La producción diaria de huevos se estimó para el área de desove en cada estrato geográfico, mientras que la producción diaria total se estimó utilizando una ponderación por el área de desove de cada estrato geográfico, lo que viene expresado por:

$$19)... \quad P_0 = \frac{\sum_i A_i P_{0,i}}{\sum_i A_i}$$

y varianza igual a:

$$20)... \quad Var(P_0) = \frac{\sum_i A_i^2 V(P_{0,i})}{\left(\sum_i A_i\right)^2}$$

7.5.1. Producción diaria de huevos incorporando la abundancia de larvas con saco vitelino: caso de la anchoveta

Con el objeto de mejorar la precisión de las estimaciones de P_0 para la anchoveta, se utilizó la producción de larvas con saco vitelino en las curvas de mortalidad de huevos asumiendo que huevos y larvas con saco están expuestos a la misma tasa de mortalidad diaria. La asignación de edad a las larvas con saco vitelino se realizó considerando un modelo de desarrollo temperatura-dependiente descrito para las larvas con saco vitelino de *Engraulis ringens* de la zona central de Chile, el cual fue presentado en el XXIII Congreso de Ciencias del Mar (Llanos y Castro, 2003) y una aplicación en la reunión SPACC realizada en Concepción entre el 14 y 16 de enero de 2004 (“A temperature dependent model of yolk sac larval development and the effects of the addition of yolk sac larvae data on the estimations of P_0 in the Daily Egg Production Method” presentado por Riquelme et al. (2005).

Para estimar la edad de las larvas con vitelo se considera que el único carácter que varía junto con la longitud larval es el tamaño del saco vitelino. El modelo de desarrollo temperatura-dependiente propuesto por Llanos y Castro (2003), utiliza una razón (R) resultante entre la longitud del saco vitelino presente y la longitud notocordal de la larva. El cociente resultante fluctúa entre 60 % para larvas recién eclosionadas

y 0 % para las larvas que han absorbido completamente el vitelo. Este modelo a su vez, es dependiente de la temperatura y la ventaja es que puede ser usado cuando las muestras de larvas son fijadas en formalina, ya que no afecta a las proporciones corporales. El modelo es el siguiente:

$$21) \dots Y_{R,T} = \alpha e^{(\beta_1 T + \beta_2 R)} (R)^{\beta_3}$$

donde $Y_{R,T}$ es la edad promedio estimada para las larvas con vitelo de anchoveta con una razón R y temperatura T (edad desde la eclosión); R es la razón entre longitud del vitelo y la longitud notocordal, mientras que $\alpha = 435,23$; $\beta_1 = -0,117$; $\beta_2 = -0,052$; y $\beta_3 = 0,259$ ($r^2 = 0,95$; $p < 0,05$) son constantes específicas para la anchoveta. El rango de temperatura de los datos a partir de los cuales se deriva este modelo varía entre los 10 y 18 °C, rango que admite los valores de temperatura registrados durante el crucero como también el tamaño de las larvas con saco vitelino.

La abundancia de larvas con saco vitelino fue dividida por la edad promedio para obtener la producción larval con el objeto de ser incorporada en la curva de mortalidad (Lo et al., 2001). La edad al momento de la eclosión se estimó con el procedimiento automatizado de Lo (1985), utilizando la ecuación (17) y se sumó a la edad determinada para las larvas. Se consideró la edad promedio de la totalidad de las larvas con saco vitelino en cada estación. A su vez, sólo se consideró las estaciones con larvas que quedaron dentro del área de desove definida para los huevos.

7.5.2. Modelo innovativo para la producción diaria de huevos

El nuevo enfoque utiliza modelos aditivos generalizados (GAM) que han sido especialmente diseñadas para resolver los problemas y limitaciones de la aplicación convencional del MPDH. La fórmula general simplificada de GAM que puede ser aplicada en la estimación de la producción diaria de huevos se expresa por:

$$22) \dots E[N_i] = g^{-1}(\text{offset} + s(x_1, \text{by} = P_0) + s(x_2, \text{by} = \text{edad}))$$

donde N_i es la abundancia de huevos en la cohorte diaria i , g^{-1} es el inverso de la función de enlace (link function), i.e. la función que relaciona la variable respuesta y el predictor lineal (e.g. logaritmo en el caso de Poisson); P_0 es la producción diaria de huevos, edad es la edad media ponderada de la cohorte diaria i ;

$s(x_1, by=P_0)$ es la función suavizadora que describe la relación entre la producción de huevos (en escala logarítmica) y un conjunto de co-variables x_1 , e.g. $s(\text{Lat}, \text{Long}, by=P_0)$; y $s(x_2, by=edad)$ es la función suavizadora que describe la relación entre la mortalidad de los huevos y el conjunto de co-variables x_2 , e.g. $s(\text{TSM}, by=edad)$. El parámetro *offset* es fijo y toma en cuenta diferencias en el tamaño de las muestras (i.e. volumen de agua filtrada o superficie efectiva muestreada). Se utilizó el área efectiva muestreada, calculada mediante el producto entre el área de la boca de la red CalVET y el coseno del ángulo del cable.

La estructura de error (la cual puede diferir de la distribución normal) fue seleccionada según la relación media-varianza. Las funciones suavizadoras son automáticamente seleccionadas por el nuevo conjunto de algoritmos desarrollado para GAM utilizando validación cruzada general (General Cross-Validation, GCV). No obstante, el conjunto de co-variables utilizadas para explicar la producción de huevos y la tasa de mortalidad deben ser seleccionadas por el equipo de trabajo sobre la base del conocimiento de la especie y las características del hábitat reproductivo.

La estimación de la producción de huevos en especies de peces que muestran una rápida tasa de desarrollo requiere de una estimación de la tasa de mortalidad de huevos utilizando información de todos los estadios de desarrollo de los huevos. El método tradicional agrupa la abundancia de huevos en cohortes considerando su edad, y posteriormente una curva de mortalidad es ajustada a los datos de abundancia de cohortes diarias dada la edad media ponderada (e.g. Piquelle y Stauffer, 1985). Sin embargo, sólo los estadios de desarrollo son variables verdaderamente observadas, y no la edad, y en la literatura se puede encontrar varios procedimientos para estadios de huevos (e.g. Lo 1985, Bernal et al., 2001). Bernal et al. (2001), desarrolló un procedimiento innovativo y estadísticamente fundamentado de asignación de edad, y fue desarrollado e integrado dentro de las rutinas GAM del MPDH. El procedimiento utilizará la misma información que el método tradicional, i.e.

- Información del crucero: abundancia de huevos por estadios de desarrollo, hora de colecta, y condiciones ambientales que afectan la tasa de desarrollo durante la embriogénesis (usualmente la temperatura).
- Información de experimentos de incubación: el desarrollo de los estadios morfológicos de los huevos durante la embriogénesis en función del tiempo y la temperatura.
- Información sobre la dinámica reproductiva de la especie: distribución de la actividad del desove en un ciclo diario.

La embriogénesis discretizada en estadios de desarrollo de los huevos es función de la temperatura (e.g. Pepin, 1991), y en menor grado por otros parámetros ambientales. Usualmente, la información sobre la tasa de desarrollo de los huevos en función del estadio de desarrollo y de la temperatura se obtiene a partir de experimentos de incubación. En el nuevo procedimiento metodológico de asignación de edad considera un proceso multinomial, en el cual la probabilidad de pertenecer a uno de los once estadios de desarrollo depende de la edad de los huevos (conocida la hora del desove) y la temperatura. De esta manera, a partir de un experimento de incubación de huevos se puede plantear el siguiente modelo probabilístico multinomial:

$$23) \dots p(s | a, T)$$

que representa la probabilidad de permanecer en el estadio s dada la edad a y temperatura T . Cuando una especie muestra sincronía diaria en el desove, la información sobre la distribución de la actividad de desove durante el ciclo diario afectará el proceso de asignación de edad. Si el desove ocurre solamente en cierto momento del día, los huevos podrían tener una cierta edad considerando el tiempo transcurrido entre la hora del desove y la observación (hora de colecta). En un caso extremo, si el desove es perfectamente sincrónico (los huevos son desovados a un hora dada del día, e.g. medianoche) y el desarrollo dura hasta la eclosión en un día, los huevos observados pueden tener solamente una edad exacta dada por el tiempo transcurrido entre el desove (medianoche) y la hora de colecta. Si la duración del desarrollo del huevo dura más de un día, entonces una edad promedio aproximada y observada en el experimento de incubación puede ser utilizada para decidir en que noche los huevos fueron desovados, y entonces utilizar el tiempo transcurrido entre el evento de desove y la época del crucero para atribuir una edad exacta. La sincronía del desove puede ser formalizada como una función densidad de probabilidad (fdp) de edad dada la fecha del crucero, i.e. $f_i(a | \tau)$. Un descubrimiento reciente es que la mortalidad debería ser utilizada para asignar una edad adecuada a los huevos, ya que los huevos más viejos son menos probables de ser encontrados y así, cuando diferentes cohortes diarias pueden ser asignadas a un huevo, es más probable que éste sea más joven que viejo.

Al considerar lo argumentado, y considerando el Teorema de Bayes, se obtendrá la distribución de edades dada la información obtenida durante el crucero (estadios de huevos, temperatura, hora de colecta) que se expresa por:

$$24) \dots \hat{p}(a | s, T, \tau) \propto f_i(a | \tau) p(s | a, T)$$

de esta manera se asignará una edad a cada estadio de desarrollo muestreando desde la distribución posterior $\hat{p}(a | s, T, \tau)$, o clasificar los huevos en cohortes diarias directamente utilizando la distribución posterior. El nuevo procedimiento de asignación de edad presenta varias ventajas respecto del método tradicional, tanto en relación a cómo se modela la información que proviene de los experimentos de incubación y en relación a cómo se asigna la edad en el método tradicional. En relación con el modelo de incubación:

El nuevo modelo es claramente descrito y justificado estadísticamente, lo cual marca una diferencia con el procedimiento automático desarrollado por Lo (1985), i.e.

- aunque fácil de implementar, asigna aleatoriedad a las variables equivocadas (edad, la cual es realmente fija y decidida por el investigador)
- esta compuesta de dos modelos diferentes, uno de edad media y otro de duración de estadios. La estimación de la edad media no es bien documentada en las diferentes implementaciones (Miranda et al., 1990; Motos, 1994), y algunas veces es equivocadamente descrito o implementado. Los modelos asumidos para la duración de estadios también varía entre las diferentes implementaciones del método de Lo.
- El nuevo procedimiento tiene propiedades de cualquier método de verosimilitud, incluyendo insesgamiento y eficiencia, y facilita la comparación con otros métodos de verosimilitud.
- La incertidumbre de los datos provenientes del experimento de incubación se incorpora a través del modelo multinomial.

En relación con la asignación de la edad, las ventajas del nuevo procedimiento son:

- Permite incluir conocimiento relevante en términos de la sincronía del desove de una manera tan cercana a la realidad como compleja sea y los datos actuales lo permitan.
- Tiene la potencialidad de incluir conocimiento a priori a través de funciones densidad de probabilidad de otras variables que puedan afectar la tasa de desarrollo de los huevos, y así la edad de un huevo en un cierto estadio de desarrollo.
- La distribución posterior de la edad contiene la incertidumbre de la información que proviene del experimento de incubación como de la asumida distribución para la sincronía del desove, y estos pueden ser incluidos en cualquier estimación subsiguiente que incluya edad (e.g. la tasa de mortalidad diaria).

También, la distribución posterior puede utilizarse para agrupar los huevos en cohortes diarias (como en el método convencional).

Area de estudio y estimación de los límites del crucero

Idealmente, en estudios de inferencia diseño-basados (que es la forma de inferencia tradicional en la aplicación convencional del MPDH), la región del crucero debe ser definida antes de aplicar el diseño. En la práctica, el diseño de tales cruceros es algo adaptativo con el esfuerzo de muestreo continuado fuera de la costa (transectas perpendiculares a la línea de costa) hasta que los huevos están lo suficientemente dispersos como para reunir algún criterio de corte. El análisis diseño-basado de estos cruceros asigna áreas que no se sobreponen para cada punto muestral (lance) y la región de estudio se considera como la suma de esas áreas. Esto constituye algo parecido a un diseño sistemático sin un punto de partida aleatorio, el cual no es un diseño ideal, pero con la intensa cobertura de puntos que estos cruceros tienen se aproximan satisfactoriamente a un muestreo aleatorio simple (Smith y Hewitt, 1985).

Para el análisis GAM-basado, se requiere una región del crucero cuyos límites queden claramente definidos con el objeto de que el modelo sea capaz de predecir solamente sobre los puntos que están dentro del área del crucero y evitar las extrapolaciones. Los supuestos y protocolos para definir el área del crucero fueron establecidos claramente en la discusión del proyecto de la UE, y un algoritmo que define automáticamente el área fue desarrollado. Las decisiones para definir el área del crucero serán:

- Los límites internos (costeros) son definidos por una versión suavizada de la línea de costa. Esto es para evitar extrapolaciones a puntos cercanos a la costa.
- Los límites exteriores son definidos por los puntos finales de cada transecta, pero se agrega una distancia equivalente a la mitad de la distancia entre puntos (estaciones) de la transecta.
- Límites sobre el comienzo y fin del crucero son definidos por los puntos de las transectas externas, pero agregando la mitad de la distancia entre transectas.

Al conocer el área exacta representada por un punto de muestreo (o cualquier otro punto sobre el cual la predicción toma lugar) es muy importante tanto para la aplicación tradicional como para la estimación GAM-basada. La producción de huevos se mide en unidades de individuos por m^2 por día, así el área de mar superficial representado por cada punto se necesita para obtener una estimación de la producción diaria en el área total del crucero. Es necesario evitar las extrapolaciones y estimar tan precisa como sea posible el área exacta asociada a cada punto, en particular en puntos cercanos a la línea de costa donde una

estimación imprecisa podría generar extrapolaciones sobre la tierra. La estimación del área representada por cada punto dentro del área del crucero debería considerar la distancia desde el punto a cualquiera de los puntos que lo rodean y a los límites del área del crucero de tal manera que el área de cada punto no se sobreponga con otros y la suma del área representada por dichos puntos sea igual al área total del crucero. El programa implementado en el programa GAM, calcula automáticamente el área que representa cada punto ya sea sobre una grilla regular o irregular.

Ajuste del modelo y selección de modelos

Dentro del proyecto GAM de la UE, un esquema de trabajo flexible e integrado para el ajuste de GAM utilizando “penalized regression splines” (e.g. Wahva, 1980; Parker y Rice, 1985; Eilers y Marx, 1996) fue desarrollado, y que consisten en:

- Selección de suavizadores de dispersión integrados utilizando GCV (General Cross-Validation) o unbiased risk estimation (Criterio de Información de Akaike, AIC)
- Representación de rangos óptimos bajos de funciones suavizadoras componentes del modelo de un número arbitrario de covariables.
- Una aproximación rigurosa para la estimación por intervalos sobre la base de un modelo Bayesiano del proceso de suavización
- Extensión de los modelos aditivos generalizados para incluir “offset multiplicativos” para los términos de suavizamiento.
- Una aproximación eficiente para utilizar un modelo de error binomial negativo en este esquema de trabajo con GAM.
- Desarrollo de un método numérico óptimamente estable de ajuste del modelo y selección de los suavizadores de dispersión utilizando GCV o AIC.
- El desarrollo de un paquete computacional completo en el que se implementa este esquema de trabajo flexible y disponible gratuitamente dentro del programa *R*.

Los primeros tres puntos y el último están relacionados con una mejoría notable de ajuste de GAM y ampliamente disponibles para una gran variedad de aplicaciones. El cuarto punto fue desarrollado para tratar aspectos particulares de la estimación de la producción de huevos con GAM (modelo de mortalidad de huevos), mientras que los puntos quinto y sexto fueron desarrollados sobre la base de las aplicaciones del MPDH, pero que pueden ser utilizados para modelar una gran variedad de otro tipo de datos. Wood (2002, 2003) describe en detalle los puntos anteriores desde el punto de vista estadístico.

Los tres paquetes computacionales que permiten ajustar un modelo GAM en general (*mgcv*), en el contexto del MPDH (*eggs*), y la resolución de la problemática espacial de los datos asociados al MPDH (*geofun*) fueron desarrollados dentro del proyecto GAM de la UE. Los programas fueron desarrollados como librerías de funciones en *R* (<http://www.cran.r-project.org>, Ihaka & Gentleman, 1996). *R* es un programa de libre distribución bajo los términos del "Free Software Foundation's GNU General Public License (Hornik, 2002). La documentación e instalación de los paquetes es lo suficientemente simple y bien documentada dentro del programa. Una breve descripción de cada programa es el siguiente:

- *mgcv*, es el programa principal para ajustar GAM. Los principales métodos estadísticos y computacionales han sido publicados (Wood, 2003) o están en preparación. El programa representa una notable mejoría del trabajo con GAM, particularmente en relación con: a) selección de modelos automática utilizando GCV o AIC; b) suavizadores multidimensionales utilizando la aproximación "thin plate" (Wood, 2003); y c) modelo de ajuste eficiente y robusto, que permite también ajustar datos altamente dispersos utilizando la distribución binomial negativa.

- *eggs*, permite una estimación GAM-basada del MPDH, incluyendo funciones para: a) ajuste de modelos a datos provenientes de experimentos de incubación utilizando un modelo flexible multinomial; b) asignación de edades a datos de huevos por estadios de desarrollo observados utilizando un nuevo método Bayesiano de asignación de edades, sobre la base del modelo de desarrollo de los datos de incubación y función densidad de probabilidad para la sincronía del desove; c) agrupación de huevos en cohortes diarias y estimación de la abundancia promedio y edad promedio; d) ajuste de un modelo GAM para estimar la producción diaria de huevos y la mortalidad; y e) obtención de muestras bootstrap no paramétricas para la producción diaria de huevos, con incertidumbre asociada al procedimiento de asignación de edades. Otras funciones generales para obtener resúmenes estadísticos, gráficos, entre otras facilidades son también incluidas en el programa.

- *geofun*, el programa está diseñado para modificar los datos espaciales para ser utilizados adecuadamente en la modelación espacial (e.g. usando GAM) y provee de funciones para representar mapas de distribución y salidas de los modelos. Las principales características son: a) transformación de pares de variables (usualmente latitud y longitud) a lo largo de una línea de referencia (e.g. línea de costa, isóbata) y perpendiculares a ésta; b) encuentra los límites del área del crucero y detecta los puntos que están dentro de dichos límites; c) estima el área de los puntos de una grilla de muestreo regular o irregular dentro de los límites del crucero mediante Dirichlet Tessellation, d) estima el área representada por los puntos localizados en el borde del crucero; e) provee funciones para graficar los resultados de un modelo espacial (mapeo).

7.6. Objetivo 2: Proporción de estadios de madurez microscópicos, frecuencia diaria del desove y varianza asociada

7.6.1. Estados de madurez microscópicos

La condición reproductiva de las hembras se evaluó mediante el análisis de la proporción de los estadios de madurez de los ovarios. Se considera adecuada la escala microscópica específica basada en los criterios señalados por Wallace y Selman (1981), Selman y Wallace (1989), y Hunter y Macewicz (1985), y resumidos en la **Tabla 3 (Figura 2)**. La escala microscópica incorpora un estadio llamado “Postdesovante de tanda” que contiene un momento importante en el proceso reproductivo de desovadores parciales y que además permite definir con mayor claridad el máximo período reproductivo.

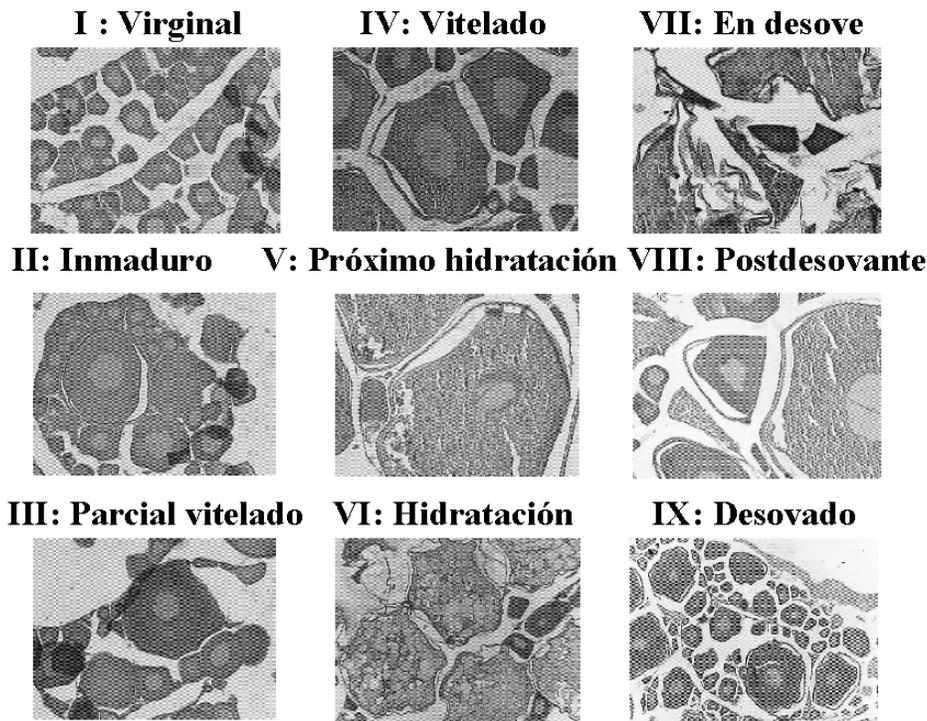


Figura 2. Estadios de madurez sexual microscópicos característicos de sardina común.

7.6.2. Folículos postovulatorios

La frecuencia del desove se evaluó a través de la presencia de folículos postovulatorios (FPO), los cuales se analizaron sobre la base de los criterios establecidos 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, deteriorándose rápidamente para posteriormente ser reabsorbido en el tejido ovárico.

En la anchoveta, los folículos postovulatorios pueden ser observados hasta 56 horas después del desove. Dependiendo de las características morfo-histológicas es factible determinar si la hembra tuvo un desove reciente, la noche anterior o dos noches antes, lo que permite usar los folículos postovulatorios para estimar la frecuencia de desove. El proceso de deterioración y reabsorción del folículo debe ser dividido en una serie de diferentes estadios histológicos, cada uno con una edad asignada. Los diferentes estadios de degeneración han sido definidos sobre la base de criterios discretos de las características citológicas y morfohistológicas (tamaño, forma aparente, aspectos de las células de la granulosa y del lúmen).

En la anchoveta y otros desovantes parciales se utiliza la clasificación por edades de los FPO que utilizan los criterios citológicos y morfohistológicos propuestos por Hunter y Goldberg (1980) para *Engraulis mordax* y por Macewicz y Hunter (1993) para *Trachurus symmetricus*, asumiendo que dichos criterios y cambios estructurales son similares a los que experimentan los FPO de *E. ringens* y *S. bentincki* y que fueron descritos en el FIP 97-04 por Sepúlveda et al. (2000) (**Tabla 6**).

Tabla 6. Características morfohistológicas de los folículos postovulatorios.

FPO nuevos de día 0 (< 24 h)	Folículos postovulatorios nuevos que no muestran signos de degeneración. Estructura de forma irregular formada por una columna epitelial bien organizada con numerosas involuciones. Adyacente a las células foliculares se ubica la lámina de células tecales conectivas que pueden verse como una prominente capa. El lúmen es amplio e irregular.
FPO de día 1 (24 h < FPO 48 h)	Folículos postovulatorios en regresión, mostrando signos de degeneración. Son más pequeños que los folículos postovulatorios nuevos, el cual se ha contraído sobre sí mismo. Presencia de células foliculares con citoplasma vacuolado y núcleo picnótico, cuyas paredes no son claramente distinguibles. La disposición lineal de las células se mantiene. La lámina tecal se destaca claramente. El lúmen es estrecho e irregular.
FPO de día 2 (> 48 h)	Folículos postovulatorios con marcada degeneración celular. De menor tamaño que el folículo postovulatorio de día 1. Epitelio folicular desorganizado, perdiendo la disposición lineal de sus células, las cuales se presentan en avanzado estado degenerativo, de forma irregular, con citoplasma vacuolado y núcleo picnótico. Lámina tecal desarrollada. El lúmen está ocluido.

Los criterios histológicos que se describen se basan en aquellos comunicados para la anchoveta del norte (*Engraulis mordax*) por Hunter y Goldberg (1980). La clasificación de los folículos postovulatorios (FPO) se basa en los mismos criterios estructurales, y en todos los casos ellos son similares en apariencia a aquellos descritos para muchos teleósteos. Lo ideal, para establecer criterios únicos es estimar la edad de los FPO a partir de ejemplares que han desovado en laboratorio y muestrear en tiempos conocidos después del desove, tal como lo describe Hunter y Goldberg (1980). Sin embargo, Macewicz y Hunter (1993) utiliza la hora de la colecta en un ciclo diario para describir las características de los FPO en el jurel (*Trachurus symmetricus*), y concluyen que las características histológicas fueron muy similares a la de la anchoveta y de la caballa (*Scomber japonicus*) por Dickerson et al. (1992). En consecuencia, las características estructurales histológicas definirán una clasificación de los FPO en nuevos, jóvenes, y viejos; mientras que la hora de colecta respecto de la hora de desove permitió asignar la edad correctamente.

7.6.3. Fracción diaria de hembras desovantes

La fracción diaria de hembras desovantes considera solamente los ovarios con folículos postovulatorios, y en su estimación se usó las ecuaciones de Alheit et al. (1983) y Santander et al. (1984). Cuando el muestreo de hembras hidratadas o de hembras con FPO de día 1 ó de día 2 no es sesgado, entonces la fracción de hembras desovantes en el lance i puede ser estimado por:

$$25)... \quad S_i = \frac{m_{h,i}}{m_i} \quad \text{ó} \quad \frac{m_{1,i}}{m_i} \quad \text{ó} \quad \frac{m_{2,i}}{m_i}$$

donde:

$$26)... \quad m_i = m_{h,i} + m_{1,i} + m_{2,i} + m_{a,i}$$

donde:

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 FPO con una edad menor de 9 horas, FPO nuevos)

m_i = Número de hembras maduras en el lance i .

S_i = Fracción desovante en el lance i .

En este proyecto, las hembras fueron capturadas con red de cerco y es probable que pueda ocurrir un sesgo en el número de hembras hidratadas (Alheit 1985), razón por la cual fue necesario realizar una corrección asumiendo que el número de hembras hidratadas (m_{hi}) puede ser representado por:

$$27)... \quad m_{h,i} = \frac{m_{1,i} + m_{2,i}}{2}$$

de tal forma que la fracción de hembras desovantes de día 1 es:

$$28)... \quad S_{1,i} = \frac{m_{1,i}}{\frac{m_{1,i} + m_{2,i}}{2} + m_{1,i} + m_{2,i} + m_{a,i}} = \frac{m_{1,i}}{m_{y,i}}$$

y la fracción desovante de hembras de día 2 es:

$$29)... \quad S_{2,i} = \frac{m_{2,i}}{\frac{m_{1,i} + m_{2,i}}{2} + m_{1,i} + m_{2,i} + m_{a,i}} = \frac{m_{2,i}}{m_{y,i}}$$

donde S_i es la fracción corregida de hembras con FPO de día 1 ó de día 2, en el lance i . El número de hembras que no ha desovado se estima por: $m_{a,i} = m_i - m_{0,i} - m_{1,i} - m_{2,i} - m_{h,i}$ (se recuerda que $m_{a,i}$ incluye las hembras con FPO nuevos menores a 9 hrs, $m_{0,i}$), mientras que el número corregido de hembras maduras para el lance i viene dado por la siguiente expresión:

$$30)... \quad m_{y,i} = \frac{m_{1,i} + m_{2,i}}{2} + m_{1,i} + m_{2,i} + m_{a,i}$$

El promedio de la fracción desovantes de hembras de día 1 y 2, se calculó mediante la siguiente expresión para el lance i :

$$31)... \quad \bar{S}_i = \frac{S_{1,i} + S_{2,i}}{2} = \frac{\sum (m_{1,i} + m_{2,i})}{2 \sum m_{y,i}}$$

La fracción de hembras desovantes promedio se estimó por:

$$32)... \quad \bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{S}_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

con varianza igual a:

$$33)... \quad Var(\bar{S}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum \left(\frac{m_{y,i}}{\bar{m}} \right)^2 (\bar{S}_i - \bar{S})^2$$

donde \bar{S} es la fracción promedio de hembras desovantes por día en todos los lances, $m_{y,i}$ es el número corregido de hembras maduras en el lance i , \bar{m} es el número promedio corregido de hembras maduras.

7.7. Objetivo 3: Fecundidad parcial, fecundidad media poblacional y varianza asociada

Se utilizó el método gravimétrico para estimar la fecundidad parcial (Hunter y Goldberg 1980, Hunter et al. 1985, Santander et al. 1984, Oliva et al. 2000, 2001, Cubillos et al. 2003). El método se basa en que todos los ovocitos hidratados en el interior del ovario son liberados en corto tiempo y el número de éstos refleja la fecundidad parcial o la liberación de la tanda de huevos por noches. En este contexto, solamente aquellos ovarios hidratados deben ser utilizados, razón por la cual todos los ovarios clasificados macroscópicamente como hidratados fueron sometidos a un examen histológico, descartándose aquellos con indicios de desove reciente (presencia de folículos postovulatorios) ya que la fecundidad podría ser subestimada.

El procedimiento de conteo de ovocitos consistió de las siguientes etapas: a) absorción de líquido superficial del ovario con papel filtro, b) submuestreo de la mitad más grande del ovario, tomando tres segmentos del tejido uno del centro y dos de la parte media entre el centro y los extremos del eje mayor del ovario; c) pesaje de las submuestras en una balanza analítica con una precisión de 0,001 gramos; y d) conteo de los ovocitos en cada submuestra bajo lupa, las que serán depositadas en una cápsula petri y cubiertas con gotas de glicerina (33%).

Se utilizó el número promedio de ovocitos hidratados de las tres submuestras (metodología descrita por Hunter et al. 1985), para estimar el número total de ovocitos hidratados del ovario (fecundidad parcial) según:

$$34)... \quad \bar{E}_j = \bar{n} \times \bar{W}_j$$

donde:

\bar{E}_j = Fecundidad parcial (número total de ovocitos hidratados en el ovario de la hembra j).

\bar{W}_j = Peso húmedo del ovario (g) de la hembra j .

\bar{n} = Número promedio de ovocitos hidratados por gramo de submuestra en el ovario de la hembra j .

El MPDH requiere la fecundidad media poblacional, es decir el número de ovocitos liberados por una hembra promedio representativa de la población de hembras maduras. Para ello, se estableció la relación entre la fecundidad parcial y el peso corporal mediante regresión lineal. El modelo lineal ha sido el modelo que mejor se ajusta a los datos en otros estudios (Oliva et al. 2000, 2001, Sepúlveda et al. 2000). El peso corporal corresponde al peso total menos el peso de la gónada. Además, el modelo lineal es particularmente importante pues la varianza de la pendiente de esta relación se incorpora en la estimación de la varianza de la fecundidad media poblacional. Hunter et al. (1985), sostienen que un número mínimo de 50 hembras hidratadas obtenidas de todos los lances, es suficiente para establecer la relación entre la fecundidad y el peso corporal para mantener un coeficiente de variación menor a un 10%.

Por otra parte, desde el punto de vista biológico la relación entre la fecundidad parcial y el peso corporal (o longitud total) siempre exhibirá problemas de homocedasticidad, ya que la variación de la fecundidad parcial se mantiene constante (CV) respecto del peso corporal. Esto implica que la desviación estándar se incrementa proporcionalmente con el incremento del peso corporal (o longitud total). Un modelo alternativo, desde el punto de vista estadístico, es ponderar las observaciones por el inverso de la varianza. Sin embargo, ello determinaría cambiar los modelos de propagación de varianza para la fecundidad media poblacional. Sucede lo mismo si se establece una relación no-lineal aunque el utilizar, por ejemplo una relación potencial, no necesariamente evitaría el problema de la heterocedasticidad.

Se debe dejar claramente establecido que la relación lineal entre la fecundidad parcial y el peso corporal se utiliza solamente en un contexto operacional para estimar la fecundidad media poblacional. Hunter et al.

(1985) recomiendan el modelo lineal para estimar la fecundidad media poblacional, por las siguientes razones: a) explica mejor la variación que los modelos no-lineales; b) los coeficientes de regresión tienen una interpretación biológica; y c), para la estimación de la fecundidad media poblacional, la fecundidad de los ejemplares en los extremos no es tan importante como aquellos del rango promedio.

La fecundidad media de las hembras en cada lance se determinó utilizando el peso corporal de las hembras colectadas aleatoriamente. 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):

$$35)... \quad \bar{\bar{F}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{F}_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

donde:

$\bar{\bar{F}}$ = Fecundidad media poblacional, m_i es el número de peces muestreados en el lance i , \bar{F}_i es la fecundidad promedio de las hembras en el lance i .

Debido a que se utiliza la fecundidad parcial estimada a través del modelo de regresión, cada estimado tiene su propia varianza. Entonces, la estimación de la varianza de la fecundidad media poblacional se debe ajustar para incluir esta variación adicional, representada por:

$$36)... \quad Var(\bar{\bar{F}}) = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{(\bar{F}_i - \bar{\bar{F}})^2}{n-1} + \frac{S_h^2}{n_h} + (w_i^* - w_h^*) S_\beta^2 \right]}{\left(\sum_{i=1}^n (m_i / n) \right)^2 n}$$

donde:

$\bar{\bar{F}}$ = Fecundidad media poblacional,

\bar{F}_i = Fecundidad promedio en el lance i ,

S_h^2 = Varianza de la regresión,

n_h = Número de hembras hidratadas utilizadas para ajustar la regresión,

\bar{W}_i^* = Peso corporal promedio para el lance i ,

\bar{W}_h^* = Peso corporal promedio de hembras utilizadas en la regresión, $S^2(\beta)$ es la varianza de la pendiente de la regresión, y n es el número de lances.

7.8. Objetivo 4: Proporción sexual, peso promedio de hembras maduras, y varianza asociada

La proporción en peso de las hembras se estimó para cada lance a partir de una submuestra aleatoria de un mínimo de 50 ejemplares, preservados en formalina. La proporción total de hembras en peso fue estimada por:

$$37)... \quad \bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{R}_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

y su varianza por:

$$38)... \quad \hat{VAR}(\bar{R}) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i^2 (\bar{R}_i - \bar{R})^2}{\left[\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{n} \right]^2 n(n-1)}$$

donde:

- \bar{R} = Proporción en peso promedio de hembras maduras,
- \bar{R}_i = Proporción en peso de hembras maduras en el lance i ,
- m_i = Número de peces muestreados del lance i , y
- n = Número total de lances.

El peso promedio de las hembras es un estimado a partir de un tamaño fijo de submuestra de hembras maduras, que viene dado por:

$$39)... \quad \bar{W} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{W}_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

y la varianza por

$$40)... \quad \hat{V}AR(\bar{W}) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i^2 (\bar{W}_i - \bar{W})^2}{\left[\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{n} \right]^2 n(n-1)}$$

donde:

- \bar{W} = Peso promedio de hembras maduras,
- \bar{W}_i = Peso promedio de hembras maduras en el lance i,
- m_i = Número de peces muestreados del lance i, y
- n = Número total de lances.

El peso observado es ajustado hacia abajo en las hembras maduras cuyos ovarios contienen huevos hidratados, debido a que su peso corporal está temporalmente sobreestimado debido a la retención de agua. El peso ajustado (\hat{W}_{ij}) es estimado a partir de una regresión lineal entre el peso total y el peso sin gónadas (W_{ij}^*) y que es ajustado solo en aquellas hembras con huevos hidratados, i.e.

$$41)... \quad \hat{W}_{ij} = \hat{\alpha} + \hat{\beta}W_{ij}^*$$

La distribución de frecuencia observada del peso promedio de hembras por lance es usualmente simétrica aunque puede ocurrir cierta insinuación de bimodalidad si hay más de una clase anual. Los pesos dentro de cada lance tienden a ser homogéneos, lo que sugiere que los cardúmenes de anchoveta (y sardina común) son homogéneos en relación al peso.

Debido a que los peces se preservarán en formalina hasta su procesamiento en laboratorio, fue necesario además aplicar una corrección a las mediciones de la longitud y peso debido a que el fijador introduce una variación en estos parámetros. De acuerdo con lo recomendado por Hunter (1985), los factores que influyen en esta variación se deben a diferencias en el tamaño de los peces, estado del pez cuando es preservado, tiempo en formalina y razón de formalina y dilución, razón por la cual los efectos de la preservación en formalina son muy específicos. Considerando estos aspectos, es necesaria una calibración para cualquier cambio en técnica, especie o estadio de vida. El factor de corrección fue calculado a partir de una muestra de 30 machos y 30 hembras, las cuales se pesaron en fresco para luego ser fijadas, con la misma solución y procedimientos utilizados a bordo, siendo vueltos a pesar a intervalos regulares. El

factor de corrección para cada parámetro y sexo, fue calculado como la media del porcentaje de variación de las mediciones efectuadas después de 48 h y al mes después de la fijación.

7.9. Objetivo 5: Biomasa desovante y varianza asociada

Según Stauffer y Picquelle (1980) la estimación de la biomasa desovante puede ser formulada mediante:

$$42)... \quad B = \frac{P_0AW}{SFR} k$$

donde:

B = Biomasa desovante;

P_0 = Producción diaria de huevos por unidad de superficie;

W = Peso promedio de hembras maduras;

R = Razón de sexos, fracción en peso de la población que son hembras maduras;

F = Fecundidad parcial, número de huevos por hembra madura por vez;

S = Fracción de hembras maduras desovantes por día;

A = Area de desove;

k = Factor de conversión de unidades.

Sobre la base del método Delta de Seber (1973), Stauffer y Picquelle (1980) demostraron que el sesgo y la varianza para el estimador de biomasa son función de las varianzas y covarianzas muestrales. El sesgo (b) está dado por:

$$43)... \quad E[B] = \hat{B} + b$$

donde $E[B]$ es el valor esperado de la biomasa y \hat{B} es el estimado de biomasa con la ecuación (39). El sesgo puede estimarse aproximadamente de la siguiente forma:

$$44)... \quad b \cong \hat{B}(CV(P)^2 + CV(W)^2 + CV(R)^2 + CV(F)^2 + CV(S)^2 + COVS)$$

donde CV representa el coeficiente de variación del parámetro estimado y $COVS$ corresponde a la suma de términos que incorpora las respectivas covarianzas:

$$45)... COVS = \frac{COV(PW)}{PW} - \frac{COV(PR)}{PR} - \frac{COV(PF)}{PF} - \frac{COV(PS)}{PS} - \frac{COV(WR)}{WR} - \frac{COV(WF)}{WF} - \frac{COV(WS)}{WS} \\ + \frac{COV(RF)}{RF} + \frac{COV(RS)}{RS} + \frac{COV(SF)}{SF}$$

Si se ignora el sesgo, la varianza aproximada del estimado está dada por:

$$46)... \quad Var(B) \cong \hat{B}^2 \times (CV(P)^2 + CV(W)^2 + CV(F)^2 + CV(S)^2 + CV(R)^2 + 2 \times COVS)$$

Las formulas de covarianza son estándar, y dicen relación con:

$$47)... \quad COVS = \sum_i \sum_{i < j} sign \frac{COV(x_i, x_j)}{x_i x_j}$$

donde x representa los parámetros adultos, y los sub-índices i y j se refieren a diferentes parámetros, i.e. $x_i = F$ (fecundidad) y $x_j = W$ (peso promedio). El signo de cualquiera de dos términos utilizados depende de su lugar en la ecuación de estimación de biomasa (positivo si están ambos en el numerador o en el denominador, y negativo en otro caso). La correlación es función de la matriz de varianza – covarianza. Por ejemplo, la correlación entre la fecundidad (F) y el peso corporal (W) viene dada por:

$$48)... \quad r(F, W) = \frac{\sum_i m_i (\bar{F} - \bar{F}) k_i (\bar{W} - \bar{W})}{\{\bar{m} \bar{k} n(n-1)\} \sigma_F \sigma_W}$$

donde m_i y k_i se refieren al número de hembras maduras en el i -ésimo lance para cada parámetro, y σ se refiere al error estándar de cada parámetro. Sin considerar el producto entre los errores estándar en el denominador, la ecuación se transforma en la ecuación de covarianza.

La delimitación del área de desove constituye un aspecto de fundamental importancia para la estimación de la biomasa desovante. Los criterios utilizados en la delimitación del área de desove son aquellos acordados para la anchoveta de la zona norte (Oliva et al. 2002). Al respecto, se define como área de crucero o de estudio a aquella delimitada por los contornos del total de las estaciones que fueron muestreadas, sin realizar interpolaciones inter-transectas, y que viene dada por la suma de las áreas que representa cada estación de muestreo. El área de desove, en cambio viene determinada por el patrón espacial de estaciones positivas, considerando el criterio estructural o de límite inferior, cuyos límites

están dados por las estaciones positivas y considerando un mínimo de tres estaciones negativas por transectas si éstas caen entre dos positivas.

7.10. Objetivo 6: Distribución espacial de huevos asociada a variables oceanográficas

Con la información oceanográfica obtenida en el crucero de huevos, se describe la distribución espacial de la temperatura, salinidad, y densidad. Dicha descripción se realizó mediante mapas de isolíneas que fueron contruidos mediante interpolación cuadrática (kriging), consistentes en:

- secciones horizontales de isotermas en superficie, a 10 y 50 m de profundidad para toda el área de estudio,
- secciones horizontales de isohalinas en superficie, a 10 y 50 m de profundidad para toda el área de estudio,
- secciones horizontales de isopicnas en superficie, a 10 y 50 m de profundidad para toda el área de estudio,
- secciones verticales de salinidad costa-océano, y
- secciones verticales de densidad costa-océano.

Adicionalmente, y con el fin de explorar la variabilidad de las condiciones oceanográficas de menor escala temporal, se obtuvieron imágenes satelitales de temperatura superficial del mar (TSM) para el área y periodo de estudio. El análisis de estas imágenes permitió caracterizar los procesos oceanográficos de mesoescala que pudieran explicar la distribución de huevos durante el estudio.

Las relaciones entre la distribución de huevos con las variables ambientales se investigó según dos métodos cualitativos, y dos métodos estadísticos. El análisis cualitativo consistió en la sobreposición de los mapas de distribución de las variables oceanográficas descritas con la distribución de la densidad de huevos de anchoveta y sardina común en una escala horizontal. A su vez, se construyeron diagramas T-S en los cuales se sobrepuso una representación escalada de la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común, siguiendo la metodología de Checkley et al. (2000).

En los análisis cuantitativos se utilizó el método de preferencia-rechazo de Perry y Smith (1985). A su vez, la estructura de la distribución espacial de los huevos de anchoveta se analizó con métodos geoestadísticos. En la sardina común, dada la baja abundancia en la zona centro no fue posible analizar la estructura espacial con métodos geoestadísticos.

7.10.1. Análisis preferencia-rechazo

El muestreo de huevos permite la observación pareada de densidad de huevos y las variables físico-químicas del ambiente marino, permitiendo utilizar la prueba de asociación descrita por Perry y Smith (1994), en su versión univariada. Considerando el diseño de muestreo, el análisis se realizará para cada estrato geográfico contemplado. Se define por f_{hi} a una variable físico-química de las 2 (salinidad y temperatura) medidas en el crucero, donde $h = 1, 2, 3...$ indica el estrato mientras que $i = 1, \dots, n_h$ indica la muestra. Si se cuenta con t que representa a otra variable con el mismo rango que f (i.e. $\max[t]-\min[t] = \max[x]-\min[x]$), pero que es discreta y que está ordenada de menor a mayor. Sea $I(f_{hi}, t)$ una variable indicadora que toma el valor 1 si $x_{hi} \leq t$ y 0 en cualquier otro caso. Por último sea W_h la proporción del área total cubierta por el muestreo que pertenece al estrato h . Entonces:

$$49)... \quad F(x, t) = \sum_{h=1}^3 \frac{W_h}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} I(f_{hi}, t)$$

es la función de distribución acumulada para f . Tomando ventaja del pareo de observaciones físico-químicas y de densidad de huevos (z observada), se construirá la función de distribución acumulada conjunta bajo la hipótesis nula de independencia entre ambas variables.

$$50)... \quad G(z, t) = \sum_{h=1}^3 \frac{W_h}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} \frac{z_{hi}}{\bar{z}} I(f_{hi}, t)$$

donde:

$$51)... \quad \bar{z} = \sum_{h=1}^3 W_h \bar{z}_h$$

representa la media global (a través de los estratos) de la densidad de huevos. Bajo la hipótesis nula de independencia, un estadístico de prueba que mide la distancia vertical entre las dos distribuciones acumuladas es el siguiente:

$$52)... \quad \max |G(f, z, t) - F(f, t)| = \max \left| \sum_{h=1}^3 \frac{W_h}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} \left(\frac{z_{hi}}{\bar{z}} - 1 \right) I(f_{hi}, t) \right|$$

el cual debe tener un valor bastante pequeño, pues bajo la hipótesis la distribución G se genera al multiplicar F por un número aleatorio. Si el muestreo fuera aleatorio simple el estadístico de prueba se distribuiría asintóticamente de la misma manera que el estadístico de dos muestras de Kolmogorov-Smirnov. En ausencia de tal diseño de muestreo, utilizaremos una distribución empírica bajo la hipótesis nula para el estadístico de prueba mediante el remuestreo aleatorio simple de los pares $\frac{W_h}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} \left(\frac{z_{hi}}{\bar{z}} - 1 \right)$ (densidad de huevos) e $I(f_{hi}, t)$ (variable físico-química) (Perry y Smith 1994).

7.10.2. Análisis geoestadístico

El análisis geoestadístico convencional se aplicó para analizar la distribución espacial de la densidad de huevos de anchoveta. Este no se aplicó a los datos de sardina común, ya que su abundancia estuvo escasamente representada en el espacio. La estimación geoestadística convencional se basa en la correlación espacial entre los datos en lugar de evitarla, como en el caso de un muestreo aleatorio, y permite obtener resultados insesgados prácticamente desde cualquier tipo de diseño muestral (Conan 1985, Petitgas 1996). No obstante, se obtiene una mayor precisión al aplicar este tipo de análisis bajo estrategias de muestreo de tipo regular (Conan 1985), como es el caso de este estudio (diseño de muestreo). Las estimaciones locales de cada variable obtenidas durante el crucero son consideradas como una representación muestral del proceso aleatorio subyacente (i.e. campo de la densidad local). En primer lugar, se realizó el análisis estructural que permite caracterizar el proceso sobre la base de las propiedades de los datos, modelando el cambio en su disimilitud en función de la distancia entre ellos. Posteriormente, este modelo de correlación espacial fue utilizado durante una interpolación por kriging puntual ordinario para asignar ponderadores óptimos a las mediciones de la variable densidad local, en cada lance. El procedimiento básico del kriging lineal consiste en la interpolación sobre el área no muestreada mediante combinaciones lineales de las observaciones provenientes del área muestreada en la grilla de transectas. Los coeficientes de las combinaciones lineales son óptimos desde el punto de vista de las desviaciones cuadráticas esperadas entre las observaciones y las interpolaciones (Isaaks y Srivastava 1989).

Para el análisis estructural, se asume la existencia de estacionaridad de segundo orden, es decir, que la media del proceso aleatorio bajo estudio es constante en el área de prospección y la covarianza entre dos puntos de muestreo sólo depende de sus distancias relativas (Isaaks y Srivastava 1989). La herramienta estructural utilizada es el variograma, definido (Journel y Huijbregts 1978) como la esperanza de la variable aleatoria $(Z(x) - Z(x+h))^2$. Bajo la hipótesis intrínseca, es posible estimar el variograma $2\gamma(h)$ a

partir de los datos mediante el variograma experimental $2\gamma^*(h)$, que es la media aritmética de las diferencias al cuadrado entre dos mediciones experimentales, $z(x_i) - z(x_i+h)$, realizadas en dos puntos cualesquiera separados por el vector h . Este cálculo se realizó en varias direcciones para investigar la existencia de diferencias direccionales en la estructura del proceso (i.e. anisotropía).

Una vez obtenido el variograma experimental, se ajustó un modelo estadístico para relacionar la estructura observada con el proceso generador. El modelo gaussiano fue el más apropiado para los datos y se consideró el modelo propuesto por Cressie (1993). En este variograma, el efecto nugget caracteriza la variabilidad de micro-escala, mientras que el rango del variograma indica la distancia más allá a partir del cual los datos ya no presentan correlación. Los parámetros del variograma teórico fueron estimados mediante el método de mínimos cuadrados descrito por Cressie (1993), y aplicado con éxito por Pelletier y Parma (1994) y por Roa y Tapia (2000). Este procedimiento tiene la ventaja de disminuir la ponderación de pares menos representados en la muestra y aumentar la de puntos cercanos al origen del variograma, zona crucial en la estimación de los parámetros del modelo (Pelletier y Parma 1994). Una vez obtenido el modelo teórico, se realizó una validación cruzada de los parámetros del variograma teórico ajustado y de los parámetros a utilizar en la interpolación por kriging (i.e. parámetros del variograma teórico, radio de búsqueda, número máximo de pares a utilizar en la interpolación). El método de validación cruzada (Deutsch y Journel 1998) consiste en eliminar una a una las estaciones de muestreo y utilizar el resto de los datos para estimar el valor de la variable en la estación eliminada, utilizando el modelo de variograma y parámetros de kriging seleccionados (Maravelias et al. 1996). De esta forma, se define el error de predicción en cada localidad muestreada como la diferencia entre el valor medido y el estimado a partir del resto de los datos (Isaaks y Srivastava 1989). El objetivo final de este procedimiento fue obtener un criterio de decisión para seleccionar una combinación dada de parámetros del variograma teórico y del kriging.

El criterio de selección fue el error medio cuadrado (MSE), asumiendo que un buen modelo de continuidad espacial debería entregar estimaciones cuyo sesgo y dispersión de residuos se aproximen a cero. Por lo tanto, la combinación seleccionada de modelo y parámetros de kriging será aquella con el menor MSE. Sin embargo, el hecho de que la distribución univariada de los residuos cumpla con estas condiciones no es suficiente para garantizar que las predicciones del modelo espacial en localidades no visitadas serán de buena calidad. Por ello, y como ha sido sugerido por Isaaks y Srivastava (1989), se inspeccionó además el grado de sesgo condicional (i.e. correlación entre las magnitudes de las estimaciones y sus residuos) y el de correlación existente entre los estimados y las observaciones. La

selección del conjunto de parámetros con mínimo MSE estuvo restringida a las combinaciones que cumplieron estos dos requisitos.

Los parámetros del variograma teórico y del kriging fueron seleccionados después de la validación cruzada. Estos fueron utilizados para calcular las ponderaciones óptimas a ser asignadas a cada estimación local de la variable, para así estimar la misma $\hat{z}(x_0, y_0)$ en cada uno de los nodos de la grilla de interpolación (x_0, y_0) . Otra posibilidad de variograma, es utilizar el método "Robusto" (Cressie & Hawkins, 1980), el cual es usado cuando existen datos muy grandes en medio de valores bajos ya que esto puede producir problemas en la definición del variograma experimental. Este método fue utilizado para la abundancia de huevos de sardina común en la zona sur, y se expresa por:

$$53) \dots \quad 2\gamma^*(h) = \frac{\left((1/N(h)) \sum_{i=1}^{N(h)} |z(x_i) - z(x_i + h)|^{1/2} \right)^4}{0.457 + (0.494/|N(h)|)}$$

El análisis de los datos sugirió en cada caso la necesidad de dividir la zona de muestreo total en focos o si realizar un análisis más global. Como se trata de un ejercicio de modelación y no de prueba de hipótesis el uso de los datos para decisiones de análisis es válido. Debido a que el modelo geoestadístico emplea distancia Euclidianas, la latitud y la longitud no son coordenadas apropiadas. Deben ser transformadas a unidades métricas. Esto fue hecho utilizando el programa CoordTrans. Se utilizó el modulo de estadística espacial del programas S-plus 2000 para el cálculo de los variogramas experimentales y teóricos, el programa SURFER 8.0 para la validación cruzada, el kriging, el cálculo de la densidad promedio y su posterior mapeo; para el cálculo de varianza de la densidad promedio se utilizó el programa EVA (Estimation Variance) propuesto por Petitgas y Prampart (1995).

7.11. Otros aspectos metodológicos

7.11.1. Taller de discusión de resultados

Las Bases Especiales del Proyecto estipulan en el punto 5.8 que se deberá realizar un taller que de cuenta de los principales resultados y conclusiones de la evaluación del stock desovante de sardina común y anchoveta mediante el MPDH.

El Taller se realizó en dos modalidades: a) revisión de los criterios metodológicos y resultados, con el objeto de establecer recomendaciones y sugerencias para mejorar aplicaciones futuras, y b) presentación y

discusión de los resultados a una audiencia amplia. La primera etapa se desarrolló los días 18 y 19 de enero de 2006, y en los que participó el equipo de trabajo con la supervisión de la Dra. Nancy Lo. La segunda etapa se realizó el 20 de enero de 2006, instancia en que no sólo participó el equipo de trabajo y la Dra. Nancy Lo sino también investigadores de INPESCA, UDEC, UNAP y representante del FIP. El Dr. Andrés Uriarte participó como consultor sobre la base de los resultados contenidos en este informe, y sus observaciones serán incorporados al Informe Final ya que no pudo estar presente para el taller de enero.

7.11.2. Comparación con otras evaluaciones

De acuerdo con el punto 5.7 de las Bases Especiales del Proyecto, en la discusión del proyecto se incorporará explícitamente un listado con las estimaciones previas de biomasa total y/o desovante de anchoveta y sardina común, indicándose el método aplicado. Según las mismas bases, Subsecretaría de Pesca pondrá a disposición los resultados de las evaluaciones indirectas del stock de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur.

Se solicitaron los informes finales de proyectos FIP relacionados con la evaluación hidroacústica del reclutamiento que se han ejecutado entre el año 1999 y 2004 (www.fip.cl) y a Subsecretaría de Pesca los informes finales de los proyectos “Investigación CTP de anchoveta centro-sur 2006” e “Investigación CTP de sardina común centro-sur 2006”.

Se compara los resultados 2005 con los obtenidos en los proyectos de evaluación de biomasa desovante 2002, 2003 y 2004, tanto en términos de biomasa desovante como en términos de la distribución del desove utilizando las estaciones positivas, la producción diaria de huevos, parámetros reproductivos y biomasa desovante.

Con el objeto de comparar las evaluaciones directas de biomasa de anchoveta y sardina común se propone un modelo simple y alternativo que permite evaluar los cambios de biomasa en una escala de tiempo mensual. Esta escala temporal se considera lo suficientemente pequeña para reflejar los cambios rápidos y estacionales que son característicos en pesquerías como esta (Cubillos et al., 2002). Para ello, se formaliza un modelo de dinámica de biomasa, el cual se contrasta estadísticamente con datos de biomasa total obtenidos mediante hidroacústica. Los cambios de biomasa dentro del ciclo anual, se comparan con las evaluaciones del stock desovante que están disponibles para el periodo 2002-2005.

Se utilizó los desembarques mensuales de sardina común y anchoveta en la unidad de pesquería comprendida entre la V y X Regiones, los cuales fueron obtenidos del Servicio Nacional de Pesca. A su vez, se utilizó la evaluación acústica de la biomasa de sardina común y anchoveta que cubren el periodo comprendido entre 1999 y 2005. Las evaluaciones acústicas de biomasa han sido financiadas a través del Fondo de Investigación Pesquera (FIP), y han sido realizadas por el Instituto de Fomento Pesquero en enero de cada año calendario, dando cuenta principalmente de la fortaleza de los reclutamientos anuales de ambas especies.

El modelo de dinámica de biomasa asume una población cerrada. Los cambios de biomasa quedan descritos por la siguiente secuencia de eventos: a) la biomasa inicial, a comienzos de un año (enero), disminuye por mortalidad natural y capturas sucesivas; b) a fines de diciembre sobrevive una biomasa, que se podría denominar residual, la que es instantáneamente incrementada por la biomasa que recluta a comienzos de enero del año siguiente. La secuencia de eventos, se puede formalizar como sigue:

$$54) \dots \begin{aligned} B_{i+1,t} &= \bar{s}_i B_{i,t} - C_{i,t} \bar{s}_i^{0.5} & 1 \leq i \leq 12; t = 1, \dots, n \\ B_{i,t} &= R_{i,t} + B_{i,t}^* & i = 1; t = t + 1 \end{aligned}$$

donde $B_{i,t}$ es la biomasa a comienzos del mes i dentro del año t ; \bar{s}_i es una tasa de sobrevivencia que incluye la tasa de mortalidad natural (M) y la tasa de crecimiento en peso (g_i), $C_{i,t}$ es la captura en peso en el mes i del año t . En cada enero ($i=1$), después del año $t=1$, la biomasa residual a fines de año ($B_{i,t}^*$, o comienzos del año siguiente) se incrementa debido al aporte de la nueva biomasa que recluta ($R_{i,t}$).

La tasa de mortalidad natural fue asumida constante, utilizándose $M = 1.0 \text{ año}^{-1}$ para sardina común y $M = 0.7 \text{ año}^{-1}$ para la anchoveta (Cubillos et al., 1998b). Estos valores fueron divididos por 12 para dar cuenta de la tasa de mortalidad natural mensual. En el caso de la tasa de crecimiento en peso, se utilizó la siguiente aproximación:

$$55) \dots \quad g_i = \ln \left(\frac{w_{i+1}}{w_i} \right)$$

donde w_i es el peso promedio de los individuos en el mes i . Se utilizó las ecuaciones de crecimiento en longitud encontradas por Cubillos et al. (2000), y los parámetros de la relación longitud-peso. Al combinar las tasa de mortalidad natural y la tasa de crecimiento en peso, se determinó la tasa de sobrevivencia en peso por mes, i.e.

$$56)... \quad s_i = \exp(g_i - M)$$

Para ello se utilizó una cohorte completa que recluta en enero y sobrevive por cuatro años, obteniéndose el valor promedio dentro del ciclo anual.

La biomasa inicial, y la biomasa que recluta en enero de cada año fueron los parámetros desconocidos del modelo. La biomasa que recluta en enero se estimó según la siguiente expresión:

$$57)... \quad R_{i=1,t} = \bar{R} \exp(\tau_i)$$

donde \bar{R} es la biomasa promedio que recluta, y τ_i representa desviaciones alrededor de la media, asumiéndose $\sim N(0, \sigma_R^2)$. Por lo tanto, la siguiente penalización fue establecida:

$$58)... \quad \ell_1 = \ln(\sigma_R) + \frac{1}{2\sigma_R^2} \sum_i \tau_i^2$$

Los valores para σ_R fueron establecidos en 0.4 para sardina común y 0.5 para anchoveta, representando valores típicos de la variabilidad del reclutamiento de peces pelágicos pequeños.

Para estimar los parámetros desconocidos, se utilizó la biomasa acústica observada según la siguiente función de log-verosimilitud negativa:

$$59)... \quad \ell_2 = \ln(CV_H) + \frac{1}{2(CV_H)^2} \sum_{i=1}^k (\ln(B_i^{Obs} / \psi \bar{B}_i))^2$$

donde CV_H es el coeficiente de variación de la biomasa acústica, B_i^{Obs} es la biomasa acústica evaluada, y \bar{B}_i es la biomasa promedio en el mes i , y ψ es el coeficiente de detección acústica, el cual se considera constante. La biomasa promedio en el mes i , proveniente del modelo, se determina según la siguiente expresión:

$$60)... \quad \bar{B}_i = B_i \bar{s}_i^{0.5}$$

En otras palabras, la biomasa inicial del mes i que sobrevive hasta la mitad del mes i .

8 Resultados

8.1. Monitoreo reproductivo de adultos

8.1.1. Frecuencia de tallas

La estructura de tallas de los ejemplares provenientes del monitoreo reproductivo se resumen en las **Tablas 7 y 8** para la VIII y X Región, respectivamente.

En la VIII Región se logró una cobertura temporal mayor, observándose que el rango de tallas de sardina común fluctuó entre 4,0 y 17,5 cm y una longitud modal que se mantuvo alrededor de los 10,5 cm (**Tabla 7**). El número de individuos de sardina común que se muestreo fluctuó entre 38 y 627, aspecto determinado principalmente por la menor disponibilidad que el recurso acusó en las operaciones de pesca durante el periodo. En el caso de la estructura de tallas de la anchoveta de la VIII Región (**Tabla 7b**), el número de individuos muestreados fluctuó entre 508 y 1899, cuyo rango de tamaños se presentó entre 6,5 y 18,5 cm y con una moda centrada en alrededor de los 13 cm de longitud total.

Tabla 7. Resumen de distribución de frecuencias de tamaño durante el monitoreo reproductivo en la VIII Región (LT se refiere a la longitud total).

a) Sardina común

	VIII Region 2005									
	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio	11.4	10.9	10.7	8.9	0.0	10.6	10.5	11.0	6.9	7.1
Moda	10.5	10.5	10.5	10	0	9.5	10.5	11	7	9
Lt min	9	9.5	9	6	0	7.5	7.5	7.5	5	4
Lt max	15	12.5	14	13.5	0	17.5	15	15	15.5	10.5
N	627	111	38	378	0	338	243	127	500	200

b) Anchoveta

	VIII Region 2005									
	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio	12.8	13.1	13.2	11.7	13.1	12.5	12.7	11.8	13.0	
Moda	12.5	13	13	11	13	12	13.5	12;14	13.5	
Lt min	9.5	10.5	10	6.5	7.5	8.5	8	8	7.5	
Lt max	17	18	17	17	18.5	18	18	18	17.5	
N	805	1052	798	1899	1347	1168	1959	508	1213	

En la X Región, la estructura de tallas de sardina común se caracterizó por individuos comprendidos entre 9,5 y 16,5 cm de longitud total y una moda que fluctuó entre 12,5 y 14,7 individuos (**Tabla 8a**). En el caso

de la anchoveta, la estructura de tallas estuvo representada por ejemplares de entre 7,5 y 18 cm de longitud total, con una moda que fluctuó entre 13,5 y 15 cm (**Tabla 8b**).

Tabla 8. Resumen de distribución de frecuencias de tamaño durante el monitoreo reproductivo en la X Región (LT se refiere a la longitud total).

a) Sardina común						
2005						
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio	13.7	0.0	12.6	14.0	12.6	11.9
Moda	14.7	0	12.5	14.5	12.5	10.5
Lt min	11.5	0	10	11.5	10	9.5
Lt max	15.5	0	15.5	16.5	15.5	15.5
N	274	0	107	708	387	380

b) Anchoveta						
2005						
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio	14.7	13.7	13.5	14.5	12.2	12.4
Moda	14.5	14	13.5	15	12.5	11
Lt min	12	9	7.5	11	9.5	9.5
Lt max	18	17.5	17.5	17.5	15.5	17
N	269	1490	1060	837	248	526

8.1.2. Indicadores reproductivos macroscópicos

Durante el monitoreo reproductivo se analizó macroscópicamente las gónadas de las hembras de anchoveta y sardina común. Se contó con un total de 738 hembras de sardina común, de las cuales 47,6% correspondieron a la VIII región en el periodo de marzo a noviembre y a 52,4 % a la X región en el periodo de julio a diciembre. Se puede observar en la **Tabla 9**, que la sardina común presentó solamente hembras en estado II (en maduración) en los meses de marzo a mayo. A pesar de que en julio no se pudo contar con muestras, en junio hubo un aporte de 19 % aproximadamente del estadio III (maduro) y se incrementó a 97 % en agosto (segunda semana), lo cual reveló que esta especie se encontraba en actividad reproductiva. En septiembre, el estado maduro representó 76,5 % y disminuyó a 56,9 % en octubre. En el caso de la anchoveta, desde marzo a julio se observó un gran dominancia de hembras en estado II (en maduración) y con una presencia de menor importancia del estado III. Al igual que la sardina común, la segunda semana de agosto, se observó una contribución importante del estado III (95 %), disminuyendo a 72,4 en septiembre e incrementándose el estado IV a 22,2%. En octubre se presenta nuevamente el estado III y en noviembre se presentan casi todos los estados representados (**Tabla 9**).

Tabla 9. Distribución del estado de madurez sexual macroscópico de sardina común y anchoveta durante el monitoreo reproductivo en la VIII Región en número y porcentaje (entre paréntesis).

a) Sardina Común									
VIII Región									
EMS	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0
II	62 (100)	17 (100)	11 (100)	42 (80,8)	0	1 (1,1)	8 (15,7)	21 (36,2)	1 (7,7)
III	0	0	0	10 (19,2)	0	85 (97,7)	39 (76,5)	33 (56,9)	7 (53,8)
IV	0	0	0	0	0	1 (1,1)	4 (7,8)	4 (6,9)	4 (30,8)
V	0	0	0	0	0	0	0	0	1 (7,7)
N°	62	17	11	52	0	87	51	58	13

b) Anchoveta									
VIII Región									
EMS	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0
II	91 (94,8)	160 (93,6)	123 (98,4)	127 (79,4)	139 (93,3)	5 (3,1)	15 (4,7)	5 (3,8)	54 (13,9)
III	5 (5,2)	11 (6,4)	2 (1,6)	33 (20,6)	10 (6,7)	152 (95)	228 (72,4)	124 (95,4)	278 (71,6)
IV	0	0	0	0	0	2 (1,3)	70 (22,2)	1 (0,7)	54 (13,9)
V	0	0	0	0	0	1 (0,6)	2 (0,63)	0	2 (0,5)
N°	96	171	125	160	149	160	315	130	388

En la X Región, las muestras obtenidas en julio (antes del inicio de la veda) revelaron que a lo menos 19% de las hembras de sardina común se encontraban maduras, y solo 10 % en el caso de la anchoveta. Esta última especie, mostró que en septiembre aún existía actividad reproductiva (**Tabla 10**).

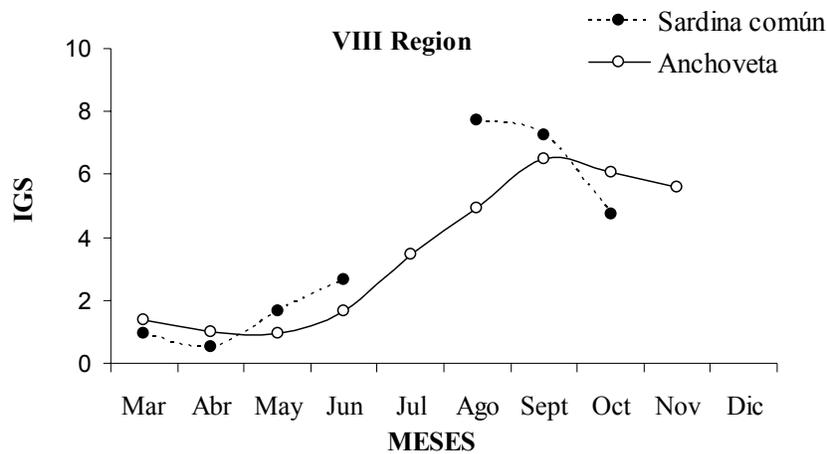
Tabla 10. Distribución del estado de madurez sexual macroscópico de sardina común y anchoveta durante el monitoreo reproductivo en la X Región en número y porcentaje (entre paréntesis).

a) Sardina común						
X Región						
EMS	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
I	0	0	0	0	0	0
II	94 (81)	0	6 (30)	111 (56,9)	15 (100)	40 (97,6)
III	22 (19)	0	14 (70)	79 (40,5)	0	1 (2,4)
IV	0	0	0	5 (2,5)	0	0
V	0	0	0	0	0	0
N°	116	0	20	195	15	41

b) Anchoveta						
X Región						
EMS	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
I	0	0	0	0	0	0
II	126 (90)	0	1 (0,9)	10 (27,7)	13 (100)	55 (88,7)
III	14 (10)	0	101 (95,3)	19 (52,7)	0	7 (11,3)
IV	0	0	3 (2,8)	7 (19,4)	0	0
V	0	0	1(0,94)	0	0	0
N°	140	0	106	36	13	62

El índice gonadosomático (IGS) promedio mensual se presenta en la **Figura 3** para ambas especies. Se observa que en los meses de marzo a junio se presentaron los valores más bajos del IGS, con tendencia al incremento a contar de junio y lograr valores máximos en agosto en sardina común, previo al cruce de evaluación; y en septiembre en la anchoveta. En efecto, la media de agosto representa valores de la primera quincena del mes, previo al cruce de evaluación, y representa en la sardina común valores altos que reflejan actividad reproductiva. En la X Región, no se pudo contar con muestras en agosto. No obstante, los valores del IGS de las muestras de septiembre indican valores altos. En consecuencia, la especie que dio inicio al cruce corresponde a la sardina común.

a) VIII Región



b) X Región

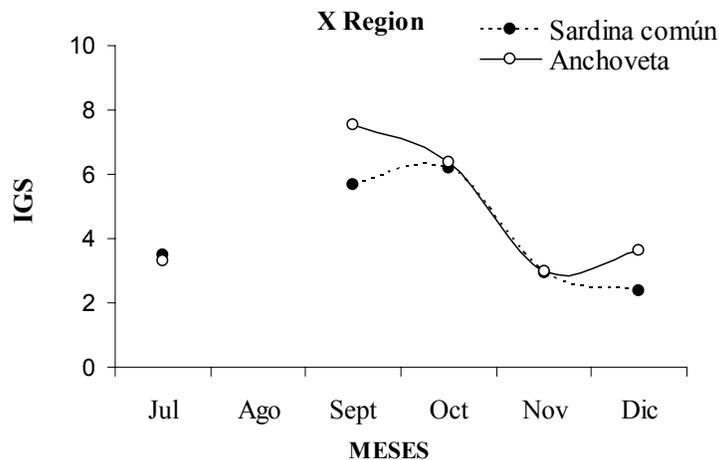


Figura 3. Evolución mensual del índice gonadosomático para ambas especies durante el periodo de monitoreo, a) VIII región y b) X región.

8.1.3. Indicadores reproductivos microscópicos

Durante el periodo del monitoreo se analizaron histológicamente un total 163 hembras sardina común, correspondiendo a un 81 % de la VIII Región durante abril –octubre y a un 19 % a la X región (solo en el mes de Julio). En el caso de la anchoveta, se analizaron de 392 hembras, correspondiendo a un 88,3 % de la VIII Región durante abril a octubre y a un 11,7 % a la X región (solo en Julio). A partir de las preparaciones histológicas realizadas se identificó y asignó los distintos estadios de madurez microscópicos. La frecuencia y porcentaje por mes de cada uno de los estadios de madurez microscópicos de la VIII Región se presenta en la **Tabla 11**, observándose en el caso de la sardina común que en junio se produjo una mayor dispersión de la frecuencia de los estadios, revelando que las hembras presentaron ovarios con desarrollo reproductivo ya que la aparición del estadio VI cobró importancia (ovocitos hidratados próximos al desove). Además, en agosto se analizaron histológicamente 22 hembras, presentando un 18,2 % de hembras en estado VIII, que indica la presencia de folículos postovulatorios y ovocitos vitelogénicos, eventualmente ovocitos próximos a la hidratación (estado V, con 13,6 %). La presencia de hembras reproductivamente activas continuó en septiembre. En el caso de la anchoveta (**Tabla 11**), entre marzo y junio se registró una gran frecuencia de hembras en condición virginal e inmaduros. De julio a septiembre hubo una mayor frecuencia en los distintos estadios, presentando principalmente gónadas en condición post-desovante de tanda (Estado VIII) y vitelado (Estado IV), para luego en octubre observar el mayor valor de hembras en estado IV (70%) y una disminución en noviembre a cerca de 40%. En la X Región, solo se contó con muestras en julio para el análisis histológico, revelando que las hembras de sardina común y anchoveta presentaban indicios de actividad reproductiva.

En las muestras de anchoveta, los estadios VIII a IX se consideran representativos de actividad de desove relacionados con la presencia folículos postovulatorios totales (FPO, sin discriminar su edad). En la VIII Región, y para el caso de la sardina común, se observó una mayor presencia de FPO en el mes de septiembre mientras que en la X Región solo se obtuvo muestras en julio. En el caso de la anchoveta, durante julio se encontró una mayor representación de FPO en la VIII Región y en la X Región (**Tabla 12**), pero también se observó una alta proporción en noviembre.

Tabla 11. Estados de madurez microscópicos (EMM) por mes, número y porcentaje (entre paréntesis) para sardina común y anchoveta.

a) Sardina común									
EMS	VIII Región								X Región
	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Julio
I	0	11 (73)	0	2 (6)	0	0	0	0	0
II	0	4 (27)	2 (66,6)	10 (28)	0	1 (4,5)	0	1 (2,9)	0
III	0	0	0	1 (3)	0	0	0	0	0
IV	0	0	1 (33,3)	10 (28)	0	14 (63,6)	3 (13,6)	20 (58,8)	19 (61)
V	0	0	0	1 (3)	0	3 (13,6)	3 (13,6)	3 (8,8)	7 (23)
VI	0	0	0	4 (11)	0	0	3 (13,6)	5 (14,7)	1 (3)
VII	0	0	0	0	0	0	1 (4,5)	0	0
VIII	0	0	0	2 (6)	0	4 (18,2)	12 (54,5)	2 (5,9)	4 (13)
IX	0	0	0	6 (17)	0	0	0	3 (8,8)	0
Nº	0	15	3	36	0	22	22	34	31

b) Anchoveta										
EMS	VIII Región								X Región	
	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Julio
I	14 (47)	47 (75)	20 (59)	7 (21)	0	0	0	0	0	0
II	3 (10)	3 (5)	11 (32)	7 (21)	1 (3)	0	0	0	0	4 (9)
III	0	0	0	7 (21)	0	0	0	0	0	4 (9)
IV	13 (43)	11 (17)	2 (6)	6 (18)	12 (32)	4 (16,7)	7 (24,1)	19 (70,4)	22 (31,9)	19 (41)
V	0	0	1 (3)	1 (3)	1 (3)	1 (4,2)	2 (6,9)	1 (3,7)	17 (24,6)	2 (4)
VI	0	0	0	0	2 (4)	5 (20,8)	19 (65,5)	1 (3,7)	15 (21,7)	2 (4)
VII	0	0	0	0	3 (8)	0	0	0	0	1 (2)
VIII	0	0	0	0	17 (45)	7 (29,2)	1 (3,5)	2 (7,4)	15 (21,7)	6 (13)
IX	0	2 (3)	0	6 (18)	2 (5)	7 (29,2)	0	4 (14,8)	0	8 (17)
Nº	30	63	34	34	38	24	29	27	69	46

Tabla 12. Foliculos postovulatorios (FPO) por mes, número y porcentaje (entre paréntesis) para sardina común y anchoveta durante el periodo de monitoreo.

a) Sardina común

FPO	VIII Región						X Región
	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Julio
0					2 (100)		
1	2 (100)		1 (25)	1 (7,7)			
2			3 (75)	12 (92,3)			4 (100)
Total	2		4	13	2		4

b) Anchoveta

FPO	VIII Región						X Región
	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Julio
0	1 (50)	5 (25)	1 (10)				1 (14,3)
1		8 (40)	4 (40)	1 (100)	1 (50)	2 (14,3)	2 (28,6)
2	1 (50)	7 (35)	5 (50)		1 (50)	12 (85,7)	4 (57,1)
Total	2	20	10	1	2	14	7

Al analizar las muestras con foliculos postovulatorios durante el monitoreo realizado se puede obtener una estimación gruesa de fracción de hembras desovantes al asumir que en los FPO totales están igualmente representados FPO de día 0, 1 y 2, pudiendo estimarse que la fracción desovante diaria de ambas especies fluctuó entre 13,9 y 18% para anchoveta y sardina común en agosto (**Tabla 13**). Para la sardina común de la VIII Región, los FPO totales se presentaron con mayor frecuencia en las muestras del mes septiembre con 59% del total de hembras, para la X Región se contó con una sola muestra por lo que no es posible

obtener conclusiones al respecto. En el caso de la anchoveta de la VIII Región, se observa los meses con mayor proporción de hembras con FPO totales fue durante julio-agosto con 53 y 42% del total de hembras en cada mes (**Tabla 13**). Para la anchoveta de la X Región ocurre una situación similar a la sardina común, ya que se obtuvo una sola muestra durante julio.

Tabla 13. Presencia de Folículos Postovulatorios totales (FPO) en las muestras del monitoreo reproductivo de anchoveta y sardina común.

VIII Región		Anchoveta			Sardina común			
Mes	FPO	Fracción	Fracción en desove*	Total	FPO	Fracción	Fracción en desove*	Total
Junio	2	0,06	0,020	34	2	0,06	0,019	36
Julio	20	0,53	0,175	38	-	-	-	-
Agosto	10	0,42	0,139	24	4	0,18	0,061	22
Septiembre	1	0,03	0,011	29	13	0,59	0,197	22
Octubre	2	0,07	0,025	27	2	0,06	0,020	34
Noviembre	14	0,20	0,068	69	-	-	-	-

X Región		Anchoveta			Sardina común			
Mes	FPO	Fracción	Fracción en desove*	Total	FPO	Fracción	Fracción en desove*	Total
Julio	7	0,15	0,051	46	4	0,13	0,043	31

*Fracción en desove = Fracción de FPO totales dividida por 3 (ver texto).

El índice de actividad de desove se presenta para la VIII Región en la **Figura 4**, desde marzo a noviembre. En el caso de la sardina común, en junio se observó un índice de actividad de desove que llegó al 50%. En julio no hubo muestras, pero el índice de actividad de desove fue bajo en agosto y se incrementó hasta 73% en septiembre, disminuyendo en octubre. En el caso de la anchoveta, se observó un aumento importante desde junio con un IAD de 30%, manifestando un máximo en agosto (IAD \approx 80%), el cual nos indica que la anchoveta se encontraba en actividad reproductiva.

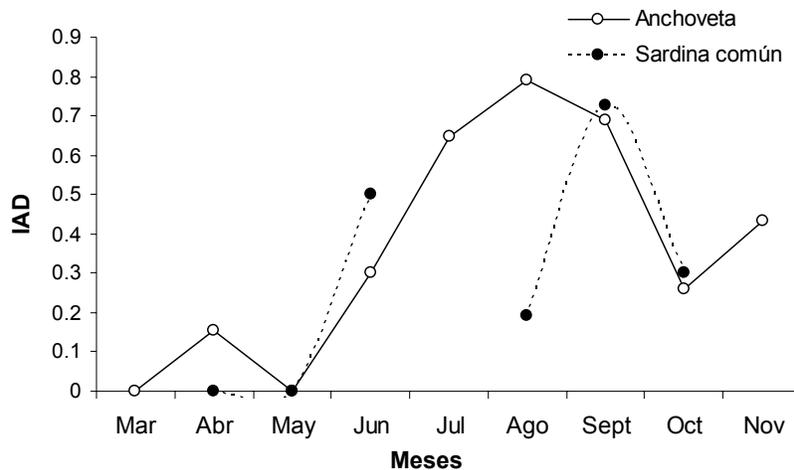


Figura 4. Índice de actividad de desove, en los meses de monitoreo reproductivo en la VIII Región.

8.1.4. Principales limitantes del monitoreo reproductivo

Las mayores limitaciones para la obtención de muestras y el eficaz desarrollo de la actividad comprometida referente al monitoreo reproductivo, en contexto del presente proyecto, estuvieron asociadas a los siguientes aspectos: a) rápido agotamiento de las cuotas de captura en el marco del régimen artesanal de extracción, con una baja disponibilidad de sardina común en las capturas de la flota; b) una alta incidencia de malas las condiciones de tiempo, lo que implicó el cierre de puerto por la Autoridad Marítima de Talcahuano durante semanas, particularmente entre mayo y julio. Se conoce que la sardina común y la anchoveta presenta su mayor actividad reproductiva entre julio y septiembre (Cubillos et al. 1999). Si analizamos este periodo, específicamente el mes de julio, las condiciones de mal tiempo imperantes, fueron del orden de 18 días lo que implicó el cierre de puerto. Sumado a esto, la medida de administración establecida, de la veda reproductiva comprendida entre la V y VIII región, desde el 21 de julio al 31 de agosto, la cual fue extendida hasta el 20 de septiembre de 2005, según el Decreto Exento N° 1051. Aunque se solicitó una pesca de investigación para poder contar con muestras, hubo un retraso administrativo para la autorización de la pesca investigación Res. Ex. N° 2517, la cual indicaba una fase de monitoreo de tres semanas, con las lanchas participantes del crucero de investigación, en la cual se pudo monitorear solo una semana (segunda semana de agosto). No obstante, con el conjunto de indicadores macroscópicos y de ictioplancton (ver punto 9.2), se pudo tomar la decisión de ejecutar el crucero de investigación prácticamente una semana después de la muestra obtenida en agosto, y basada en anchoveta principalmente.

8.2. Monitoreo reproductivo de huevos

El monitoreo planctónico realizado en la VIII Región, específicamente en la zona comprendida entre la Bahía Concepción y la desembocadura del Río Itata, comenzó en mayo y de forma quincenal. La abundancia promedio de huevos en los días efectivos de monitoreo se muestra en la **Figura 5**. En la anchoveta, se observó un aumento de la abundancia de huevos el 15 de junio, con alrededor de 540 h/100 m³, no obstante se observa un pico muy importante el día 27 de julio, con alrededor un promedio de 2815 h/100 m³. Cabe destacar, además la gran desviación estándar que presenta ese día, esto debido la alta abundancia presentada en una muestra, (6500 h/100m³). Luego de este máximo, comienza a disminuir al abundancia promedio, pero el día 13 de octubre, presenta un incremento de 980 h/100m³.

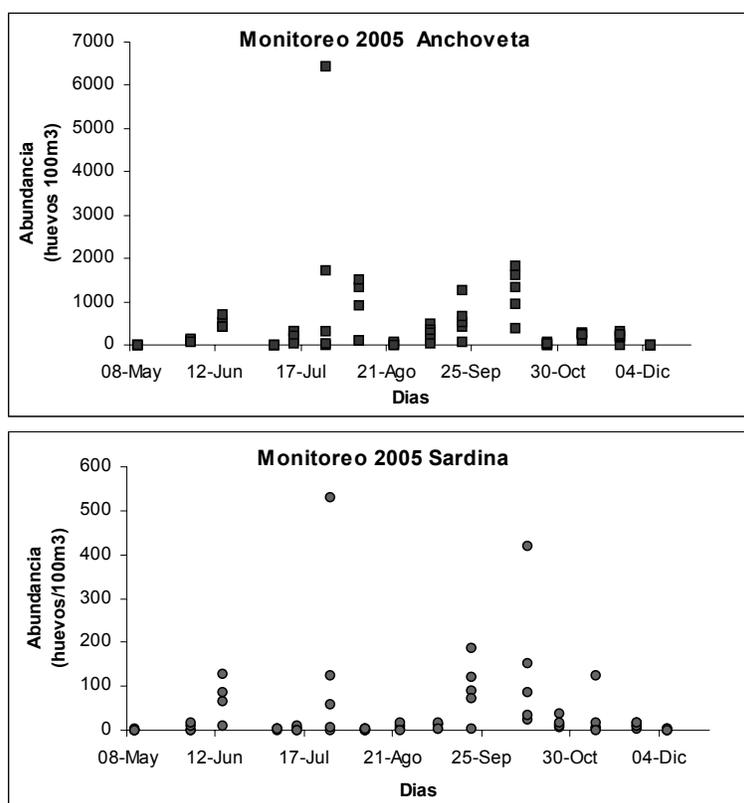


Figura 5. Serie de tiempo de la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común en las muestras de monitoreo ictioplancton realizado entre la Desembocadura del Río Itata y Bahía Coliumo, VIII Región.

En el caso de la sardina común, se observó una abundancia de huevos más baja respecto a la anchoveta, pero con un similar patrón de comportamiento, en cuanto a que se presenta el día 15 de junio y el día 27 de julio específicamente con una abundancia promedio de 230 h/100m³. Luego de este máximo,

disminuye la abundancia a valores muy bajos alrededor de $5 \text{ h}/100\text{m}^3$, presentando un leve incremento de $70 \text{ h}/100\text{m}^3$ el día 13 de octubre.

La serie de tiempo de abundancia de huevos se modeló con Modelos Aditivos Generalizados (GAM), utilizando los días transcurridos desde el 1° de enero como variable independiente y el mes como factor. Este modelo explicó satisfactoriamente los datos, en el caso de la anchoveta explicó 62,5 % de la devianza y en el caso de la sardina común el 61,3 % de la devianza (**Figura 6**). El patrón de desove indica una alta abundancia de anchoveta a fines de julio y durante agosto, mientras que en el caso de la sardina común se incrementó desde fines de julio hasta fines de octubre en forma continua (**Figura 6**).

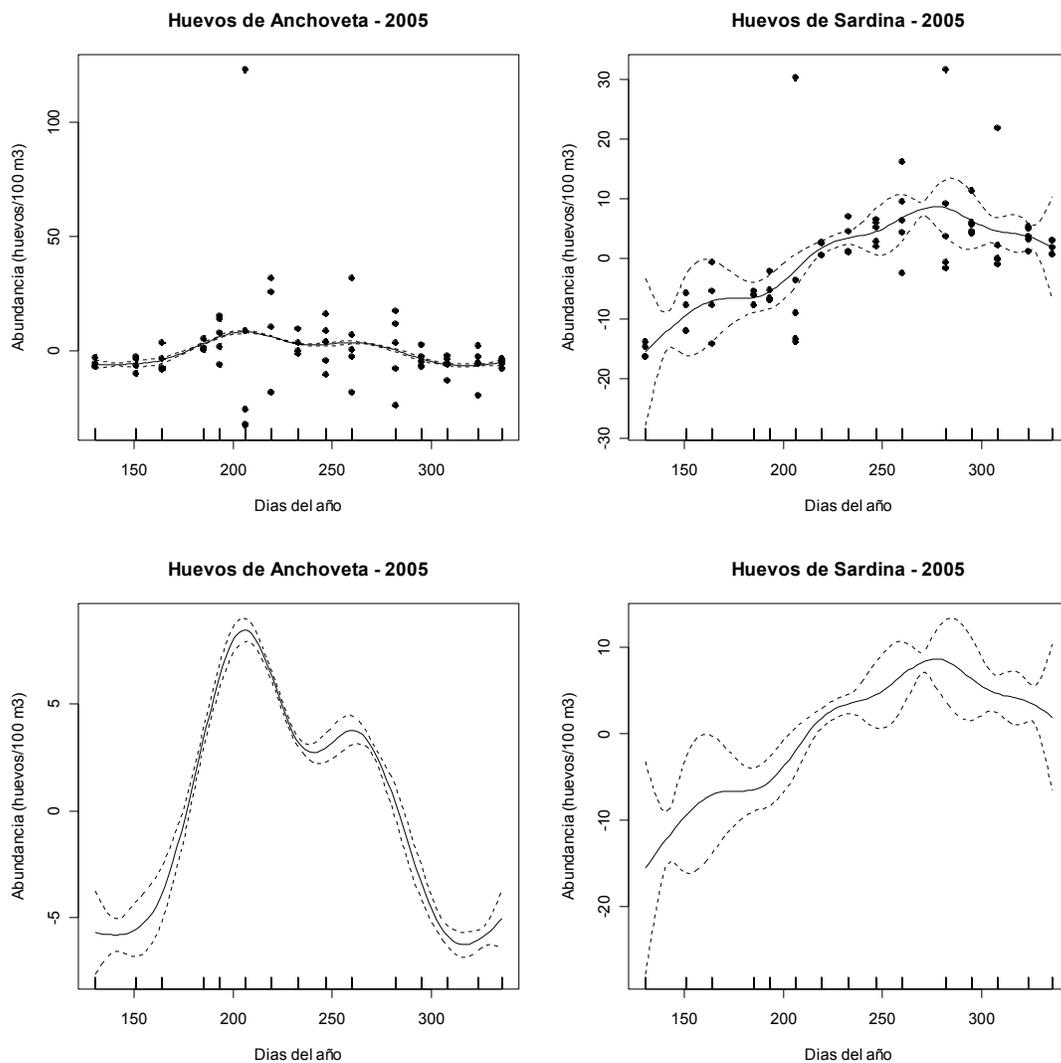


Figura 6. Patrón de desove de anchoveta y sardina común según modelo GAM, familia poisson y enlace log. El día 200 representa fines de julio, 260 al 21 de septiembre, 300 a fines de octubre.

8.3. Distribución y abundancia de huevos de anchoveta y sardina común

8.3.1. Estaciones con presencia de huevos

Del total de 288 estaciones de la grilla regular en que se realizó muestreo con red Pairovet, 109 estaciones presentaron huevos de anchoveta, lo que representa un 37,8% del total, y 40 estaciones presentaron huevos de sardina común, que corresponden a un 13,8 % del total de estaciones muestreadas (**Tabla 14**). En el Sector Norte, hay completa ausencia de huevos de sardina común, de igual forma que los años anteriores de estudio (FIP 2003-06 y FIP 2004-3). En el caso de la anchoveta, presentó 7 estaciones positivas en esta zona, lo que representa un 38,9% de 18 estaciones totales. Esto a diferencia del año 2004 (FIP 2004-03) que no existieron muestras con presencia de huevos. En el Sector Centro se realizaron 130 estaciones, de las cuales 39 fueron estaciones positivas de anchoveta, correspondiendo a un 30% de las estaciones totales. Sin embargo, la sardina común presentó un muy bajo número de estaciones positivas (de 130 estaciones solo 4 fueron positivas, evidenciando solo 3,1 %). En el Sector Sur, se realizaron 140 estaciones de las cuales solo un 45% de estaciones son positivas de anchoveta (correspondiendo a 63 estaciones positivas) y 25,7% de estaciones son positivas para sardina común (correspondiendo a 36 estaciones positivas).

Tabla 14. Número de estaciones totales por sector, estaciones con huevos de anchoveta y sardina común y el porcentaje que representan las estaciones con huevos de cada especie del total de estaciones muestreadas por sector.

Sector	Estaciones totales	Anchoveta		Sardina común	
		Estaciones positivas	%	Estaciones positivas	%
Norte	18	7	38,9	0	0
Centro	130	39	30,0	4	3,1
Sur	140	63	45,0	36	25,7
Total	288	109	37,8	40	13,8

8.3.2. Abundancia de huevos

La anchoveta presentó abundancias de huevos en los tres sectores, con un total de 6740 huevos/0.05 m², de los cuales un 0,8% (55 huevos/0.05 m²) fueron colectados en sector norte, un 27,1% (1828 huevos/0.05 m²) en el sector central y un 72,1% (4857 huevos/0.05 m²) en el sector sur. En el caso de la sardina común sólo presentó abundancias de huevos en el sector centro y sur, con un total de 1111 huevos/0.05 m², correspondiendo a un 0,9 % (10 huevos/0.05 m²) y 99,1% (1101 huevos/0.05 m²). Se evidencia un incremento importante en la abundancia de huevos en el Sector Sur para ambas especies.

El promedio de huevos de anchoveta por estación, considerando tanto el total de estaciones por sector (positivas y negativas) como el promedio en sólo las estaciones positivas, tendió a ser mayor hacia el sector sur (**Tabla 15**). De igual modo las máximas abundancias de huevos de anchoveta por estación fueron registradas en el sector sur (1263 huevos/0.05 m²).

En el caso de la sardina común, el promedio de huevos por estación, considerando tanto el total de estaciones por sector como solo las estaciones positivas en cada sector también tendió a ser mayor hacia el sector sur (**Tabla 15**). Las máximas abundancias de huevos de sardina común por estación también ocurrieron en el sector sur (334 huevos/0.05 m²).

Tabla 15. Número total de huevos de anchoveta y sardina común por sector, promedio (y desviación estándar) de huevos considerando el número total de estaciones y considerando sólo las estaciones positivas, y máxima abundancia de huevos por estación (huevos/0,05 m²) en cada sector.

ANCHOVETA							
	Suma	Promedio Total estaciones	SDESV Total estaciones	Promedio Estaciones Positivas	SDEV Estaciones Positivas	Máxima abundancia	Mínima abundancia
Norte	55	3,1	6,6	7,9	8,9	27	0
Centro	1828	14,1	95,6	46,9	171,1	1025	0
Sur	4857	34,7	129,4	77,1	185,0	1263	0
SARDINA COMUN							
	Suma	Promedio Total estaciones	SDEV Total estaciones	Promedio Estaciones Positivas	SDEV Estaciones Positivas	Máxima abundancia	Mínima abundancia
Norte	0	0	-	0	-	0	0
Centro	10	0,1	0,5	2,5	1,9	5	0
Sur	1101	7,9	33,1	30,6	60,3	334,0	0

8.3.3. Distribución de huevos

La distribución de huevos de anchoveta fue latitudinalmente mucho más amplia que la de sardina común. Mientras los huevos de anchoveta se ubicaron desde los 33°S hacia el sur, los de sardina común fueron detectados sólo al sur de los 36°14'S. En el extremo sur del área de muestreo, los huevos de ambas especies fueron colectados hasta en la última transecta (41°19'S).

En el sector norte, los huevos de anchoveta ocurrieron en baja abundancia y, con la excepción de una estación a los 33°25'S, en abundancias relativamente similares y en la zona costera (**Figura 7**). En el sector centro, los huevos de anchoveta se ubicaron prácticamente en la zona costera de todas las transectas pero aumentando progresivamente sus abundancias hacia el sur. De norte a sur, los centros con mayores abundancias coincidieron con los reportados históricamente (agregaciones entre Punta Nugurne y Constitución (35°30'S), en la zona costera entre Bahía Concepción y la desembocadura del Río Itata (36°30'S), y dentro del Golfo de Arauco (37°S). En el sector sur, la mayor y más extensa agregación de huevos de anchoveta se ubicó entre los 38°20' S y los 39°40'S (zona históricamente de mayor abundancia de huevos), extendiéndose desde la zona costera hasta el borde de la plataforma continental en una transecta. En el área más al norte de este sector sur (frente a Lebu), zona no muestreada en años anteriores, hubo huevos pero en bajas concentraciones. En el sector al sur de Corral, también se detectaron huevos de anchoveta pero pegados a la costa y también en bajas abundancias.

En el sector centro, los huevos de sardina común fueron muy poco abundantes y ocurrieron espaciadamente junto a la costa o en bahías (Ba. Concepción, Golfo de Arauco). No hubo una zona de agregación de huevos de sardina común en el sector centro, a diferencia de años anteriores (coincidentes con los de anchoveta). En el sector sur, sin embargo, la distribución de huevos de sardina común coincide con la de los huevos de anchoveta, esto es, una zona de agregación entre los 38°20'S y los 39°40'S, y bajas abundancias tanto en el límite norte (Lebu) como el límite sur (hasta los 41°20'S).

(**Figura 8**).

8.3.4. Limitaciones del Crucero de huevos.

El 12 de julio de 2005, se publicó en el Diario La Nación, el llamado a participar en la pesca de investigación de anchoveta y sardina común en periodo de veda por el Proyecto FIP 2005-02. En dicha publicación se solicita una nave industrial, con pesca vigente a las especies en estudio, con una autonomía de 10 a 12 días para desarrollar el crucero de huevos en la zona sur (37°22'S al 41°19'S), según el diseño de estudio. A este llamado no se presentó ninguna nave con estas características, por lo cual se tuvo que recurrir a naves artesanales (*Don Leonel, Margarita del Mar y Ebenezer II*), lo cual implicó un mayor esfuerzo por parte del personal de muestreo, la adecuada distribución del material utilizado (redes y CTD) y por ende un mayor gasto por conceptos de seguros (personal y materiales). Además, la ocurrencia de frentes de mal tiempo durante el crucero de evaluación fueron determinantes en no poder completar algunas de las transectas establecidas en el diseño, básicamente por seguridad en la navegación.

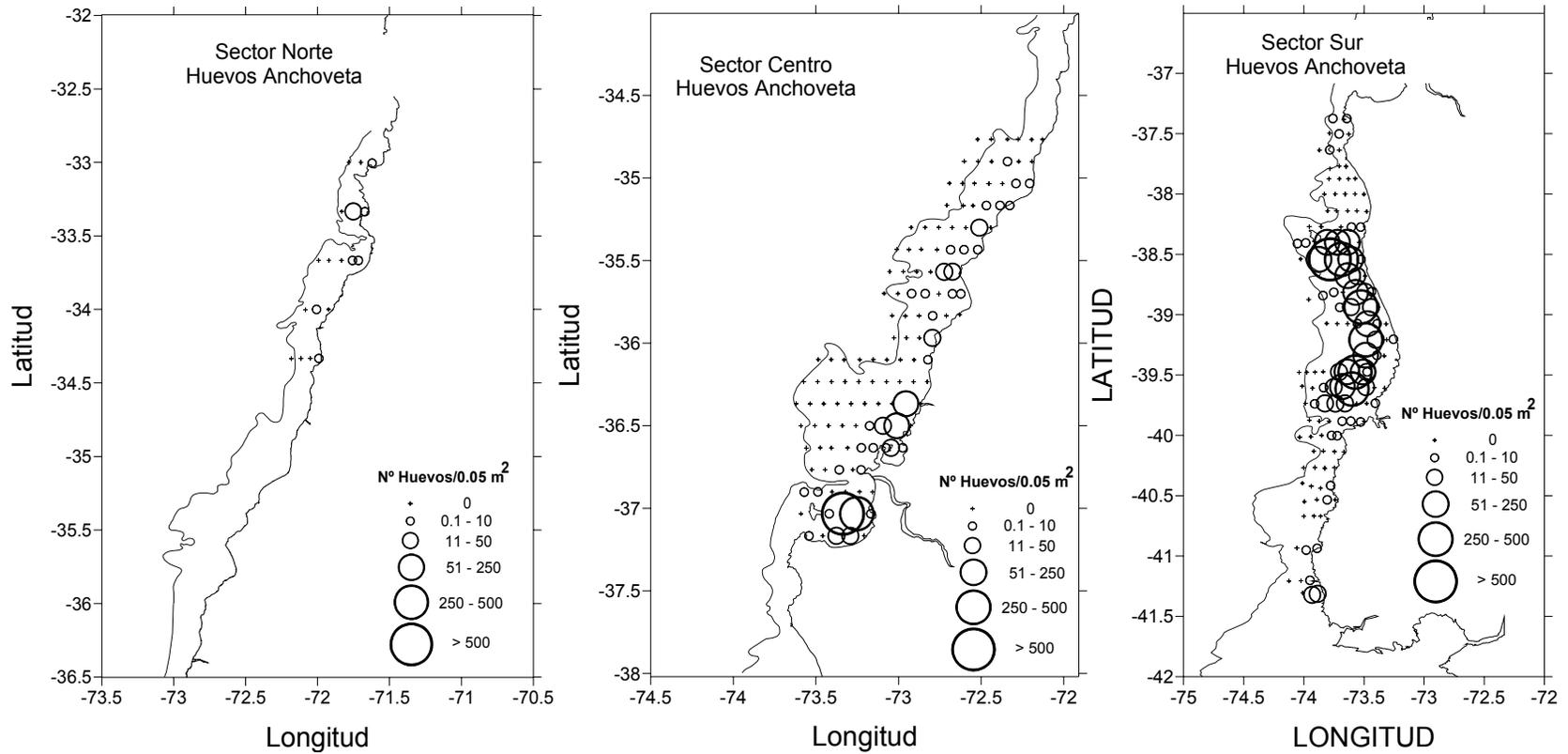


Figura 7. Distribución de huevos de anchoveta en los sectores norte, centro y sur.

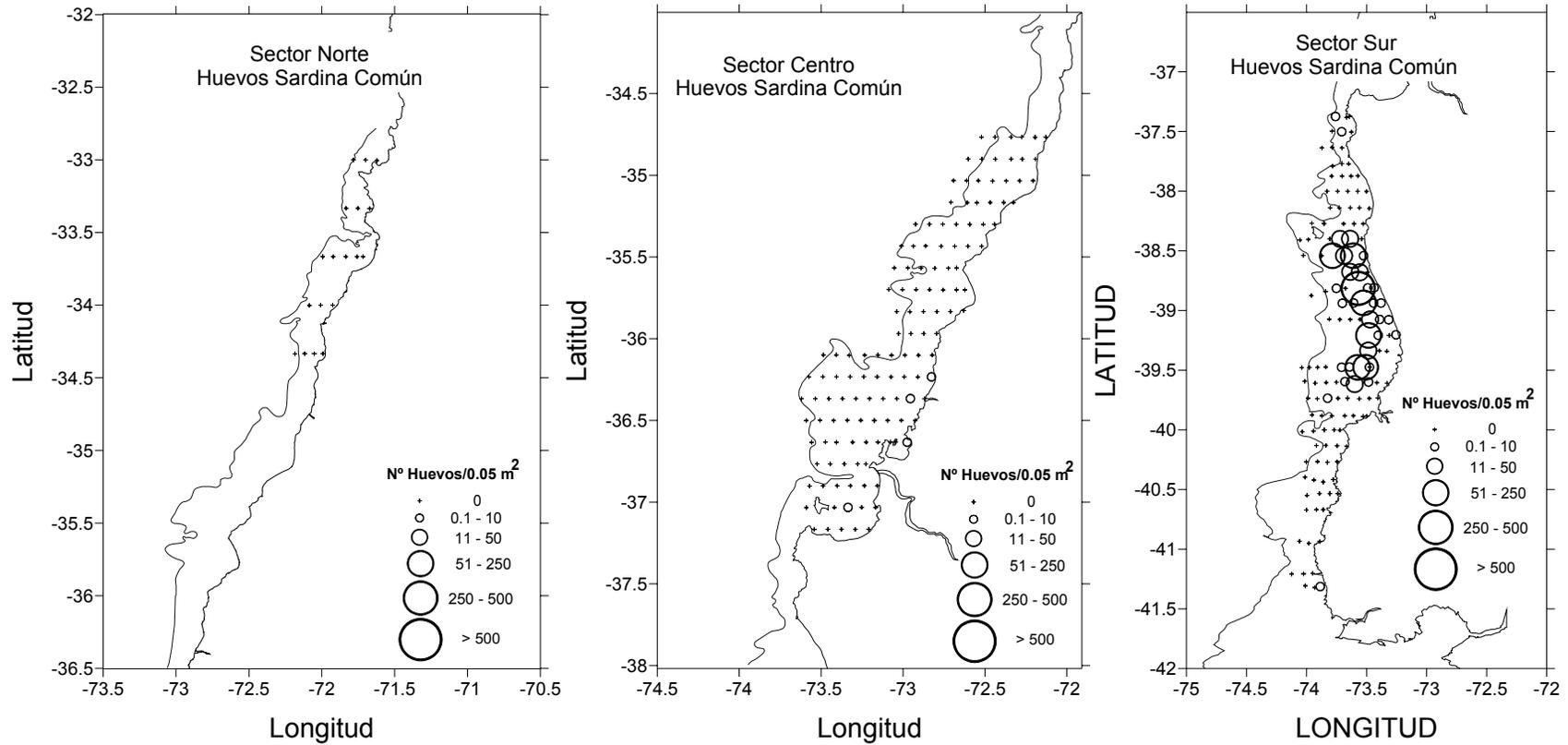


Figura 8. Distribución de huevos de sardina común en los sectores norte (ausentes), centro y sur.

8.4. Crucero de adultos

8.4.1. Distribución espacial de los lances de pesca

La distribución espacial de los lances de pesca positivos se presenta en la **Figura 9** para anchoveta y sardina común, respectivamente. La distribución espacial de los lances de pesca, indicaron que las agregaciones de anchoveta y sardina común se detectaron en tres sectores: a) Desembocadura del río Itata ($36^{\circ}15'S - 36^{\circ}30'S$), b) Bahía de Concepción – Golfo de Arauco ($36^{\circ}35'S - 37^{\circ}15'S$), y c) entre Toltén y en Punta Galera ($39^{\circ}20'S - 40^{\circ}00'S$) (**Figura 9**). En términos generales, las pescas fueron costeras, al interior de las 5 millas náuticas.

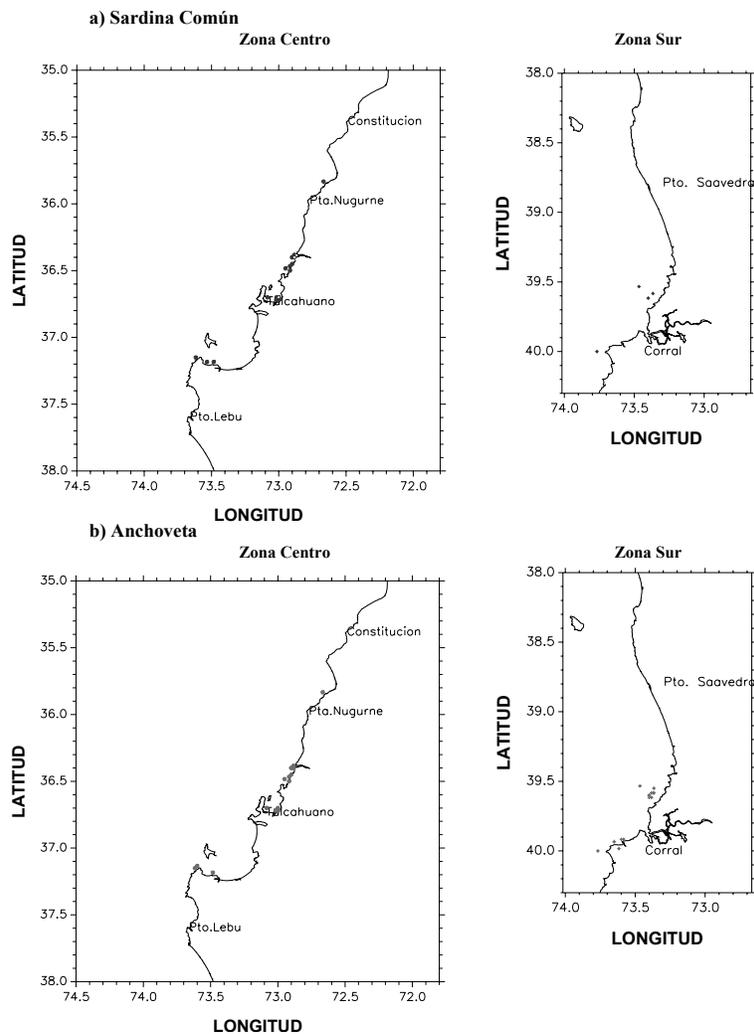


Figura 9. Distribución espacial de lances de pesca positivos de a) sardina común y b) anchoveta, 24 de agosto - 11 de septiembre de 2005.

8.4.2. Frecuencia de tamaños

El crucero de adultos determinó la composición por longitudes de 6.526 ejemplares de anchoveta, con un rango comprendido entre 7 y 18,0 cm de longitud total (LT). Del total, 3.639 fueron machos y 2.887 hembras, cuya distribución por tamaño se muestra en la **Figura 10**, y talla media y estadísticos de dispersión en la **Tabla 16**. En el caso de la sardina común, se obtuvo un total de 4.601 ejemplares en un rango comprendido entre 7 y 16,5 cm LT. Del total de ejemplares 2.589 fueron machos y 2.012 hembras con similar rango de tamaño.

Tabla 16. Longitud promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y número de ejemplares de sardina común y anchoveta por zona, sexo y total, 24 de agosto-11 de septiembre.

Zona		Sardina común			Anchoveta		
		Machos	Hembras	Total	Machos	Hembras	Total
Centro	Promedio	11,4	11,4	11,4	12,6	11,7	12,3
	DS	1,645	1,778	1,706	1,887	1,609	1,803
	CV	0,144	0,156	0,149	0,150	0,137	0,146
	N	2392	1870	4262	2779	1894	4673
Sur	Promedio	11,5	11,9	11,6	13,7	13,9	13,8
	DS	0,758	0,732	0,771	1,566	1,693	1,638
	CV	0,066	0,062	0,066	0,114	0,122	0,119
	N	197	142	339	860	993	1853
Total	Promedio	11,4	11,5	11,4	12,8	12,6	12,7
	DS	1,595	1,729	1,657	1,878	1,867	1,881
	CV	0,139	0,151	0,145	0,146	0,148	0,148
	N	2589	2012	4601	3639	2887	6526

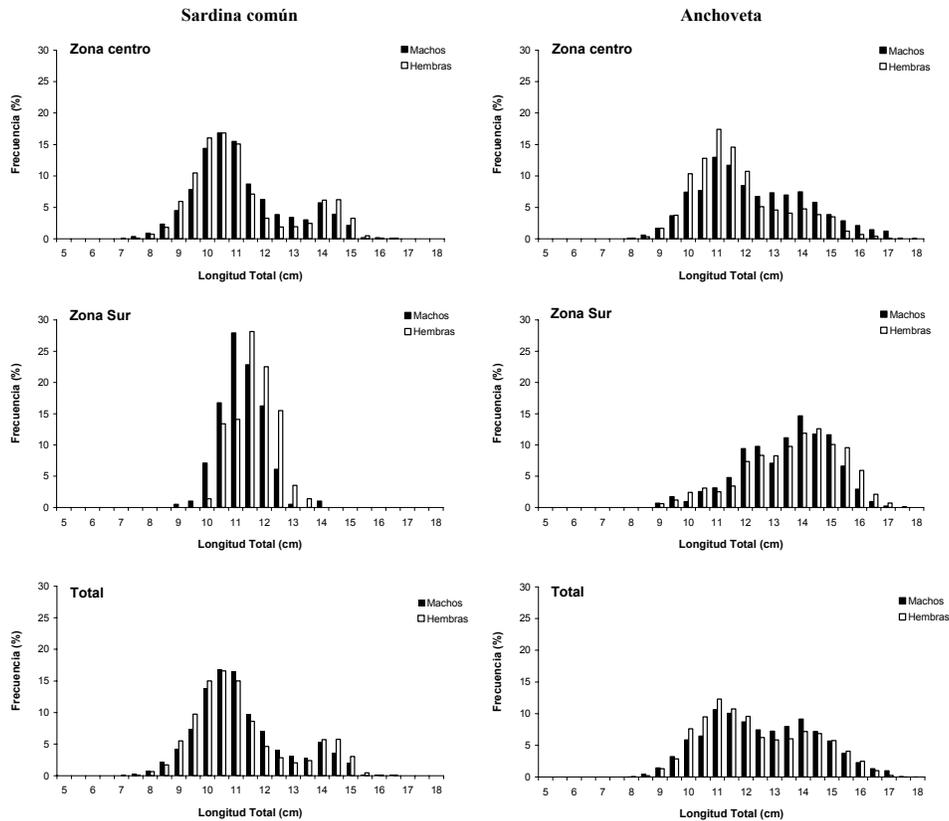


Figura 10. Frecuencia de longitudes (%) de sardina común (izquierda) y anchoveta (derecha) en el crucero de adultos. 24 de agosto – 11 de septiembre 2005.

8.4.3. Limitaciones del Crucero de adultos.

El muestreo de adultos contemplado, visitó solo sectores cercanos a los puertos importantes, es decir, la zona centro implica la Bahía de Concepción y Golfo de Arauco, mientras que el sector sur implica el área frente a Corral. Esto se debe a que las embarcaciones artesanales utilizadas para este objetivo no cumplen con los requisitos mínimos de autonomía para visitar zonas tan alejadas de los puertos bases, aún así se visitó las zonas extremas: Desembocadura del Itata y Punta Galera, con un bajo éxito de pesca. Si bien, en la zona centro se realizaron casi la totalidad de lances estipulados, en la zona sur, no ocurrió así, debido al mal tiempo imperante durante los días de desarrollo del crucero. Sin embargo, se contempló un número suficiente de muestras en términos de lances y de ejemplares para reducir la variabilidad inter-lances. En el taller de discusión del FIP 2004-03, se recomendó implementar y utilizar una nave industrial, que cumpla con los objetivos propuestos. La idea principal es que el crucero de adultos también cubre zonas más alejadas, por fuera de las 5 millas náuticas de la zona de desove. Esta fue una limitante importante el no contar con una nave industrial que realizara pesca, particularmente en la IX Región.

8.5. Objetivo 1: Producción diaria de huevos, mortalidad y varianza asociada

El número de huevos por estadios de desarrollo se presenta en la **Figura 11**, observándose en el caso de la anchoveta una mayor abundancia del estadio II, IV, V y VI, básicamente debido a una mayor contribución de la abundancia de huevos en el sector sur para esos estadios. En caso de la sardina común, la abundancia de huevos fue baja, con una mayor contribución de los estadios I, y IV-VI provenientes del sector sur. En esta especie hubo una gran cantidad de huevos desintegrados, y la abundancia del estadio I ocurrió en una estación con 275 huevos por 0,05 m² a las 22:00 horas, que corresponde a la hora de desove asumida.

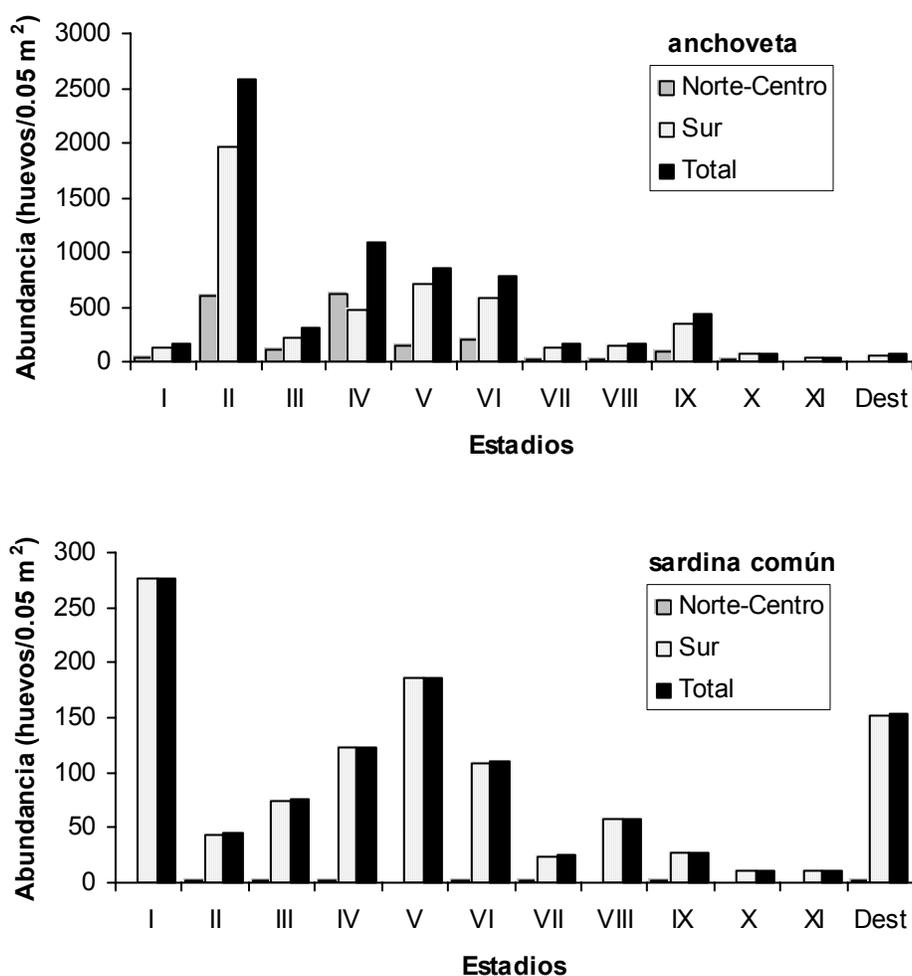


Figura 11. Número de huevos por estadio de desarrollo y zona de anchoveta y sardina común (21 de agosto – 22 de septiembre, 2005).

En relación con la estimación de la producción diaria de huevos, en la **Figura 12** se muestra la abundancia de huevos de anchoveta por edad y zona. En estos gráficos, se descartó las edades menores de 4 horas por reclutamiento incompleto y también las edades mayores al 90% de eclosión. En la zona norte y centro, se observa una menor abundancia de huevos que en el sector sur del área de estudio, pero con rango de edades similar. En la zona sur, la abundancia más alta fue debida a cohortes de medio día con más de 100 huevos/0,05 m²). Esta abundancia, así como aquellas más altas observadas en la zona norte y centro, podrían incidir en la precisión de la estimación de la producción diaria de huevos.

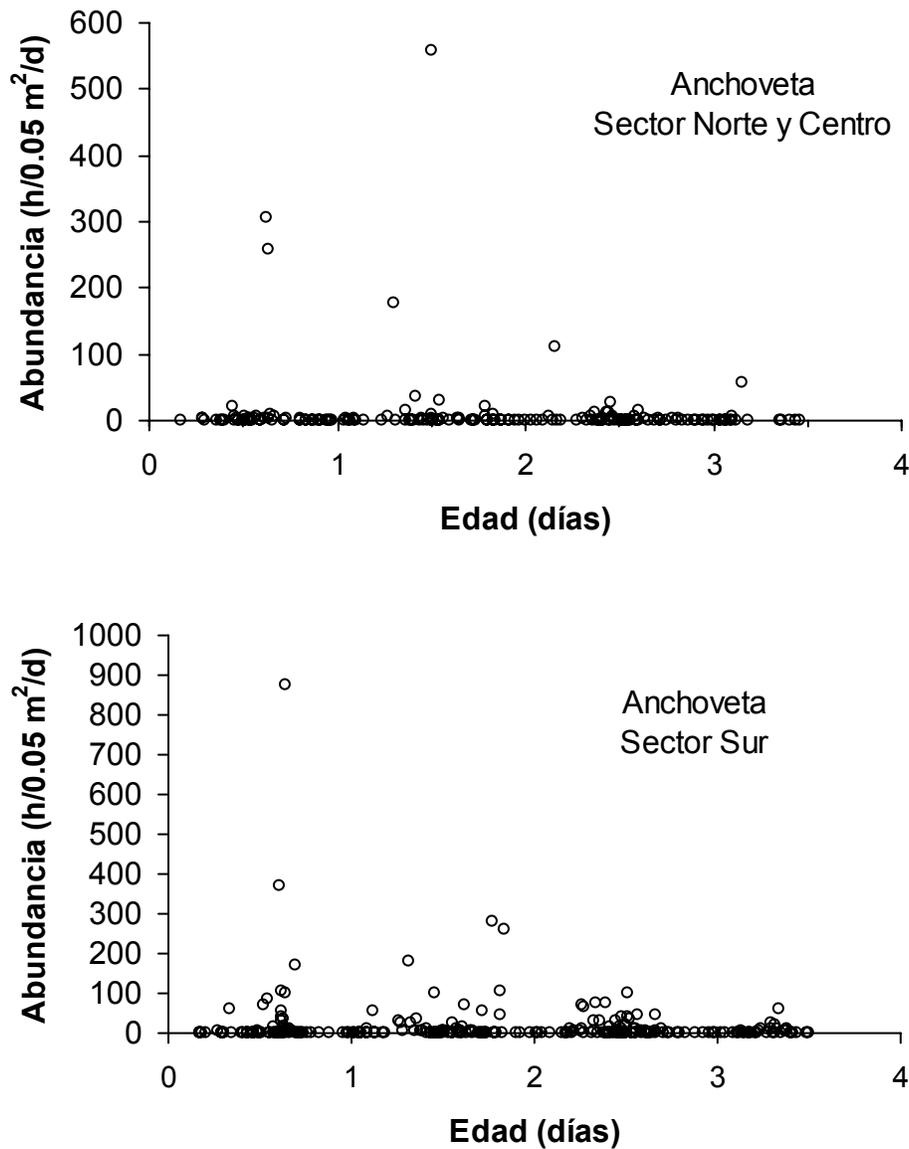


Figura 12. Abundancia de huevos de anchoveta en función de la edad por zona.

En la sardina común, la baja abundancia de huevos observada en el sector centro no permite una estimación independiente de la producción diaria de huevos para dicha zona. De acuerdo con las recomendaciones del Taller de Discusión de Resultados (Anexo A), la producción diaria de huevos se estimó combinando los datos de la zona centro y sur (**Figura 13**).

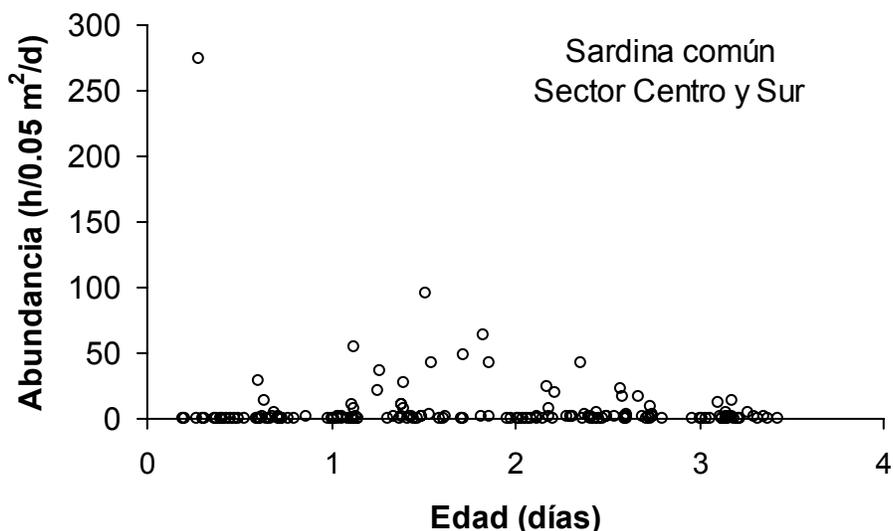


Figura 13. Abundancia de huevos de sardina común en función de la edad.

Las estimaciones finales de producción diaria de huevos para cada especie se resumen en la **Tabla 17**. En el caso de la anchoveta, se estimó una producción diaria de 17,87 huevos/día/0,05 m² (CV = 65,3%) para la zona norte y centro, y de 31,29 huevos/día/0,05 m² (CV = 39,0%) para el sector sur, permitiendo un estimado total de 25,56 huevos/día/0,05 m² para el área positiva (CV = 33,6 %). Al llevar este estimado al área total de estudio se tiene un $P_0 = 11,01$ huevos/día/0,05 m², i.e. $71,66 \times 10^{11}$ huevos por día. En el caso de la sardina común, la estimación de P_0 fue de 15,77 huevos/día/0,05 m² para las zonas centro y sur en conjunto, con un coeficiente de variación de 46,5%. El estimado para el área total del crucero es de 2,39 huevos/día/0,05 m², lo que implica una producción diaria de huevos de $15,54 \times 10^{11}$ huevos por día.

La tasa de mortalidad diaria de los huevos de anchoveta fue estimada en $0,38 \text{ d}^{-1}$ para la zona norte y centro (CV = 120%), y en $0,37 \text{ d}^{-1}$ para la zona sur (CV = 74 %). La estimación combinada fue de $0,38 \text{ d}^{-1}$ y CV = 67%. En la sardina común, la tasa de mortalidad diaria fue estimada en $0,53 \text{ d}^{-1}$ (CV = 70%).

Tabla 17. Area total, área positiva y estimación de la producción diaria de huevos por especie y sector, varianza y coeficiente de variación (CV).

Especie	Sector	Area	Area	P_0	Varianza	CV
		total de estudio (km ²)	positiva (A ₁) (km ²)			
Anchoveta	Centro	18.368	5.982	17,87	136,1	0,653
	Sur	14.156	8.036	31,29	148,9	0,390
	Total	32.523	14.018	25,56	73,7	0,336
Sardina común Total		32.523	4.929	15,77	53,8	0,465

Las estimaciones de P_0 mediante regresión no-lineal ponderada por el inverso de la varianza (**Tabla 18**), indican en el caso de la anchoveta valores de 22,47 huevos/día/0,05 m² para el sector norte y centro (CV = 66,5%) mientras que para el sector sur fue de 36,76 huevos/día/0,05 m² (CV = 46,3 %), reduciendo sólo marginalmente la varianza pero con un incremento en el valor de la producción diaria de huevos en el área positiva (30,09 huevos/día/0,05 m², Var(P_0) = 143,52; CV = 39,8%). Lo mismo ocurrió con la sardina común.

Tabla 18. Area total, área positiva y estimación de la producción diaria de huevos por especie y sector, varianza y coeficiente de variación (CV), con regresión no lineal ponderada.

Especie	Sector	Area	Area	P_0	Varianza	CV
		total de estudio (km ²)	positiva (A ₁) (km ²)			
Anchoveta	Centro	18.368	5.982	22,47	223,50	0,665
	Sur	14.156	8.036	36,76	289,68	0,463
	Total	32.523	14.018	30,09	143,52	0,398
Sardina común Total		32.523	4.929	18,29	103,22	0,555

8.5.1. Incorporación de larvas con saco vitelino en la estimación de P_0

La estimación de la producción diaria de huevos (P_0) de anchoveta utilizando solamente la abundancia de huevos reveló un coeficiente de variación de 33,6 % (**Tabla 17**). Al incorporar la producción de larvas con saco vitelino, se incrementa el rango de edades durante el desarrollo embrionario de anchoveta (**Figura 14**). Sólo se incorporó las larvas con saco vitelino en el área positiva (de desove) determinada para los huevos, descartándose la abundancia de larvas fuera de dicha zona. Al incorporar las larvas con saco vitelino se logró una estimación más precisa de la producción diaria de huevos (CV=30,6%, **Tabla 19**).

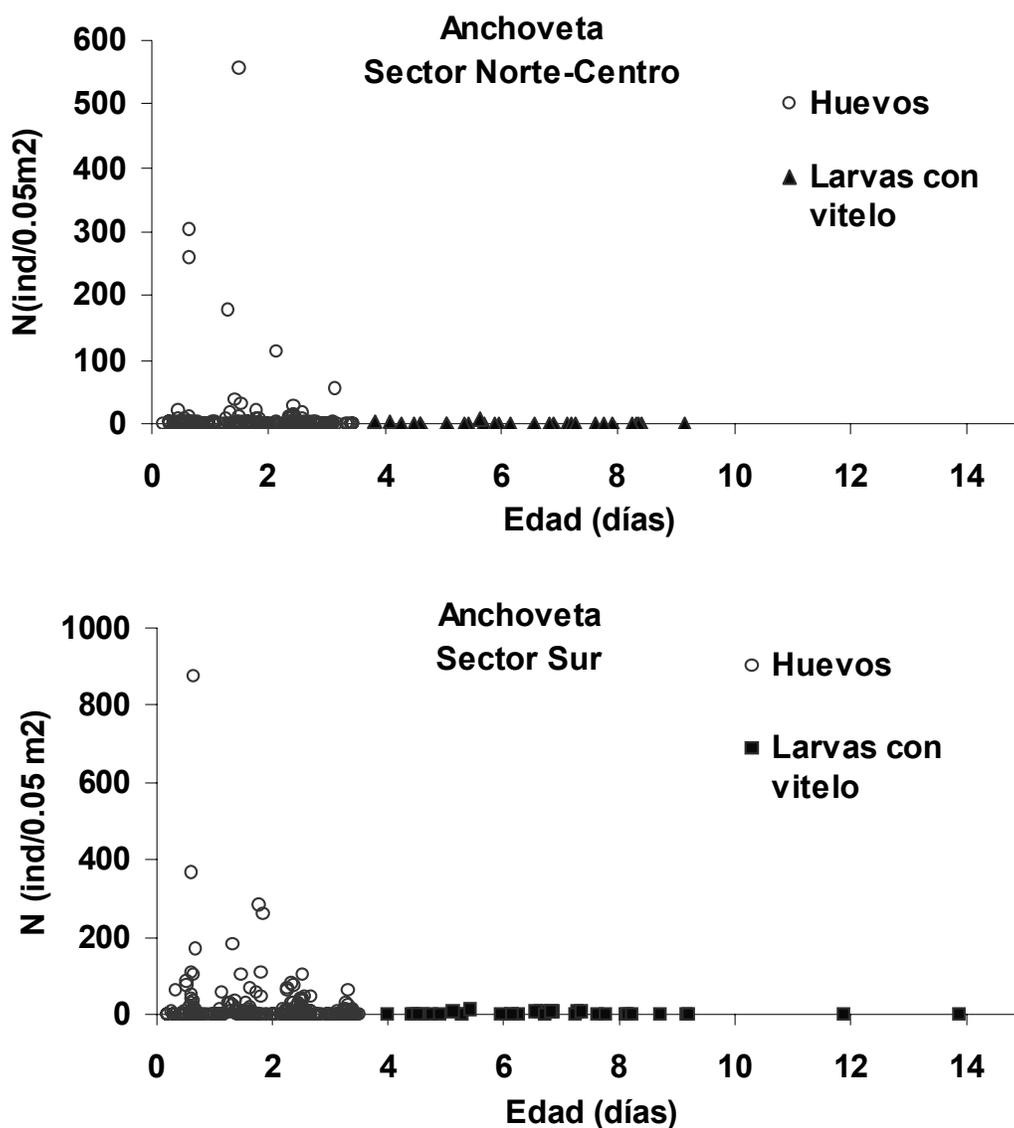


Figura 14. Producción de huevos y larvas con saco vitelino de anchoveta en el sector centro y sur.

Al incorporar la producción de larvas con saco vitelino, se logró además una estimación más precisa de la tasa de mortalidad embrionaria diaria de anchoveta. La mortalidad diaria de huevos de anchoveta fue de $0,38 \text{ d}^{-1}$ en el sector centro ($\text{CV} = 120,6\%$) y de $0,37 \text{ d}^{-1}$ para el sector sur ($\text{CV} = 74,7 \%$). En cambio, al agregar las larvas con saco vitelino la tasa de mortalidad embrionaria fue de $0,40 \text{ d}^{-1}$ ($\text{CV} = 102,5 \%$) para el sector centro y de $0,38 \text{ d}^{-1}$ ($\text{CV} = 65,5 \%$) para el sector sur. El estimado total ponderado de la mortalidad diaria embrionaria fue de $0,39 \text{ d}^{-1}$ ($\text{CV} = 58 \%$).

Tabla 19. Area total, área positiva y estimación de la producción diaria de huevos (P_0) para la anchoveta incorporando la producción de larvas con saco vitelino a la curva de mortalidad embrionaria por sector, varianza, $\text{Var}(P_0)$, y coeficiente de variación (CV).

Especie	Sector	Area total de estudio	Area positiva (A_1)	P_0	Varianza	
		(km ²)	(km ²)	(h/d/0,05 m ²)	$\text{Var}(P_0)$	CV
Anchoveta	Centro	18.368	5.982	18.054	113.250	0.589
	Sur	14.156	8.036	31.505	126.27	0.357
Total		32.523	14.018	25.765	62.124	0.306

El objetivo de estas estimaciones pretendía demostrar que al incorporar las larvas con saco vitelino se logra una reducción importante en la varianza asociada con la producción diaria de huevos y tasa de mortalidad total embrionaria, resultado que ya había sido demostrado para la anchoveta de la zona centro-sur por Riquelme et al. (2004). Para el caso de la sardina común aún no se cuenta con un modelo de desarrollo temperatura-dependiente para las larvas con saco vitelino, razón por la cual se sugiere iniciar las acciones para contar con esta aproximación metodológica que permite una mejoría de la producción de huevos en términos de la precisión del estimado.

8.5.2. Producción diaria de huevos con modelos recientes

A partir de datos disponibles de experimentos de incubación (Sepúlveda et al. 2000), se intentó modelar el desarrollo de huevos en función de la temperatura y los estadios morfológicos de los huevos durante la embriogénesis. Los huevos de sardina común y anchoveta fueron colectados de muestras del plancton diarias tomadas por la noche y cerca de la orilla en Coliumo Bay (36°32'S-72°57') durante septiembre-octubre de 1999 usando una red WP2 (0.6 diámetro, 0.33 tamaño de malla de mm). En el laboratorio, los huevos fueron separados e identificados sobre la base de los 11 estadios de desarrollo, e incubados a temperatura constante entre 10 y 17 °C. Un promedio de 30 huevos de anchoveta y 10 de sardina común fueron colocados en recipientes esterilizados de 20 ml con agua de mar filtrada (0.5 µm). El sistema de incubación fue localizado en un cuarto aislado, con fotoperiodo controlado automáticamente y temperatura ambiental constante. Tres sistemas de baños termo-regulados que consistieron de un recipiente circular de 20 litros de capacidad con agua de mar y termoreguladores marca Haake (modelos C1 o C10) fueron utilizados en la incubación de los huevos.

Para la sardina común la incubación se realizó a 10, 11.5, 13, 15, 16 y 17 °C, mientras que los huevos de anchoveta fueron incubados a 11, 15, 16 and 17 °C utilizando varias réplicas. El desarrollo embrionario fue vigilado regularmente cada dos o tres horas durante el desarrollo total a cada temperatura. Debido a que los huevos fueron colectados del plankton, la mayoría de de los estadios de desarrollo comenzó en el estadio III. Los programas "egg" y "eggsplore" para R fueron utilizados para establecer el modelo de desarrollo temperatura-estadio dependiente. Los programas fueron facilitados por el Dr. Miguel Bernal (Instituto Español de Oceanografía), y se encuentran disponibles en el sitio de Internet <http://sourceforge.net/projects/ichtyoanalysis>.

Los resultados obtenidos para el modelo de Lo (1985), se muestran en las **Figuras 15 y 16** para anchoveta y sardina común, respectivamente. El modelo para la anchoveta fue:

$$Y_{D,T} = 19.39 \times \exp(-0.0876 \times T - 0.0557 \times D) \times D^{1.346}$$

y para sardina común el siguiente:

$$Y_{D,T} = 15.21 \times \exp(-0.0593 \times T - 0.0192 \times D) \times D^{1.038}$$

donde $Y_{D,T}$ es la edad (hours) de los huevos en función del estadio de desarrollo (D) y la temperatura (T). Los coeficientes de ambos modelos fueron significativos ($p < 0.05$), con un error estándar residual de 2,562 para la anchoveta (29 grados de libertad) y 2,58 para la sardina común (39 grados de libertad).

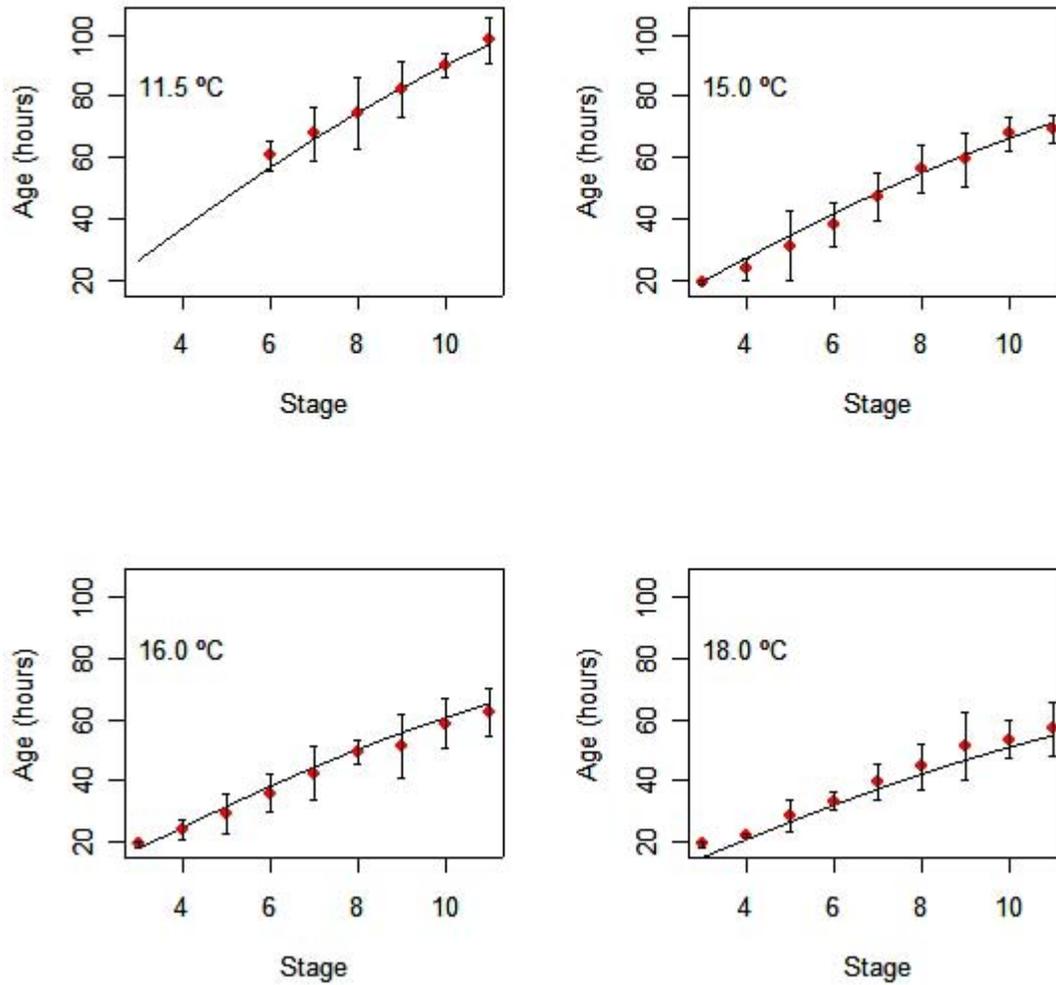


Figura 15. Modelo de desarrollo de los huevos temperatura-estadio dependiente de anchoveta (*Engraulis ringens*), para 11.5 °C (izquierda, panel superior), 15 °C (derecha, panel superior), 16 °C (izquierda, panel inferior), y 18 °C (derecha, panel inferior).

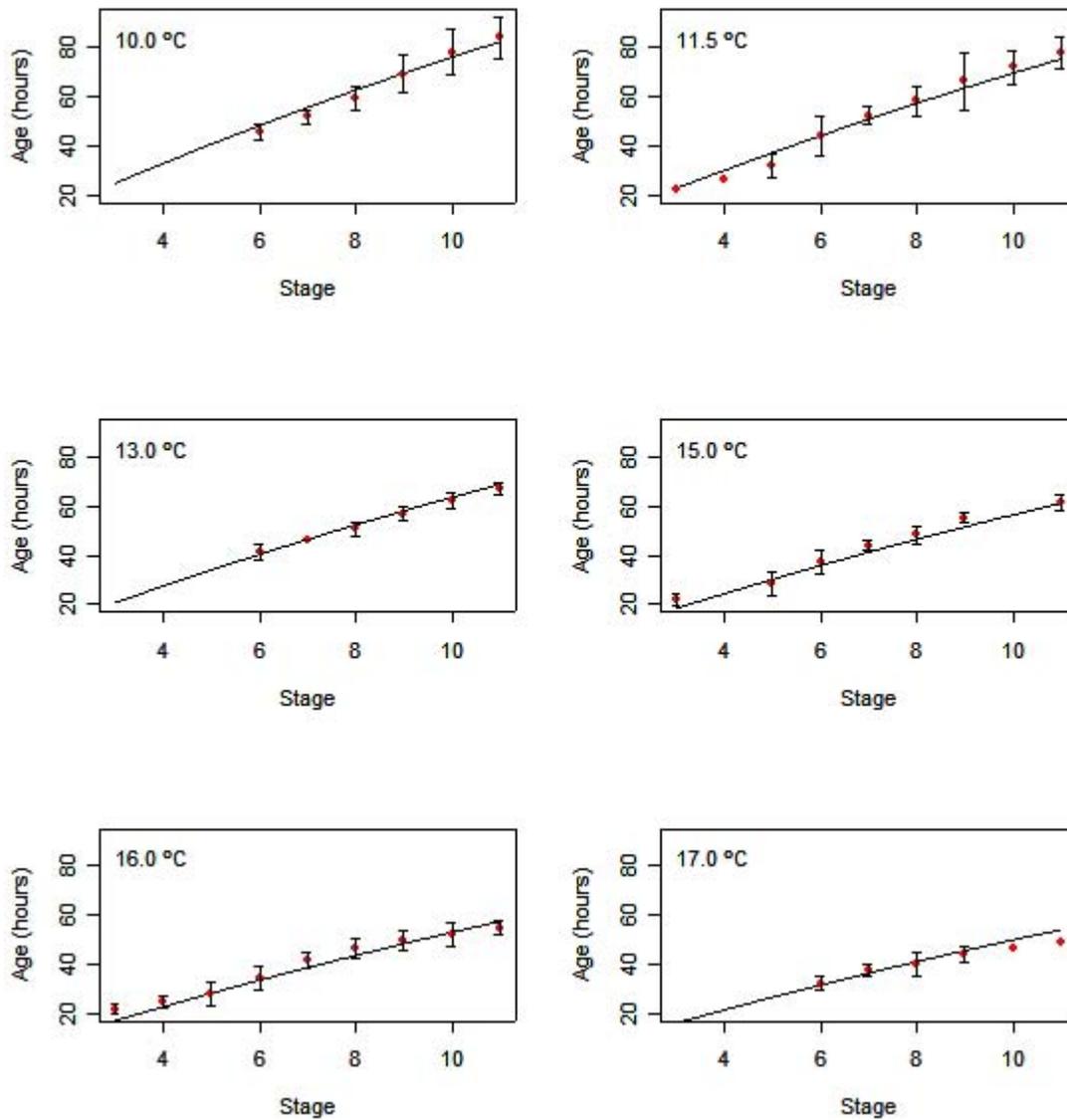


Figura 16. Modelo de desarrollo de los huevos temperatura-estadio dependiente de sardina común (*Strangomera bentincki*) a temperature de 10 °C (izquierda, panel superior), 11.5 °C (derecha, panel superior), 13 °C (izquierda, panel medio), 15 °C (derecha, panel medio), 16 °C (izquierda, panel inferior), y 17 °C (derecha, panel inferior).

Se destaca que el modelo probabilístico de asignación de la edad basado en un proceso multinomial de observación de estadios en función de la hora de colecta, hora del desove y la temperatura no pudo ser desarrollado ante la ausencia de estadios I y II, y la falta de replicación de algunos estadios para el rango de temperaturas observados. No obstante, se pudo determinar un modelo GAM paramétrico que se ajustó de una manera más flexible a los datos disponibles (**Figura 17**). En el caso de la anchoveta, el modelo presentó los siguientes resultados:

Family: Gaussian; Link function: identity; Formula: Mage ~ s(Stage, Temp)

Parametric coefficients:

	Estimate	std. err.	t ratio	Pr(> t)
(Intercept)	48.646	0.1719	282.9	< 2.22e-16

Approximate significance of smooth terms:

	edf	chi.sq	p-value
s(Stage,Temp)	19.15	14446	< 2.22e-16

R-sq.(adj) = 0.998 Deviance explained = 99.9%
GCV score = 2.5059 Scale est. = 0.9756 n = 33

Y en el caso de la sardina común los siguientes:

Family: Gaussian; Link function: identity ; Formula: Mage ~ s(Stage, Temp)

Parametric coefficients:

	Estimate	std. err.	t ratio	Pr(> t)
(Intercept)	47.919	0.1099	436	< 2.22e-16

Approximate significance of smooth terms:

	edf	chi.sq	p-value
s(Stage,Temp)	25.12	20144	< 2.22e-16

R-sq.(adj) = 0.998 Deviance explained = 99.9%
GCV score = 1.323 Scale est. = 0.51943 n = 43

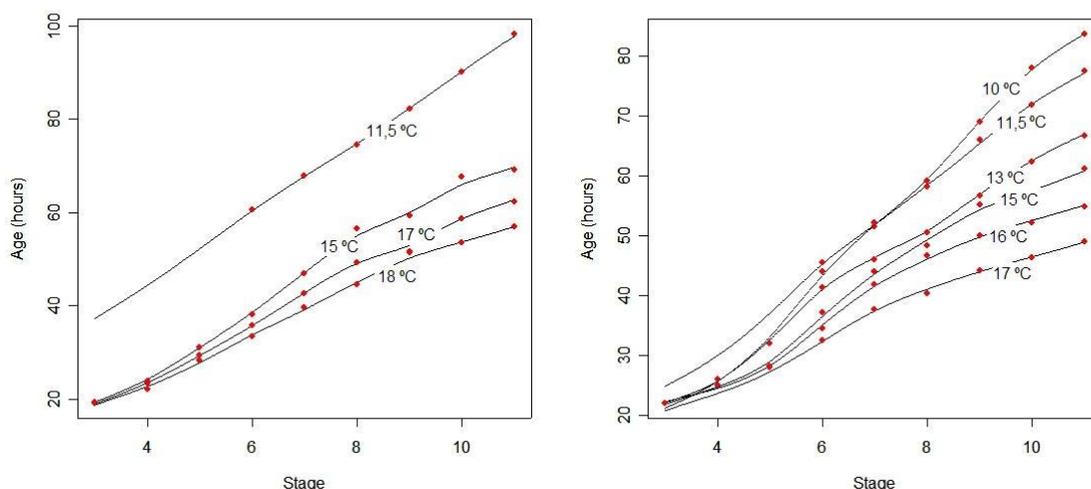


Figura 17. Modelo GAM de desarrollo de los huevos temperatura-estadio dependiente para anchoveta (izquierda) y sardina común (derecha), sobre la base de los datos de incubación disponibles. Cada curva corresponde a una temperatura de incubación (ver Figs. 15 y 16).

Ante la ausencia de un modelo probabilístico del tipo multinomial, en que el estadio es la variable modelada en función de la hora de colecta, temperatura, y hora de desove, se utilizó la metodología GAM para modelar la producción diaria de huevos en el espacio. Para ello se utilizó el programa “mgcv” para R que permite modelar la variable de interés como un proceso espacial isotrópico (Wood, 2003). Las co-variables fueron la latitud y longitud geográfica, y la edad estimada con los modelos estadio temperatura-dependientes, y los resultados se llevaron a una grilla de predicción utilizando la edad 0 para dar cuenta de la producción diaria de huevos.

En el caso de la anchoveta, en la zona norte y centro, la estructura de error fue modelada como quasi-poisson sobre la base del número de huevos por 0,05 m² de superficie de mar. Los resultados fueron los siguientes:

Family: quasipoisson; Link function: log ; Formula: Numb ~ s(Long, Lat) + s(Age2)

Parametric coefficients:

	Estimate	std. err.	t ratio	Pr(> t)
(Intercept)	0.16912	0.2992	0.5653	0.57302

Approximate significance of smooth terms:

	edf	chi.sq	p-value
s(Long,Lat)	20.22	249.57	< 2.22e-16

s(Age2) 8.024 65.927 1.1582e-08
 R-sq.(adj) = 0.915 Deviance explained = 90.5%
 GCV score = 15.936 Scale est. = 12.559 n = 138

La salida del modelo GAM ajustado en términos de las variables latitud-longitud (proceso isotrópico) y la edad en días, se muestra en la **Figura 18**. El efecto de la edad describe una curva decreciente, aunque con cambios asociados a la distribución de la abundancia de las cohortes.

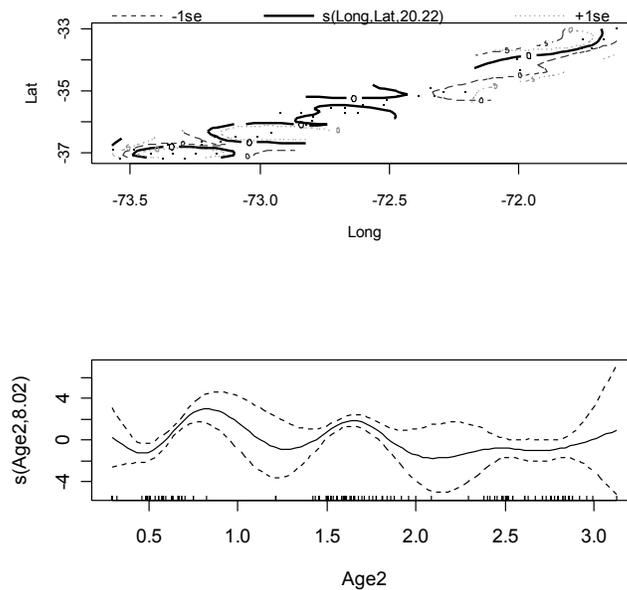


Figura 18. Efectos del sistema de coordenadas (componente espacial), modelada como un proceso isotrópico de la abundancia de huevos por edad, y la edad en días.

La devianza fue explicada en 90,5% por el modelo, con un diagnóstico satisfactorio del comportamiento de los residuales en términos de una distribución aproximadamente normal generando valores predichos similares a los observados (**Figura 19**). La producción diaria de huevos de anchoveta en el espacio indica la presencia de tres núcleos importantes, uno localizado al sur de Valparaíso, otro frente a la desembocadura del río Itata, y un tercero básicamente al interior del Golfo de Arauco (**Figura 20**). El núcleo que se detecta al norte de Valparaíso constituye más bien una extrapolación del modelo, ya que se ubica por fuera del área de desove positiva observada. En este contexto, se puede plantear que son dos los núcleos de mayor producción diaria en la zona norte y centro de anchoveta.

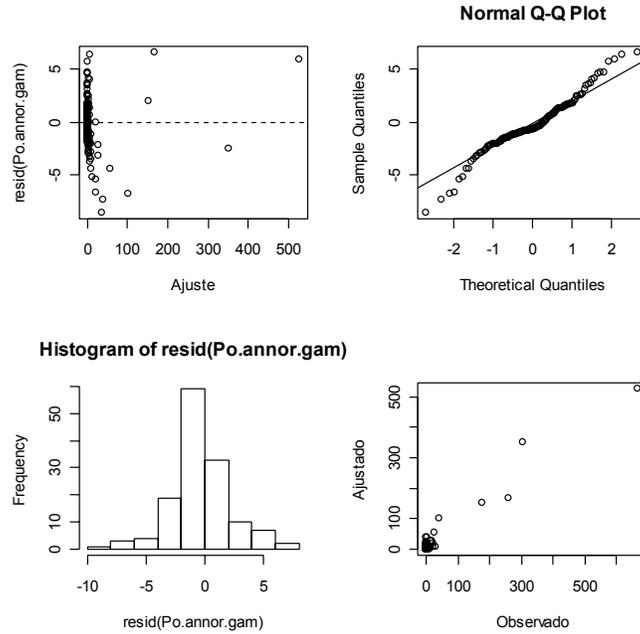


Figura 19. Diagnóstico para el ajuste del modelo GAM utilizado para la producción diaria de huevos de anchoveta en la zona norte y centro del área de estudio.

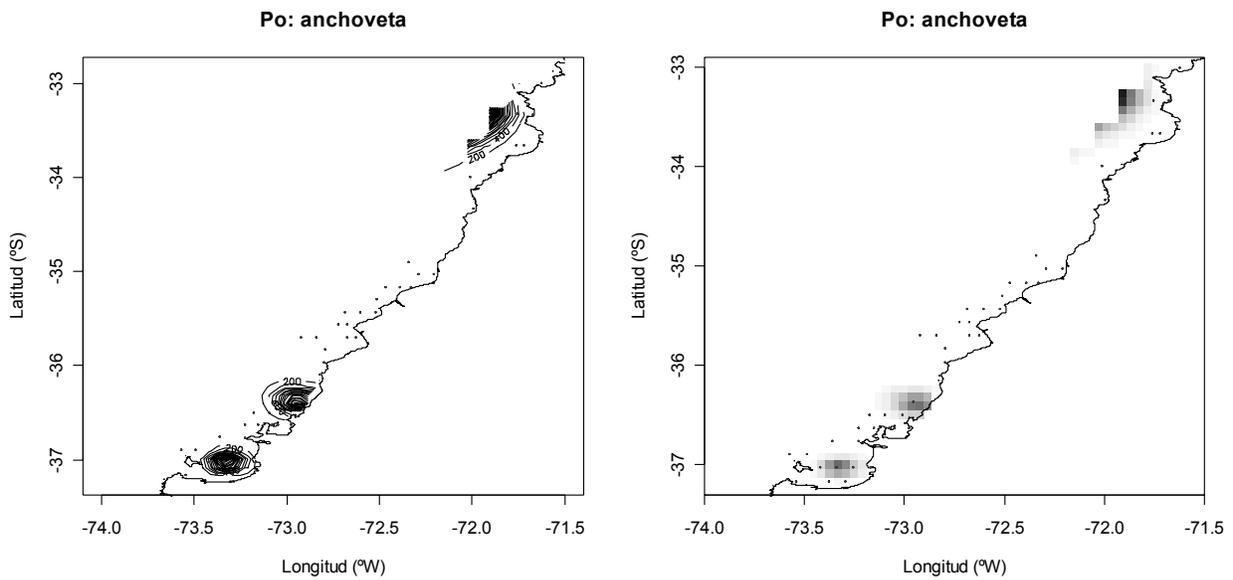


Figura 20. Distribución espacial de la producción diaria de huevos de anchoveta en la zona norte y centro, modelada con GAM. Los puntos indican las estaciones positivas al interior del área de desove.

En la zona sur, el modelo GAM para anchoveta fue establecido con una estructura quasipoisson, participando la latitud-longitud y la edad en días. La salida del modelo, se muestra en la **Figura 21**, observándose que el efecto de la edad describe una curva decreciente con cambios asociados a la abundancia de algunas cohortes. Los coeficientes paramétricos del modelo fueron los siguientes:

Family: quasipoisson; Link function: log ; Formula: Numb ~ s(Long, Lat) + s(Age2)

Parametric coefficients:

	Estimate	std. err.	t ratio	Pr(> t)
(Intercept)	1.0548	0.2861	3.687	0.00031072

Approximate significance of smooth terms:

	edf	chi.sq	p-value
s(Long,Lat)	22.87	274.72	< 2.22e-16
s(Age2)	6.058	54.246	1.7776e-08

R-sq.(adj) = 0.751 Deviance explained = 83.8%

GCV score = 24.272 Scale est. = 20.429 n = 189

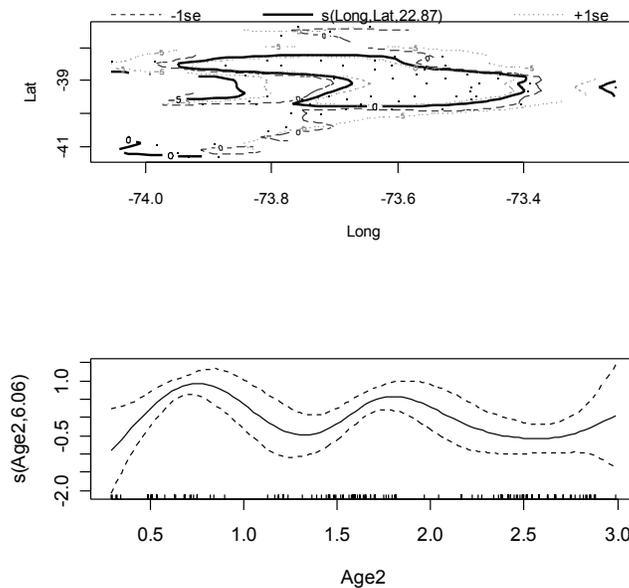


Figura 21. Efectos del sistema de coordenadas (componente espacial), modelada como un proceso isotrópico de la abundancia de huevos por edad, y la edad en días.

La devianza fue explicada en 83,3% por el modelo, y en términos de diagnóstico fue satisfactorio generando valores predichos similares a los observados (**Figura 22**). Se observa que la producción diaria de huevos estimada se distribuye en una amplia zona, al sur de la Isla Mocha y hasta el norte de Corral (**Figura 23**).

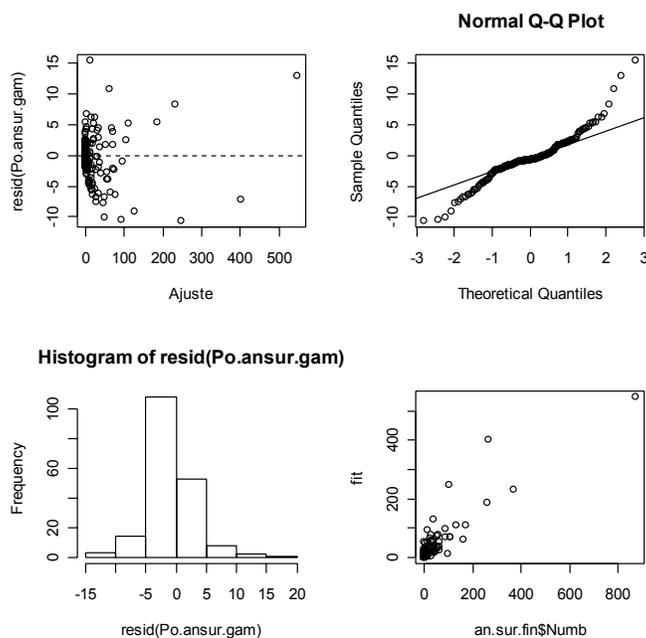


Figura 22. Diagnóstico para el ajuste del modelo GAM utilizado para la producción diaria de huevos de anchoveta en la zona sur del área de estudio.

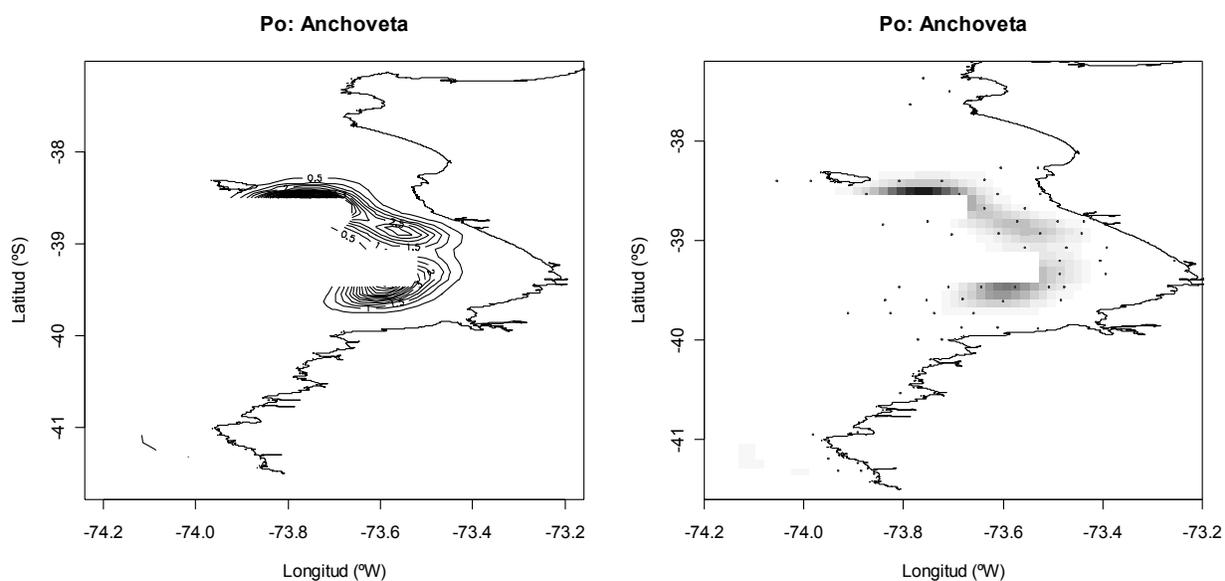


Figura 23. Distribución espacial de la producción diaria de huevos de anchoveta en la zona sur, modelada con GAM. Los puntos indican las estaciones positivas al interior del área de desove.

En el caso de la sardina común, el análisis sólo pudo ser realizado para el sector sur. El modelo GAM de la sardina incluyó una estructura de error poisson, e incluyó sólo la edad como co-variable (**Figura 24**), observándose que el efecto de la edad describe una curva decreciente con cambios asociados a la abundancia de algunas cohortes. Los coeficientes del modelo fueron los siguientes:, i.e.

Family: poisson; Link function: log; Formula: Numb ~ s(Long, Lat) + s(Age2)

Parametric coefficients:

	Estimate	std. err.	t ratio	Pr(> t)
(Intercept)	-0.59785	0.3102	-1.927	0.053974

Approximate significance of smooth terms:

	edf	chi.sq	p-value
s(Long,Lat)	28.79	666.55	< 2.22e-16
s(Age2)	8.946	435.68	< 2.22e-16

R-sq.(adj) = 0.848 Deviance explained = 82.1%

UBRE score = 5.897 Scale est. = 1 n = 108

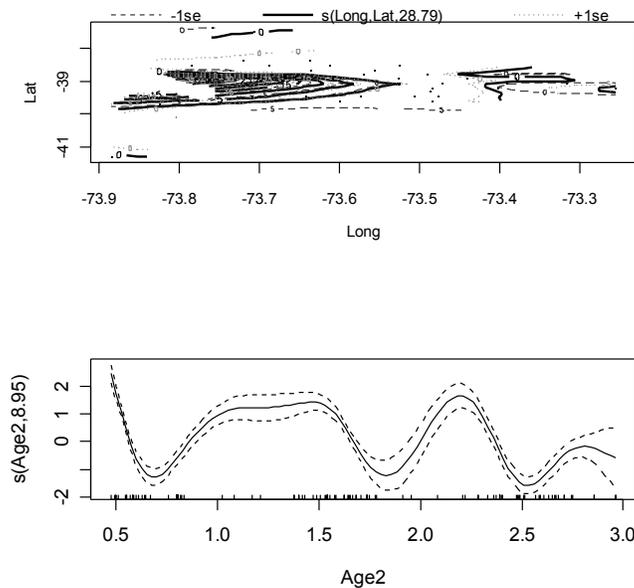


Figura 24. Efectos del sistema de coordenadas (componente espacial), modelada como un proceso isotrópico de la abundancia de huevos por edad, y la edad en días.

El modelo GAM para la sardina común explicó 82,1 % de la devianza, y el diagnóstico en términos del comportamiento de los residuales fue satisfactorio (**Figura 25**). Se observó que la producción diaria de huevos se distribuyó en un único núcleo al sur de la Isla Mocha (**Figura 26**).

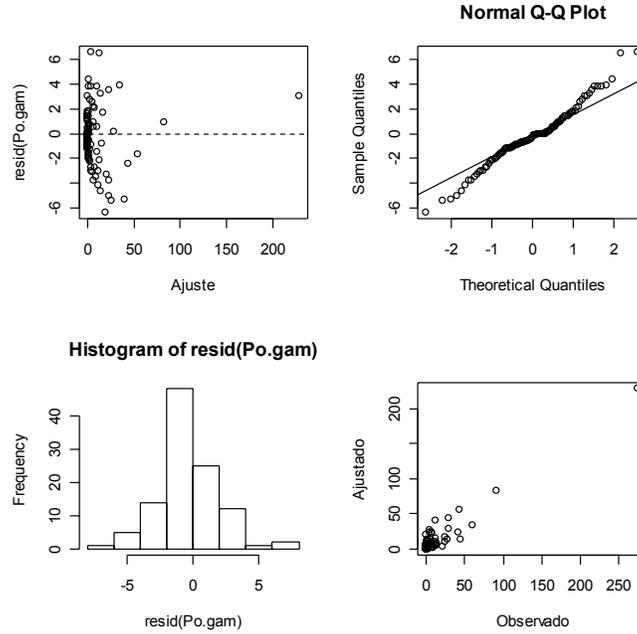


Figura 25. Diagnóstico para el ajuste del modelo GAM utilizado para la producción diaria de huevos de sardina común en la zona sur del área de estudio.

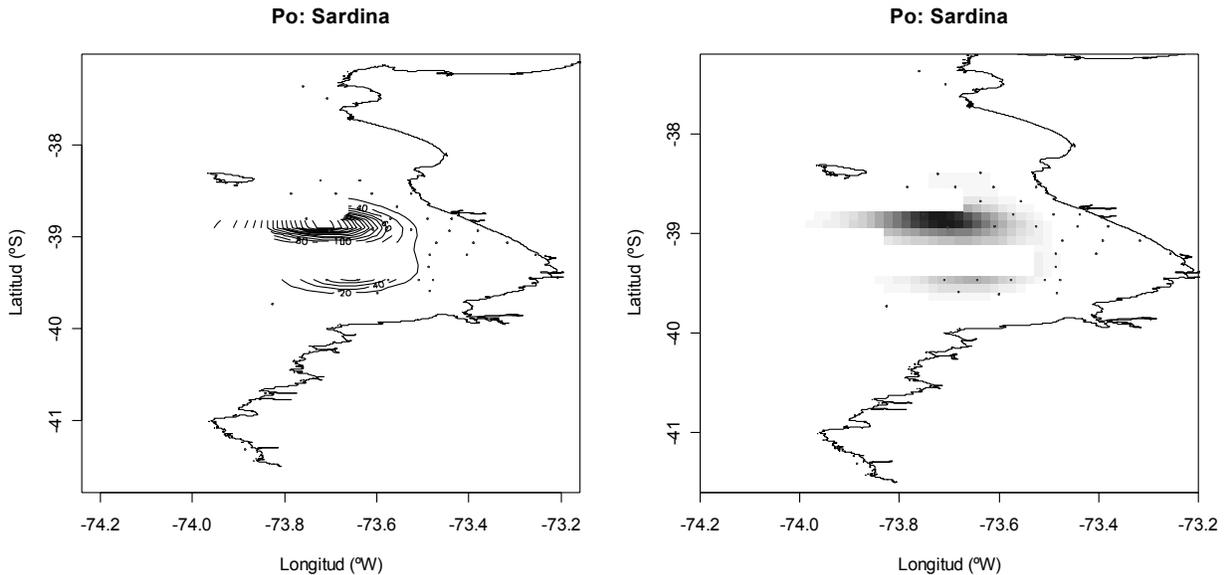


Figura 26. Distribución espacial de la producción diaria de huevos de sardina común en la zona sur, modelada con GAM. Los puntos indican las estaciones positivas al interior del área de desove.

8.6. Objetivo 2: Estados de madurez microscópicos, fracción diaria de hembras desovantes y su varianza asociada

En la anchoveta, se analizó un total de 1.147 hembras distribuidas en 40 lances de pesca que se consideran suficientes según los criterios mínimos justificados (**Tabla 20**). Del total de lances, 31 fueron de la zona centro (930 hembras) y 9 lances de la zona sur (217 hembras). En el caso de la sardina común se contó con 1.326 hembras distribuidas en 35 lances de pesca (**Tabla 21**), de los cuales 31 lances se realizaron en el sector centro (1326 hembras) y 4 en el sector sur (75 hembras). El número de lances que se comunican son suficientes desde el punto de vista de la precisión en la estimación de los parámetros reproductivos de los adultos.

Tabla 20. Resumen de los datos de los lances de anchoveta: longitud total (LT), peso total (PT), peso total corregido (PTCOR), peso corporal (PC), peso de gónada (PG), fecundidad parcial estimada (FPE), hembras maduras (HM), hembras hidratadas (HH), folículos postovulatorios (FPO) de edad 0, 1, y 2 días. Peso promedio de hembras corregido (PTH), número de hembras (H), peso promedio de machos corregidos (PTM), y número de machos (M) del muestreo aleatorio de proporción sexual.

DATOS LANCES							DATOS HEMBRAS MADURAS										PROPORCIÓN SEXUAL				
Orden (n)	Lance (n)	Barco	Fecha (d-m)	Colecta (h)	Posición (s)	Posición (w)	LT (cm)	PT (g)	PTCOR (g)	PC (g)	PG (g)	FPE (n)	HM (n)	HH (n)	EDAD F. P. O.	PTH (g)	H (n)	PTM (g)	M (n)		
							0	1	2												
1	1	Capito I	24-Aug	8:30	3624	7253	13.0	13.7	13.7	13.1	0.65	5062	30	3	0	7	0	4.2	1	25.1	6
2	7	Capito I	25-Aug	12:30	3628	7255	12.8	12.8	12.8	12.2	0.64	4712	30	8	0	0	9	35.5	5	80.7	11
3	8	Capito I	1-Sep	8:30	3643	7300	10.6	7.4	7.4	7.1	0.26	2734	30	3	1	3	3	189.2	22	182.5	28
4	10	Capito I	2-Sep	8:30	3643	7301	11.3	8.7	8.7	8.3	0.41	3196	30	1	0	3	1	130.9	17	261.5	33
5	12	Capito I	2-Sep	12:00	3643	7301	11.2	8.6	8.6	8.1	0.50	3120	30	7	0	2	5	190.5	20	271.1	30
6	14	Capito I	7-Sep	10:00	3646	7301	10.7	7.6	7.6	7.2	0.40	2775	30	0	0	7	4	177.4	24	167.9	24
7	15	Capito I	7-Sep	11:20	3644	7301	11.5	8.8	8.8	8.3	0.51	3187	30	9	0	4	7	240.7	22	284.4	28
8	2	Don Borney	24-Aug	15:00	3936	7324	15.5	25.1	25.1	23.8	1.27	9241	30	0	1	4	0	562.8	24	543.2	26
9	3	Don Borney	30-Aug	10:00	3957	7339	13.2	14.6	14.6	14.0	0.63	5401	15	0	0	0	0	284.4	21	346.1	29
10	1	Don Julian	24-Aug	8:30	3624	7254	12.0	9.0	9.0	8.5	0.53	3276	30	6	0	1	10	315.8	29	215.1	21
11	2	Don Julian	24-Aug	10:30	3823	7254	12.2	9.8	9.7	9.3	0.44	3589	30	7	0	3	6	152.5	21	205.0	29
12	3	Don Julian	24-Aug	16:00	3624	7354	11.4	8.7	8.7	8.2	0.46	3159	30	7	0	6	3	138.7	21	208.9	29
13	4	Don Julian	25-Aug	8:05	3625	7253	12.0	9.6	9.6	9.1	0.47	3519	30	1	2	6	0	133.6	19	220.5	31
14	5	Don Julian	25-Aug	11:00	3550	7240	12.4	10.1	10.1	9.5	0.58	3653	30	7	0	3	9	143.8	18	287.7	32
15	8	Don Julian	1-Sep	9:00	3642	7305	10.4	6.4	6.3	6.0	0.30	2314	30	2	0	1	5	108.9	22	138.4	28
16	9	Don Julian	2-Sep	9:30	3643	7300	11.7	9.9	9.9	9.4	0.48	3635	30	2	0	5	8	146.5	18	250.0	32
17	10	Don Julian	8-Sep	9:30	3643	7301	11.7	9.7	9.7	9.2	0.53	3525	30	3	0	8	6	120.2	17	206.1	30
18	11	Don Julian	8-Sep	11:00	3643	7301	11.7	9.8	9.8	9.3	0.54	3583	30	5	5	2	3	161.6	22	181.6	28
19	1	Don Yaco	24-Aug	9:44	3709	7321	14.4	19.9	19.9	18.8	1.11	7273	30	6	2	3	1	416.6	23	471.9	27
20	2	Don Yaco	24-Aug	11:42	3711	7329	13.6	16.7	16.7	15.9	0.82	6151	30	0	0	0	2	304.6	24	342.6	26
21	3	Don Yaco	25-Aug	8:25	3708	7336	13.8	18.4	18.4	17.8	0.60	6909	30	0	0	0	0	282.9	25	300.8	25
22	4	Don Yaco	25-Aug	10:25	3707	7335	14.2	19.3	19.3	18.7	0.69	7231	30	0	0	0	0	249.6	19	470.5	31
23	5	Don Yaco	31-Aug	10:55	3709	7337	14.2	19.9	19.9	19.0	0.88	7364	30	0	0	0	5	296.6	18	476.8	32
24	6	Don Yaco	31-Aug	12:58	3709	7338	14.3	19.9	19.9	18.9	0.97	7338	30	0	0	0	1	342.5	21	457.4	29
25	1	Nicolas	24-Aug	15:25	3935	7322	14.9	22.1	22.0	20.8	1.30	8054	18	4	0	0	4	731.4	39	211.2	11
26	1	Orka	24-Aug	13:25	3936	7324	15.3	23.1	23.1	21.8	1.24	8472	27	2	0	3	2	514.8	24	504.4	26
27	3	Orka	24-Aug	17:20	3937	7323	15.2	23.5	23.5	22.3	1.21	8659	30	0	0	0	7	637.4	30	295.3	18
28	5	Orka	30-Aug	11:25	3959	7337	15.1	23.8	23.8	22.5	1.27	8747	30	0	0	0	0	486.1	29	323.6	21
29	6	Orka	31-Aug	10:15	3932	7328	14.8	20.9	20.9	19.7	1.20	7653	30	6	0	2	0	424.1	28	327.6	22
30	7	Orka	1-Sep	11:00	3955	7335	13.4	15.5	15.5	14.7	0.72	5705	7	0	0	0	0	255.1	28	192.6	22
31	8	Orka	11-Sep	16:00	3933	7322	14.6	20.6	20.6	19.3	1.26	7493	30	5	0	11	1	534.0	28	434.5	22
32	1	Riveira	25-Aug	10:00	3628	7255	13.0	14.5	14.4	13.5	0.98	5212	30	17	0	4	1	253.5	18	366.9	30
33	2	Riveira	25-Aug	11:30	3630	7255	11.5	9.3	9.3	8.8	0.52	3377	30	15	0	3	1	147.6	15	291.7	30
34	3	Riveira	25-Aug	15:00	3629	7257	10.8	7.9	7.9	7.4	0.50	2858	30	6	0	2	4	154.4	20	143.5	22
35	4	Riveira	30-Aug	18:35	3643	7302	13.3	15.7	15.7	15.1	0.58	5859	30	0	0	0	0	141.6	19	192.5	29
36	5	Riveira	1-Sep	16:00	3648	7312	12.8	13.8	13.8	13.1	0.64	5080	30	0	0	0	2	314.8	22	273.2	25
37	7	Riveira	2-Sep	13:00	3643	7300	11.4	9.8	9.8	9.2	0.57	3555	30	4	0	1	4	111.8	13	130.4	18
38	8	Riveira	2-Sep	15:30	3643	7300	11.5	9.4	9.4	8.8	0.63	3378	30	5	0	3	8	194.4	22	220.3	28
39	9	Riveira	7-Sep	16:40	3644	7301	11.1	8.8	8.7	8.2	0.56	3152	30	5	0	6	5	199.8	23	189.6	24
40	10	Riveira	7-Sep	18:15	3643	7301	11.0	8.3	8.3	7.9	0.47	3024	30	10	0	6	6	183.2	23	193.2	22

Tabla 21. Resumen de los datos de los lances de sardina común (ver Tabla 20 para nomenclatura).

DATOS LANCES							DATOS HEMBRAS MADURAS										PROPORCIÓN SEXUAL				
Orden (n)	Lance (n)	Barco	Fecha (d-m)	Colecta (h)	Posicion (s) (w)		LT (cm)	PT (g)	PTCOR (g)	PC (g)	PG (g)	FPE (n)	HM (n)	HH (n)	EDAD F. P. O.			PTHCOR (g)	H (n)	PTMCOR (g)	M (n)
																0	1	2			
1	1	Capito I	24-Aug	8:30	362384	725347	12.1	13.8	14.0	12.7	1.11	6962	44	3	5	12	6	8.3	24	9.2	25
2	2	Capito I	24-Aug	11:30	36231	725370	12.0	13.0	13.1	11.7	1.31	6388	40	6	0	8	10	10.1	12	9.5	17
3	7	Capito I	24-Aug	12:30	36278	725492	13.6	20.0	20.1	17.9	2.10	9773	52	10	0	15	16	12.7	25	11.6	17
4	8	Capito I	1-Sep	8:30	36434	730015	14.1	21.2	21.4	18.9	2.24	10355	50	9	0	3	5	14.2	18	14.4	7
5	9	Capito I	1-Sep	12:15	36433	730068	11.6	11.8	11.9	10.9	0.93	5945	63	2	0	1	4	13.2	21	13.6	29
6	10	Capito I	2-Sep	8:30	36434	730092	11.0	9.3	9.4	8.7	0.63	4763	59	0	0	0	8	15.2	25	19.2	25
7	12	Capito I	2-Sep	12:00	36433	730087	13.1	17.1	17.2	15.7	1.39	8581	47	0	0	1	10	21.5	18	21.5	14
8	13	Capito I	7-Sep	7:20	36434	730104	11.5	10.7	10.7	9.9	0.76	5412	62	3	2	3	6	18.3	26	14.9	24
9	14	Capito I	7-Sep	10:00	36434	730080	10.7	8.5	8.6	7.8	0.68	4275	49	8	2	1	3	10.3	29	9.2	20
10	15	Capito I	7-Sep	11:20	364350	730072	10.9	9.3	9.3	8.5	0.75	4651	53	5	0	2	5	15.2	29	14.9	22
11	1	Don Julian	24-Aug	10:30	36242	725415	11.9	13.6	13.7	12.2	1.32	6682	32	3	3	2	2	8.6	27	7.7	23
12	2	Don Julian	24-Aug	10:30	36234	725370	10.8	8.5	8.6	7.8	0.74	4235	39	7	0	6	3	7.9	25	8.6	25
13	3	Don Julian	24-Aug	16:00	3624	725402	10.8	7.8	7.9	7.2	0.65	3910	42	6	0	4	10	8.1	18	7.8	21
14	4	Don Julian	25-Aug	11:00	36247	725349	10.6	7.8	7.9	7.3	0.49	3986	44	0	0	4	4	6.8	31	6.5	19
15	5	Don Julian	25-Aug	11:00	35502	724018	10.3	7.3	7.4	6.5	0.85	3535	41	7	0	3	6	6.6	20	8.0	30
16	6	Don Julian	31-Aug	13:37	36431	730081	10.3	7.9	8.0	6.7	1.25	3637	42	0	0	0	4	7.8	28	7.6	22
17	8	Don Julian	1-Sep	9:06	36422	730512	12.8	17.0	17.1	15.4	1.61	8395	36	2	0	0	3	10.7	19	8.7	31
18	9	Don Julian	2-Sep	9:30	36432	730032	14.2	22.7	22.8	20.6	2.03	11275	39	0	0	5	4	14.3	27	13.6	23
19	10	Don Julian	8-Sep	9:30	36434	730086	10.7	9.3	9.4	7.9	1.40	4322	48	3	0	5	7	7.3	32	7.6	18
20	2	Don Yaco	24-Aug	11:42	37113	732937	11.8	13.3	13.4	12.4	0.92	6786	36	0	0	1	3	11.5	15	12.1	35
21	6	Don Yaco	31-Aug	12:58	37093	733765	11.5	12.2	12.3	11.4	0.81	6238	34	0	0	0	0	10.1	25	8.7	17
22	8	Don Yaco	31-Aug	17:19	37111	733230	11.8	13.1	13.2	12.2	0.87	6692	39	0	0	1	0	8.3	21	7.3	29
23	2	Riveira	25-Aug	11:30	363000	725500	11.1	38.9	39.2	37.9	1.00	20724	45	13	0	4	9	10.0	25	10.5	25
24	3	Riveira	25-Aug	15:00	362900	725700	11.7	12.7	12.8	11.6	1.08	6339	41	0	3	1	3	6.7	21	6.2	24
25	4	Riveira	30-Aug	18:35	36432	730168	12.0	14.7	14.8	13.4	1.31	7320	37	2	1	5	2	11.9	26	11.5	22
26	7	Riveira	2-Sep	13:00	364282	730019	11.1	10.0	10.1	9.4	0.67	5115	34	0	0	1	5	10.1	22	8.8	24
27	8	Riveira	2-Sep	15:30	364314	730034	10.8	9.6	9.6	8.7	0.88	4745	34	6	0	0	3	10.4	33	14.8	16
28	9	Riveira	7-Sep	16:40	364350	730075	10.8	9.3	9.3	8.3	0.98	4527	35	8	0	0	3	8.9	29	8.6	21
29	10	Riveira	7-Sep	18:15	364320	730087	10.5	8.8	8.8	7.9	0.90	4298	36	5	0	0	0	6.1	18	5.7	19
30	11	Riveira	8-Sep	8:25	364300	730160	11.5	11.2	11.3	10.3	0.87	5631	38	3	3	1	6	7.2	22	7.5	23
31	12	Riveira	8-Sep	10:45	364330	730033	11.3	10.4	10.5	9.5	0.87	5205	35	4	1	2	3	7.7	32	6.5	17
32	1	Nicolás	24-Aug	15:25	393528	732236	13.1	17.7	17.8	16.1	1.60	8774	9	0	0	0	0	17.4	27	16.4	23
33	6	Orka	31-Aug	11:45	3932	7328	12.1	14.0	14.1	12.9	1.06	7053	17	0	0	0	3	14.0	23	12.6	27
34	1	Samaritano	24-Aug	16:10	400013	734605	11.7	11.0	11.1	10.4	0.55	5694	9	0	0	0	1	7.6	15	6.8	31
35	2	Samaritano	31-Aug	10:45	393746	732435	12.2	13.6	13.7	12.8	0.77	7002	40	0	0	0	8	12.0	25	12.2	25

El análisis de los estadios microscópicos se muestra en la **Tabla 22** para anchoveta y sardina común, en este último caso separado por sectores. En la anchoveta, la proporción de ejemplares maduros (EMS IV, vitelados) alcanzó un 49,0 % mientras que 22,7 % estuvo representado por hembras reproductivamente activas (agrupadas en el estado de madurez sexual VIII). El estado hidratado (EMS VI) alcanzó un 13,6%. Las hembras con folículos postovulatorios de día 0 estuvieron escasamente representadas (1,0 %), básicamente debido al muestreo diurno donde es más probable encontrar hembras desovantes de día 1 y 2.

En el caso de la sardina común, 42,7 % de las hembras se presentó un estado maduro vitelado, mientras que 27,5% de las hembras se encontró en desove, como postdesovante de tanda o desovadas (EMS VII). La fracción de hembras hidratadas alcanzó a 8,2 % (**Tabla 22**).

Tabla 22. Frecuencia y proporción de estadios de madurez sexual microscópicos (%) de anchoveta y sardina común (ver Tabla 3 y Fig. 3). Los estadios en desove, postdesovante de tanda, y desovados se agruparon en el estadio VII.

EMS	Total		Anchoveta				Total		Sardina común			
	n	%	Centro		Sur		N	%	Centro		Sur	
I	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
II	0	0.0	0	0.0	0	0.0	4	0.3	4	0.3	0	0.0
III	2	0.2	2	0.2	0	0.0	6	0.4	5	0.4	1	1.3
IV	567	49.4	456	49.0	111	51.2	598	42.7	558	42.1	40	53.3
V	162	14.1	108	11.6	54	24.9	293	20.9	275	20.7	18	24.0
VI	156	13.6	139	14.9	17	7.8	115	8.2	115	8.7	0	0.0
VII	260	22.7	225	24.2	35	16.1	385	27.5	369	27.8	16	21.3
FPO 0	11	1.0	10	1.1	1	0.5	20	1.4	20	1.5	0	0.0
FPO 1	109	9.5	89	9.6	20	9.2	91	6.5	91	6.9	0	0.0
FPO 2	133	11.6	119	12.8	14	6.5	165	11.8	153	11.5	12	16.0
TOTAL	1147		930		217		1401		1326		75	

Para ambas especies se contó con dos conjuntos independientes para determinar la fracción diaria de hembras desovantes; esto es, hembras desovantes con FPO de día 1 y de día 2 (**Tablas 20 y 21**). En la anchoveta, la fracción desovante de día 1 fue de 0,099 con un CV igual a 15,4% ($\text{Var}(S_1) = 0,00023$), en tanto la fracción diaria de hembras desovantes de día 2 fue de 0,121 con un CV de 14,0% ($\text{Var}(S_2) = 0,00029$). La fracción diaria de hembras desovantes para el conjunto de hembras de día 1 y día 2, fue de 0,11 (CV = 10,3 %; $\text{Var}(S) = 0,00013$).

En el caso de la sardina común, al considerar la totalidad de los lances se encontró que la fracción diaria de hembras desovantes de día 1 fue de 0,066 (CV = 20,8%, $\text{VAR}(S_1) = 0,00019$), en tanto la fracción desovante de día 2 fue de 0,120 (CV=10,4; $\text{VAR}(S_2) = 0,00015$). La frecuencia de desove de hembras de día 1 fue menor, existiendo diferencias significativas entre ambas estimaciones ($t\text{-calculado} = 4,04$, $t\text{-tabla} = 2,032$). La estimación conjunta sobre la base de ambos conjuntos de datos fue de 0,093 (CV = 12,2%; $\text{Var}(S) = 0,00013$).

8.7. Objetivo 3: Fecundidad parcial, fecundidad media poblacional y varianza asociada

En el caso de la anchoveta, el análisis de regresión entre la fecundidad parcial y el peso corporal de las hembras correspondiente a las 23 hembras hidratadas colectadas en el 2005 se entrega en **Tabla 23** y **Figura 27**.

Tabla 23. Parámetros del modelo lineal utilizado para estimar la fecundidad parcial en función del peso corporal en anchoveta.

	Estimado	Error estándar
Intercepto	-311,16	677,80
Pendiente	331.17	40,183
Error típico	1138.154	
r^2	0,760	
N	23	

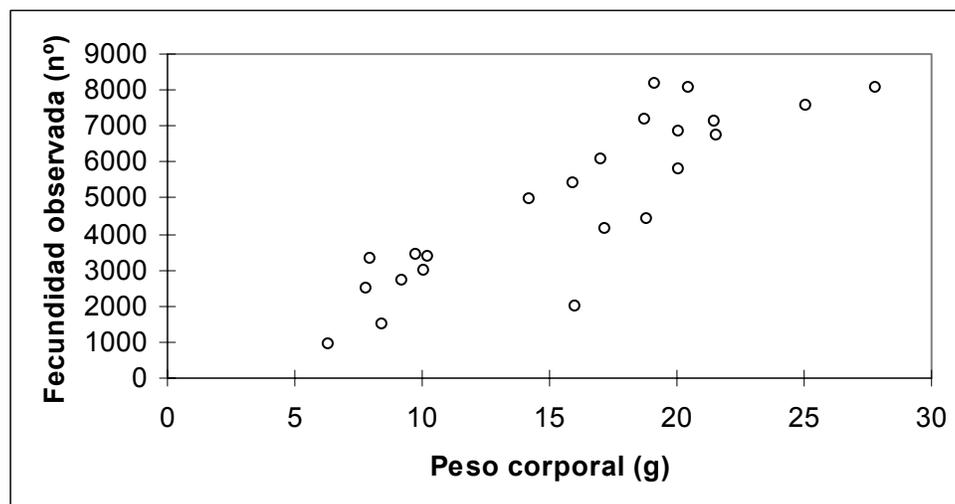


Figura 27. Regresión lineal entre la fecundidad parcial y el peso corporal de hembras de anchoveta, 2005.

La relación es significativa ($p = 5,095 \times 10^{-8}$), pero dado el bajo número de ejemplares presenta una de las menores pendientes en comparación a la de los años anteriores, como se aprecia en **Figura 28** y **Tabla 24**, lo que podría provocar sesgos en los estimados de biomasa. Para evitar el problema del bajo número de muestras del año 2005, se realizó un análisis comparativo de las rectas ajustadas en cada año de aplicación del MPH. Lo primero que resalta es que en todos los años el intercepto (Valor del eje Y a $X = 0$) no es significativamente distinto de cero en todos los años (**Tabla 24**), por lo que se ajustó una regresión forzada al origen, cuyos resultados se entregan en **Tabla 25** y **Figura 29**. Se puede apreciar que la recta del año 2005 es la única que se aleja de la tendencia general, que es bastante conservativa

interanualmente. El análisis de covarianza para detectar diferencias entre las pendientes mostró que no existen diferencias significativas entre las pendientes ($F_{calc} = 0.615$; $F_{0,05(1),3, 341} = 2,631$), por lo que los datos se pueden representar mediante una única línea de regresión.

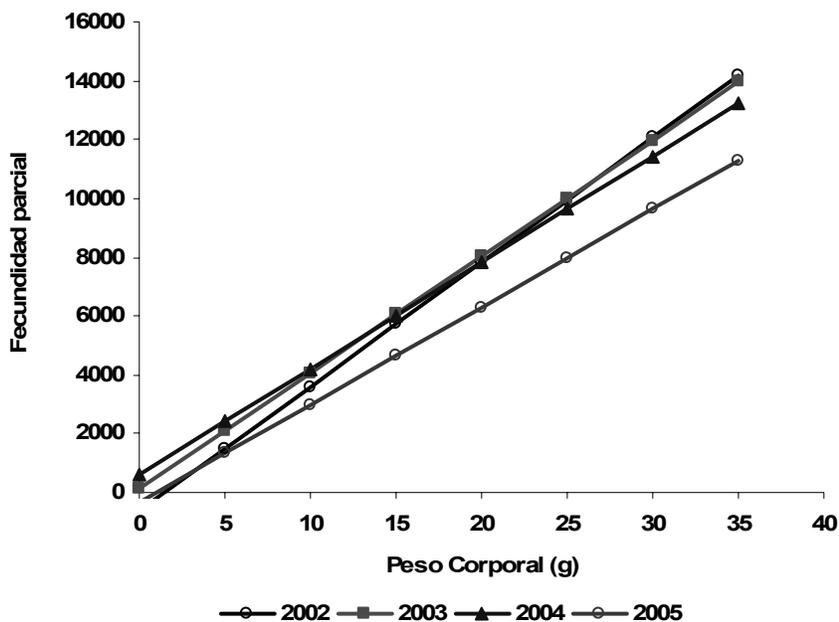


Figura 28. Relación lineal entre la fecundidad parcial y el peso corporal de anchoveta para los años 2002 a 2005.

Tabla 24. Resultados de los análisis de regresión lineal para la fecundidad parcial en función del peso corporal en hembras de anchoveta para cada año de aplicación del MPH en la Zona Centro-Sur. S_a : Error estándar del intercepto. $P_{(a=0)}$: Probabilidad de que intercepto = 0.

	2002	2003	2004	2005
Intercepto (a)	-613.40	122.00	600.21	-311.16
S_a	824.669	580.495	864.321	677.800
$P_{(a=0)}$	0.458	0.834	0.490	0.651
Pendiente (b)	422.38	395.12	360.86	331.17
S_b	44.286	34.071	39.082	40.183
$P_{(b=0)}$	2.854E-17	4.341E-20	1.677E-13	5.096E-08
Error típico	2156.148	1877.708	1787.189	0.000
r^2	0.37	0.58	0.56	0.76
n	158	100	68	23

Tabla 25. Resultados de los análisis de regresión lineal a través del origen (Intercepto = 0) para la fecundidad parcial en función del peso corporal en hembras de anchoveta para cada año de aplicación del MPH en la Zona Centro-Sur.

	2002	2003	2004	2005
Intercepto (a)	0	0	0	0
Pendiente (b)	390.16	401.89	387.13	313.89
S_b	9.199	10.968	9.762	13.815
P_(b=0)	6.705E-88	2.172E-59	2.981E-48	9.119E-17
Error típico	2153.078	1868.621	1780.270	0.000
r²	0.37	0.58	0.56	0.76
n	158	100	68	23

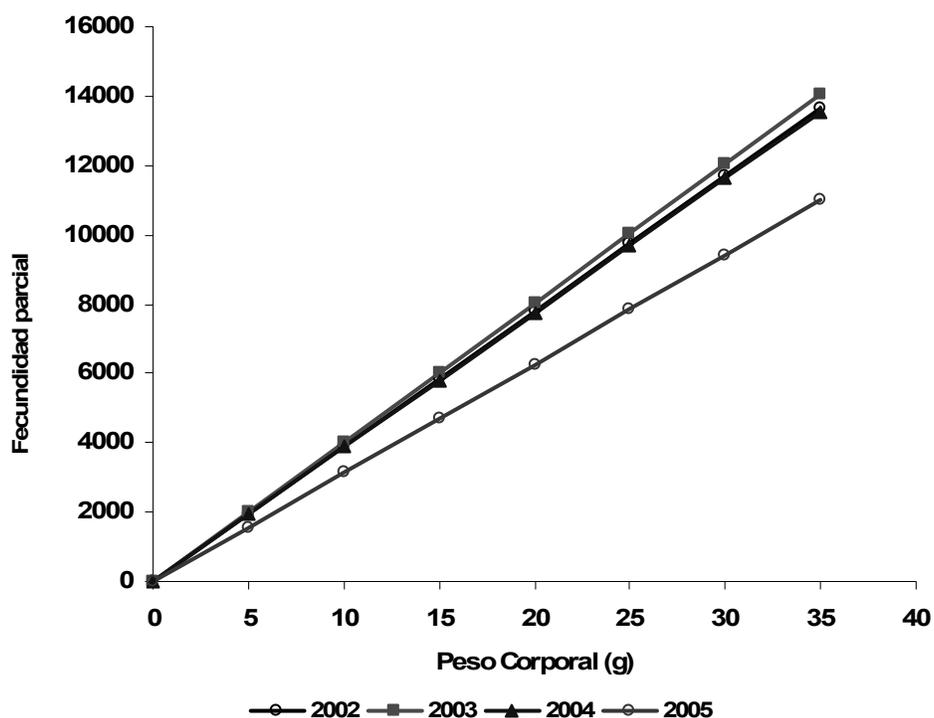


Figura 29. Líneas de regresión para la fecundidad parcial en función del peso corporal con forzamiento al origen, para cada año de aplicación del Método de Producción de Huevos en anchoveta Zona Centro-Sur.

Los resultados de la regresión total, esto es con los datos de todos los años en que se ha aplicado el MPDH se entregan en **Tabla 26**. Esta es la recta de regresión que se propone utilizar en los cálculos de biomasa desovante, con el fin de evitar sesgos por el bajo número de hembras en el 2005 y por otro lado, se ha demostrado que no existen diferencias entre años entre las rectas ajustadas, por lo que esta regresión "total" tiene mayor robustez estadística. Al analizar el total de lances, la fecundidad media poblacional de anchoveta se estima en 4.998 ovocitos y varianza de 124.287,1 (CV = 7,1%). Al utilizar la regresión del año 2005 (n=23), se calculó una fecundidad modal de 4055 y varianza de 247.898.1 (CV = 12,3%).

Tabla 26. Resultados de los análisis de regresión lineal a través del origen (Intercepto = 0) para la fecundidad parcial en función del peso corporal en hembras de anchoveta con todos los años de aplicación del MPH en la Zona Centro-Sur (2002 al 2005).

	Total
Intercepto (a)	0
Pendiente (b)	388.06
S _b	5.613
P _(b=0)	2.194E-205
Error típico	1973.344
r ²	0.52
n	349

En el caso de la sardina común, la fecundidad parcial se determinó sobre la base de 96 hembras hidratadas. Los parámetros del modelo lineal entre la fecundidad parcial y el peso corporal se presentan en la **Figura 30** y **Tabla 27**. El intercepto no fue significativamente diferente de cero, razón por la cual se evaluó una función forzada a pasar por el origen, manteniéndose la varianza explicada.

Tabla 27. Parámetros del modelo lineal utilizado para estimar la fecundidad parcial en función del peso corporal de sardina común.

	Estimado	Error estándar
Intercepto	0	0
Pendiente	541.84	9.64
Error típico	1367.94	
r ²	0,891	
N	96	

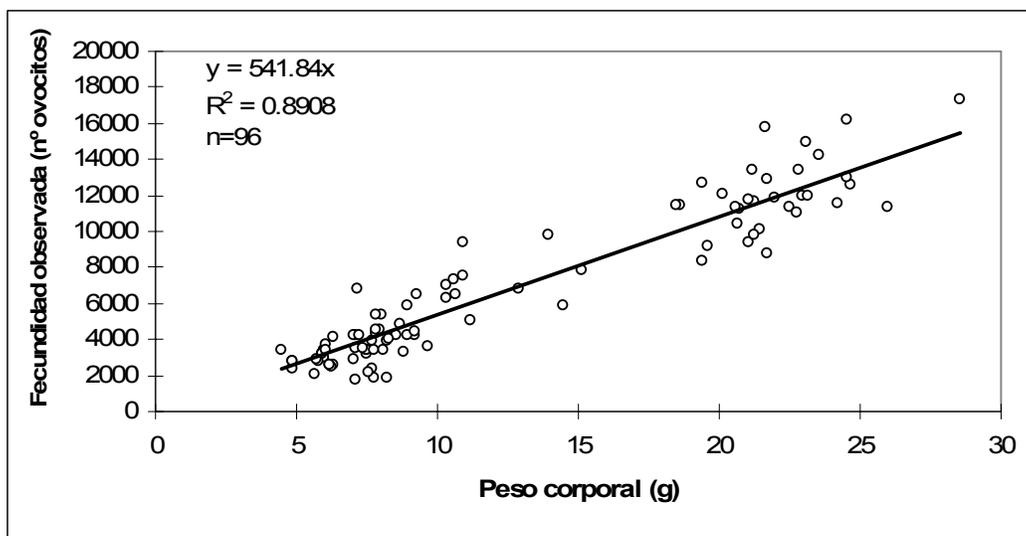


Figura 30. Regresión lineal entre la fecundidad parcial y el peso corporal de hembras de sardina común, 2005.

La fecundidad fluctuó entre 1.719 y 17.317 ovocitos para individuos entre 9,2 y 15,7 cm de LT. Siendo similar a lo encontrado en años anteriores. Al comparar los datos de la estimación de fecundidad parcial con los años anteriores se observa una clara sobre posición de las curvas para los 4 años analizados (**Figura 31**). Al realizar una ANOVA para la comparación de medias se obtuvo que no eran estadísticamente diferentes para los años comparados ($F= 2,74$; $p>0,01$).

La fecundidad media poblacional de la sardina común estimada para cada lance partir de las relaciones lineales encontradas se estimó en 6.538 ovocitos y varianza igual a 365425,8 ($CV = 9,2\%$). En este caso, corresponde al estimado utilizando la relación establecida para el año 2005.

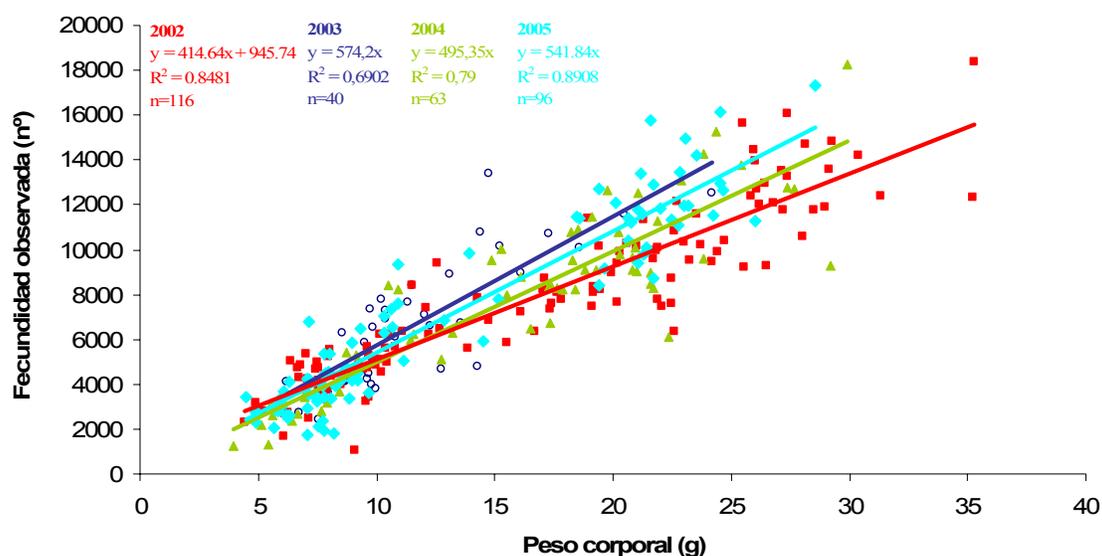


Figura 31. Líneas de regresión para la fecundidad parcial en función del peso corporal con forzamiento al origen, para cada año de aplicación del Método de Producción de Huevos en sardina común Zona Centro-Sur.

8.8. Objetivo 4: Proporción sexual, peso promedio de hembras maduras, y varianza asociada

En la anchoveta, la proporción de hembras en peso presentó un rango entre 0,14 y 0,78, con un promedio de 0,47 y varianza de 0,00024 ($CV = 3,3\%$). En el caso de la sardina común, la proporción de hembras fluctuó entre 0,29 y 0,72, con un promedio de 0,52 y varianza de 0,00025 ($CV = 3,1\%$).

El peso promedio de las hembras maduras se estimó a partir del muestreo aleatorio de hembras. Los datos fueron corregidos por el efecto del fijador y, a su vez, el peso de las hembras hidratadas fue corregido utilizando una regresión entre el peso total corregido y el peso corporal de las hembras que no estuvieron hidratadas (anchoveta: $a = -0,067$; $b = 1,055$; $r^2 = 0,998$; $n = 991$; sardina común: $a = 0,963$; $b = 1,009$; $r^2 = 0,998$; $n = 1286$).

El peso promedio de las hembras maduras de anchoveta fue de 13,62 g con varianza de 0,834 (CV = 6,7%), mientras que el peso promedio de las hembras maduras de sardina común fue de 13,1 g con varianza de 1,264 (CV = 8,6%).

8.9. Objetivo 5: Biomasa desovante y varianza asociada

Los parámetros reproductivos y la producción diaria de huevos de anchoveta y sardina común que han sido estimados se resumen en la **Tabla 28**. En consecuencia, entre la V y X Regiones y durante el periodo de máxima actividad reproductiva que ocurrió entre agosto y septiembre de 2005, la biomasa del stock desovante de los recursos objetivos ha sido evaluada en 376.402 t de anchoveta y 64.925 t de sardina común, con varianza de $175,65 \times 10^8$ (CV = 35,2%) para anchoveta y de $9,827 \times 10^8$ (CV = 48,3%) para sardina común (**Tabla 28**). El área de estudio, comprendida por los sectores norte, centro y sur, fue de 32.523 km², al interior de la cual el área de desove de anchoveta fue de 14.018 km² (43,1 % del área de estudio) y el área de desove de sardina común de 4.929 km² (15,2 % del área de estudio).

Tabla 28. Parámetros reproductivos, producción diaria de huevos y biomasa del stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur de Chile. Entre paréntesis se indica el coeficiente de variación entre paréntesis.

Parámetro	Anchoveta	Sardina común
Producción diaria de huevos, P_0 (huevos/0,05m ² /día)	25,56 (0,336)	15,77 (0,465)
Producción diaria en el área de estudio, PA (huevos/día)	$71,66 \times 10^{11}$	$15,55 \times 10^{11}$
Peso promedio de hembras maduras, W (g)	13,6 (0,067)	13,1 (0,086)
Fracción de hembras maduras en peso, R	0,47 (0,0719)	0,52 (0,031)
Fecundidad parcial, F (Nº promedio de huevos por hembra)	4998 (0,071)	6538 (0,092)
Fracción diaria desovante, S	0,110 (0,103)	0,093 (0,122)
Fecundidad específica diaria*, DSF (huevos/g)	19,0	24,1
Área de estudio, A (m ²)	32523×10^6	32523×10^6
Biomasa del stock desovante, B (t)	376402 (0,352)	64925 (0,483)

* $DSF = FSR/W$

8.10. Objetivo 6: Distribución espacial de huevos asociada a variables oceanográficas

8.10.1. Características superficiales

Las imágenes satelitales de la temperatura superficial del mar consisten en el promedio de imágenes diarias entre el 20 y 24 de Agosto, 30 de Agosto y 3 de Septiembre y, entre el 9 y 13 de Septiembre. Adicionalmente, para los sectores centro y sur (sectores en que se encontraron la mayor parte de de los huevos de anchoveta y la totalidad de los huevos de sardina común) se muestran con más detalle las secciones horizontales de temperatura, salinidad y densidad (sigma-t) en superficie (1 m), a 10 y 50 m de profundidad, obtenidas con CTD.

Para toda la zona de estudio, las imágenes satelitales muestran una disminución en temperatura superficial del mar desde el sector norte (temperaturas >13 °C en las estaciones costeras y más oceánicas) hasta la zona más austral del sector sur (temperaturas menores a 11 °C). La secuencia de promedios de TSM durante el periodo de estudio muestra a lo largo de la zona costera una extensión de las aguas más frías (11-12 °C) desde el sector central hasta el sector norte que se manifiesta a latitudes menores a $36^{\circ}30'S$ en una disminución en las temperaturas desde ca. 13 °C a menos de 12 °C (**Figura 32**). En el sector entre $36^{\circ}30'$ y $38^{\circ}00'S$ la temperatura se mantuvo entre 11 y 12 °C y, en el sector mas sur ($>38^{\circ}S$) varió entre los 10 y 11 °C

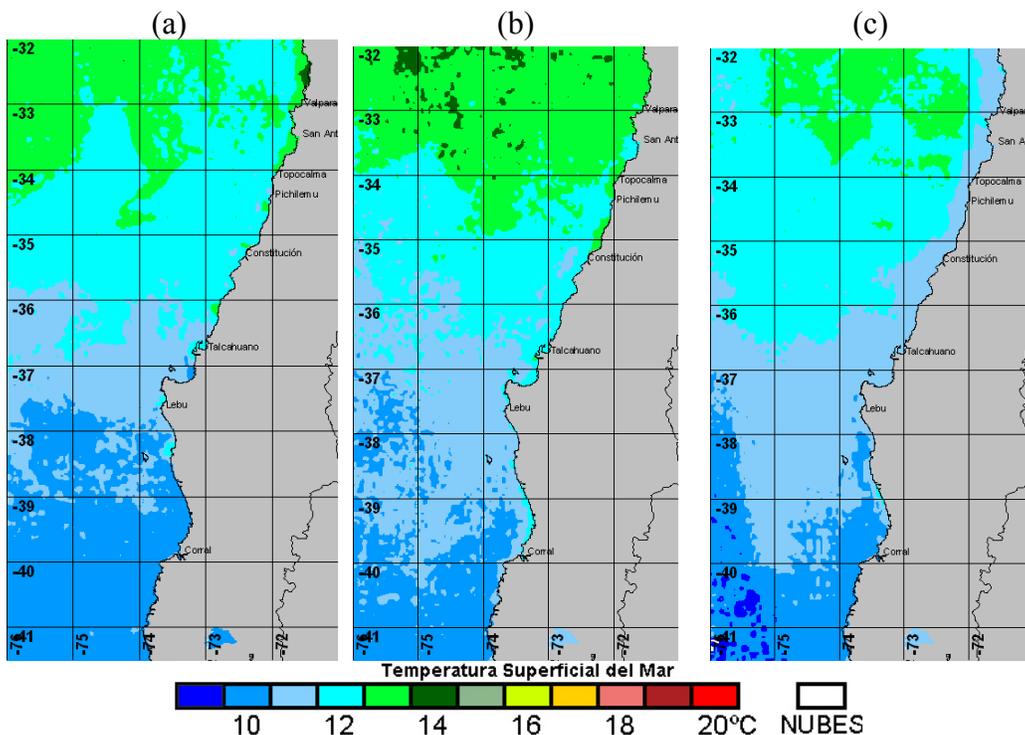


Figura 32. Temperatura superficial del mar, obtenida de promedios diarios entre las fechas a) 20 y 24 de Agosto, b) 30 de Agosto y 3 de Septiembre y c) entre el 9 y el 13 de Septiembre.

8.10.2. Hidrografía en sectores de mayor desove

Sector Central. La distribución horizontal de temperatura del sector central en superficie (1 m) señala relativamente bajas temperaturas en la zona ($<12\text{ }^{\circ}\text{C}$) entre los $35^{\circ}30'\text{S}$ y 36°S (sur de Constitución), área en la que probablemente estaría ocurriendo surgencia costera, a juzgar por las mayores salinidades y mayores valores de sigma-t. En el área más al sur de este centro de surgencia se evidenciarían aguas con relativamente mayores temperaturas (presentes incluso dentro el Golfo de Arauco), menores salinidades y menores densidades (**Figura 33**). Adicionalmente, a mayores profundidades (10 y 50 m; **Figuras 34 y 35**) se observa claramente la presencia de aguas de surgencia a lo largo de la franja costera entre los 34.8 y los 36°S , con un foco de surgencia más desarrollado a los 35.7°S .

Sector Sur. La distribución de temperatura superficial en el sector sur señala un leve gradiente latitudinal en temperatura con valores mayores hacia el norte. Los gradientes en salinidad y densidad, sin embargo, son menos notorios en sentido latitudinal y mucho más marcados en sentido costa – océano, estando las menores salinidades, a diferencia del sector central previamente descrito, en la franja costera de mayor influencia fluvial (**Figura 36**), particularmente frente a Corral. La influencia del agua dulce producto del aporte fluvial se aprecia hasta una profundidad de 10 m en la zona antes mencionada. Un foco de agua de baja salinidad también se observó fuera de la costa frente al sector de Lebu ($37.5 - 38.5^{\circ}\text{S}$), sin embargo, su origen no queda completamente claro por su distancia de la costa (**Figuras 37 y 38**).

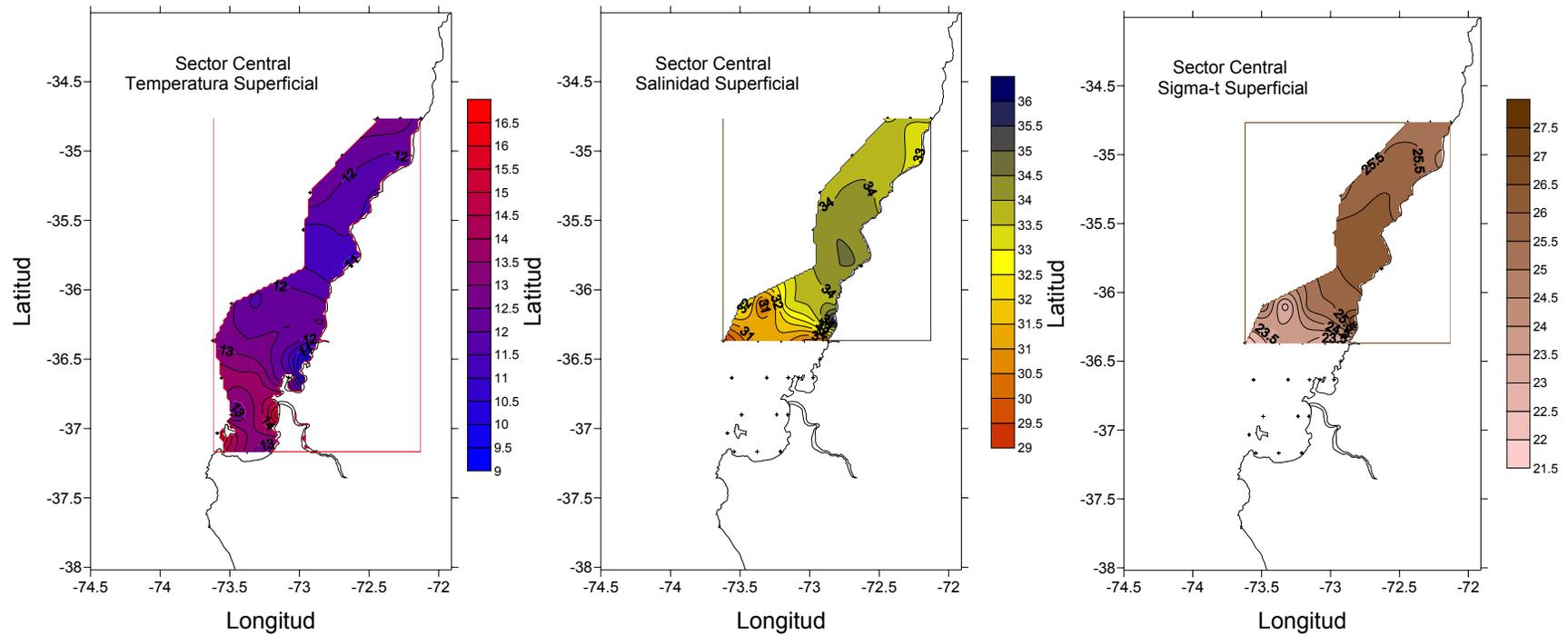


Figura 33. Características hidrográficas (temperatura (°C), salinidad y densidad (sigma-t) superficiales (1 m) en el sector central de la zona de estudio. Malfuncionamiento del sensor de salinidad no permitió obtener valores al sur de la transecta ubicada a 36°00'S.

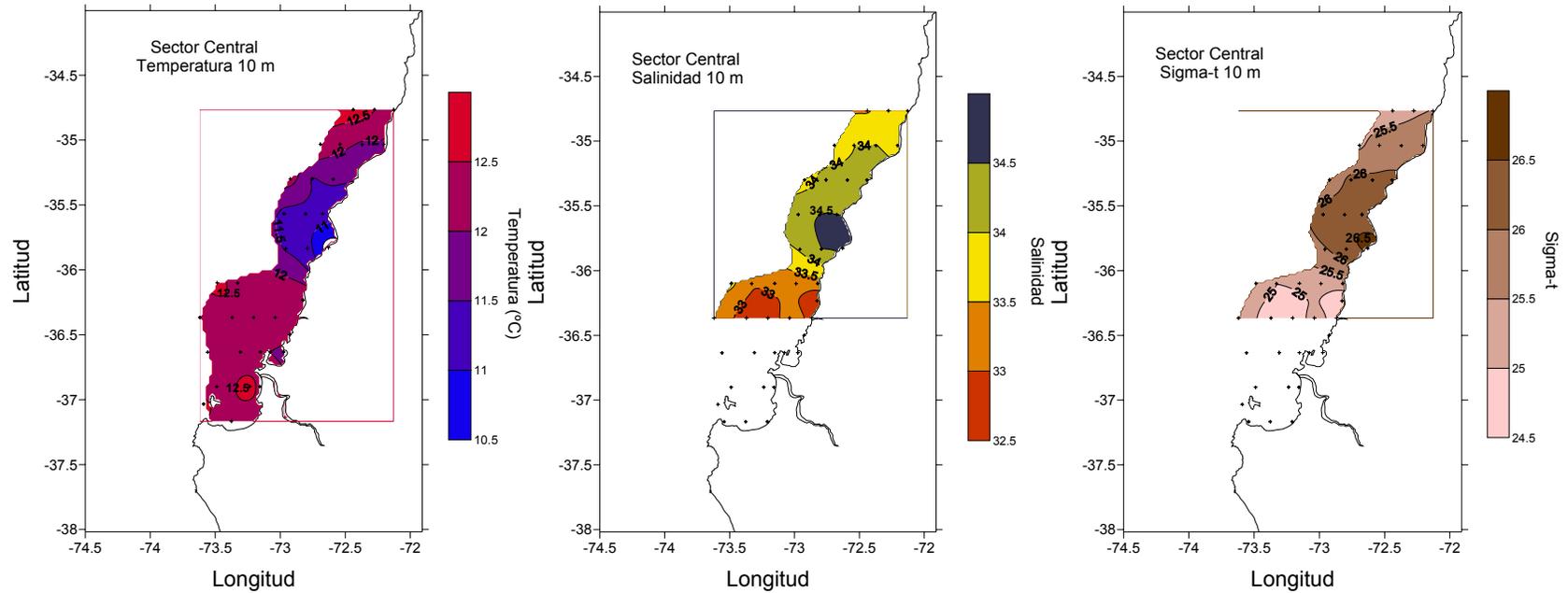


Figura 34. Características hidrográficas (temperatura (°C), salinidad y densidad (sigma-t)) a 10 m de profundidad, en el sector central de la zona de estudio. Malfuncionamiento del sensor de salinidad no permitió obtener valores al sur de la transecta ubicada a 36°00'S.

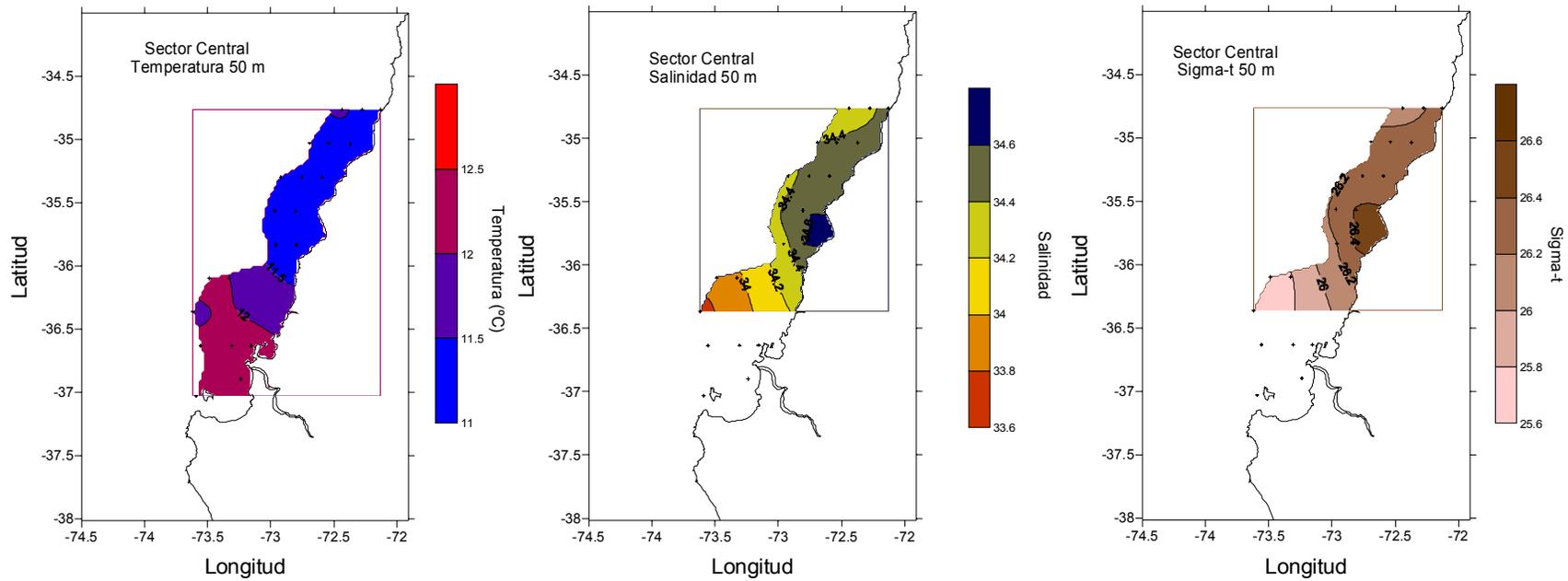


Figura 35. Características hidrográficas (temperatura (oC), salinidad y densidad (sigma-t)) a 50 m de profundidad, en el sector central de la zona de estudio. Malfuncionamiento del sensor de salinidad no permitió obtener valores al sur de la transecta ubicada a 36°00'S.

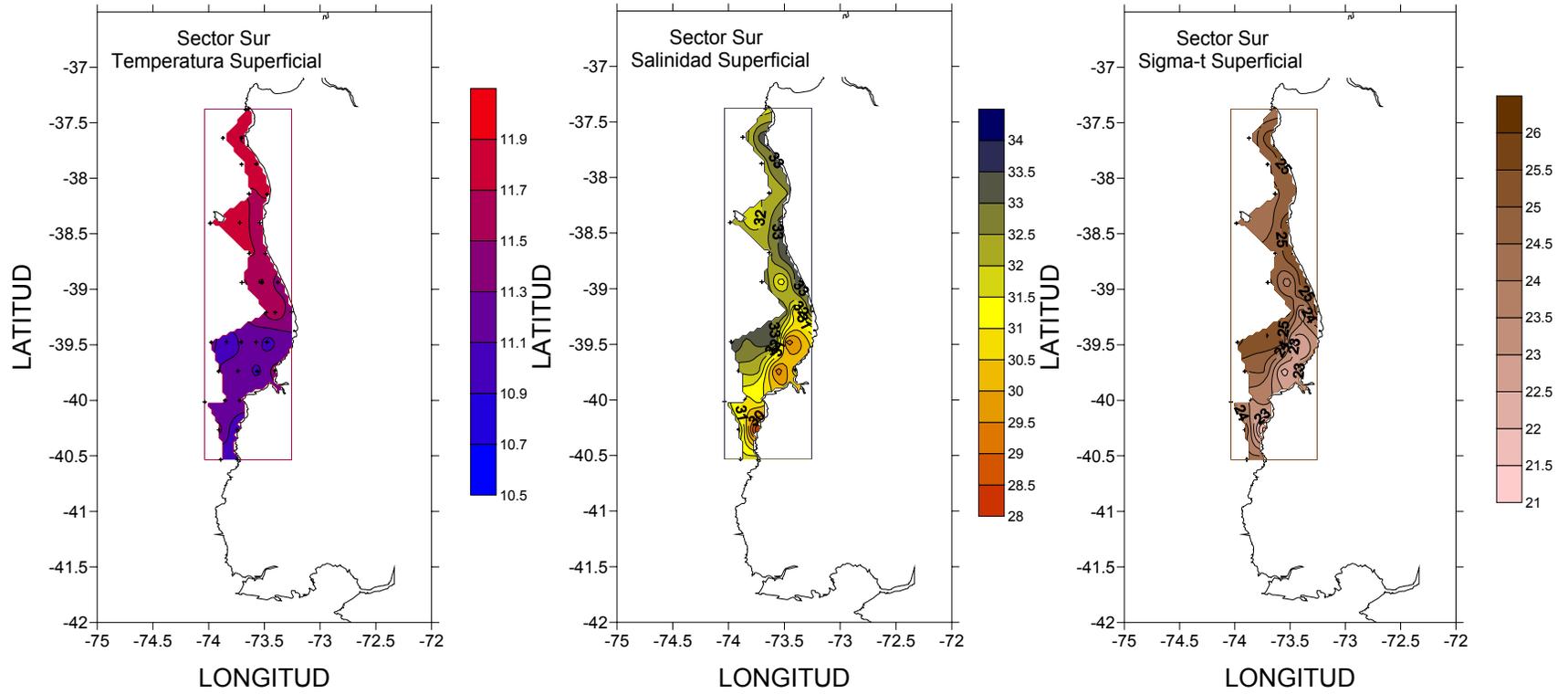


Figura 36. Características hidrográficas (temperatura (°C), salinidad y densidad (sigma-t) superficiales (1 m) en el sector sur de la zona de estudio.

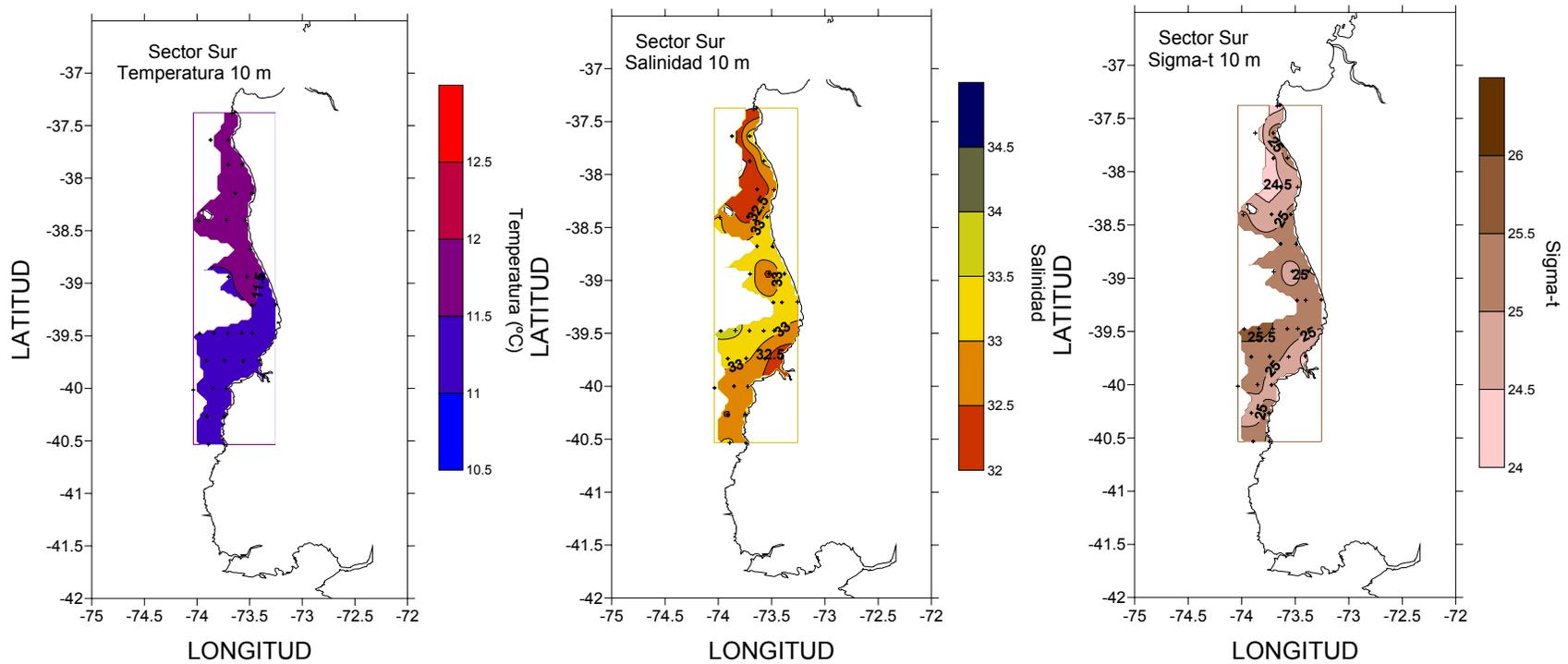


Figura 37. Características hidrográficas (temperatura (°C), salinidad y densidad (sigma-t)) a 10 m de profundidad en el sector sur de la zona de estudio.

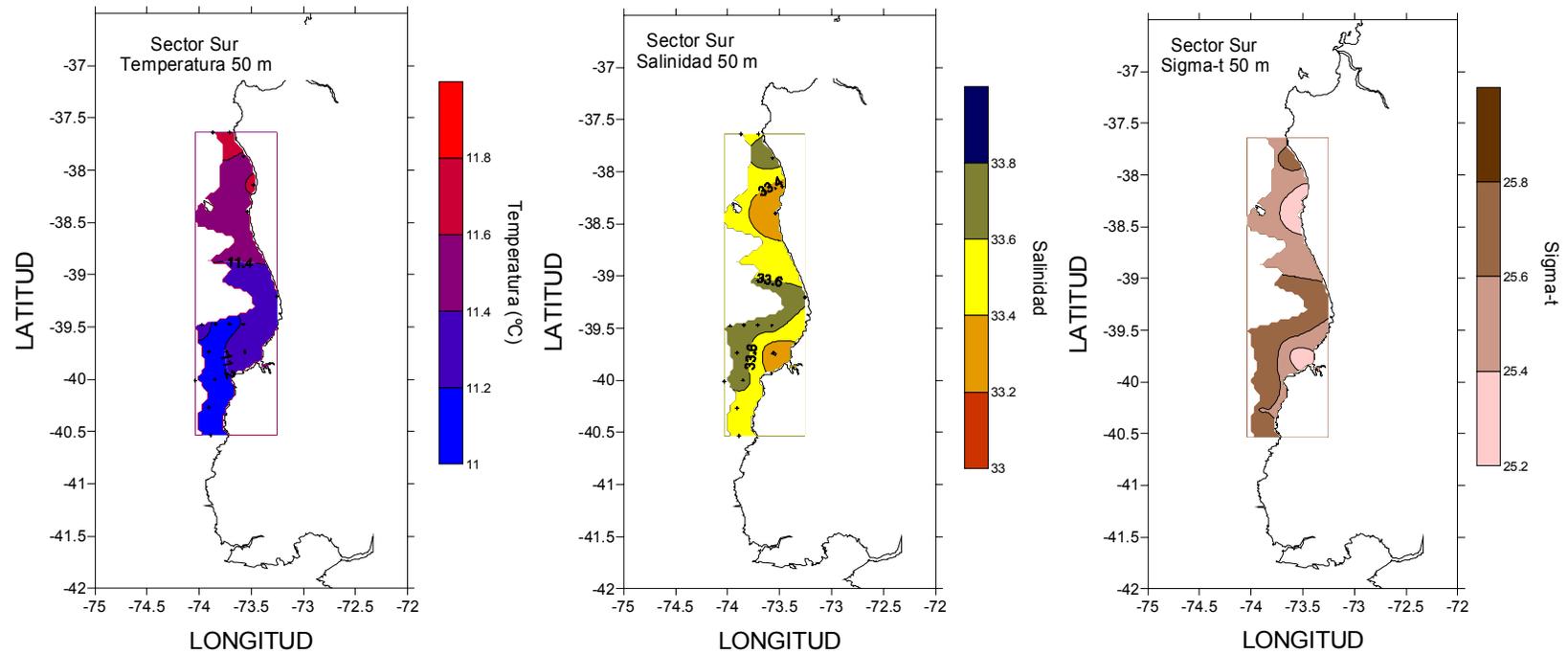


Figura 38. Características hidrográficas (temperatura (°C), salinidad y densidad (sigma-t) a 50 m de profundidad en el sector sur de la zona de estudio.

8.10.3. Secciones verticales

En la **Figura 39** se presenta tres secciones verticales de temperatura, salinidad y sigma-t obtenidas en sectores de máxima abundancia de huevos de anchoveta en las zonas central y sur de muestreo. La primera sección corresponde a una transecta ubicada ente la desembocadura del Río Itata y Bahía Concepción; la segunda corresponde a una transecta frente a 39°S y la tercera corresponde a una transecta ubicada frente a Corral. En las tres secciones de temperatura se observa el gradiente cota océano pero muy débil, al igual que una muy baja estratificación térmica. Esta débil estratificación térmica, sin embargo, contrasta con las fuertes gradientes costa océano y en profundidad en términos de salinidad. En particular, y concordando con lo observado horizontalmente, bajas salinidades ocurren en la zona costera y mayores en la zona más oceánica y en profundidad no alcanzando esta últimas, sin embargo, valores de 34.5 con lo cual se descarta la presencia de Aguas Ecuatoriales Sub-superficiales en la zona de estudio, típicas de las épocas de surgencia primaveral y estival.

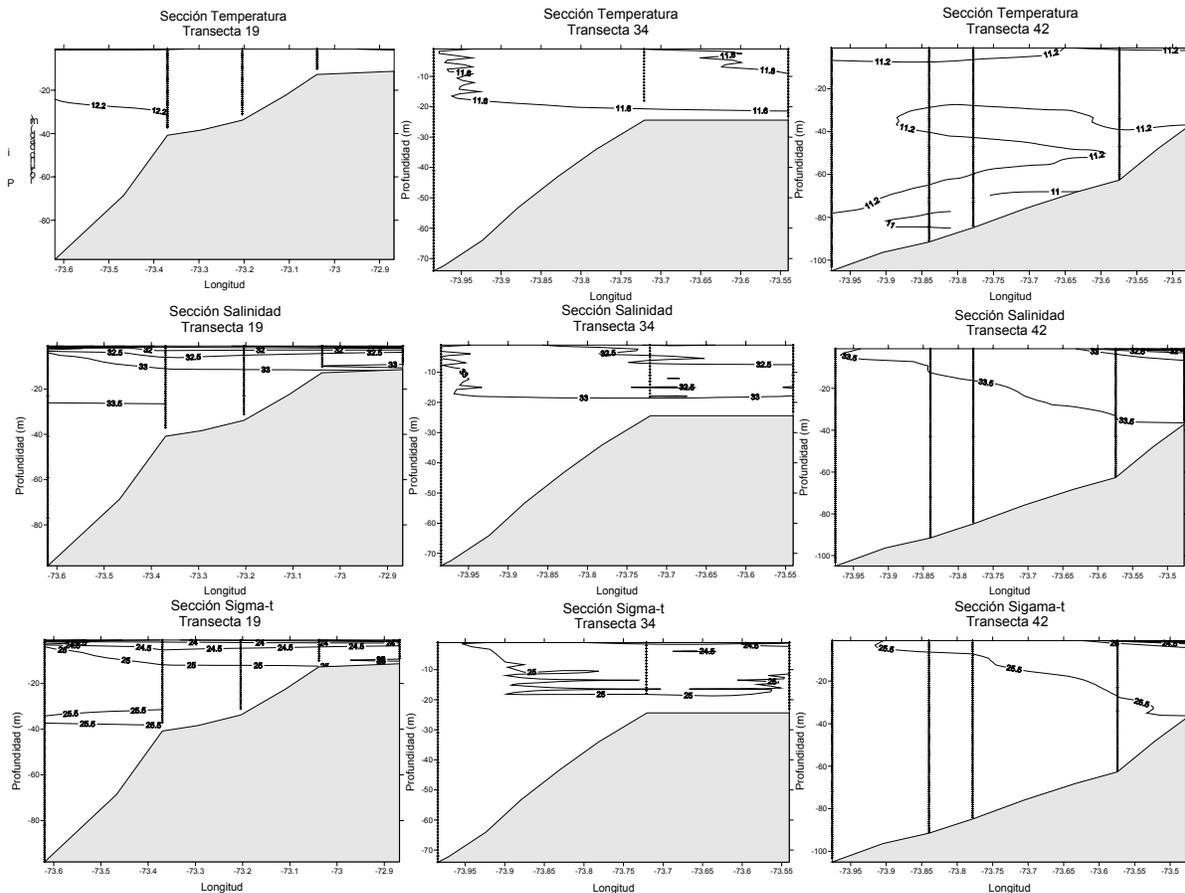


Figura 39. Secciones verticales de temperatura, salinidad y sigma-t obtenidas en 3 sectores de máxima abundancia de huevos de anchoveta en las zonas central (transecta 19) y sur (Transectas 34 y 42) de muestreo.

8.10.4. Relación huevos-ambiente

El análisis visual consistió en la sobreposición de los mapas de distribución de las variables oceanográficas descritas con la distribución de la densidad de huevos de anchoveta y sardina común en una escala horizontal. En las **Figuras 40** y **41** se presentan las distribuciones de huevos de ambas especies sobre las secciones horizontales de temperatura a 10 m de profundidad. En ambas áreas se observa que los huevos de anchoveta ocurren en un rango de temperaturas entre 10.5 y 12 °C, no coincidiendo los máximos de abundancia con ninguna temperatura en particular o en alguna zona con evidencia de mayores o menores temperaturas. En el caso de sardina común, tampoco se observa alguna asociación entre los máximos de la zona sur con algún área con una temperatura diferente al resto de la zona circundante.

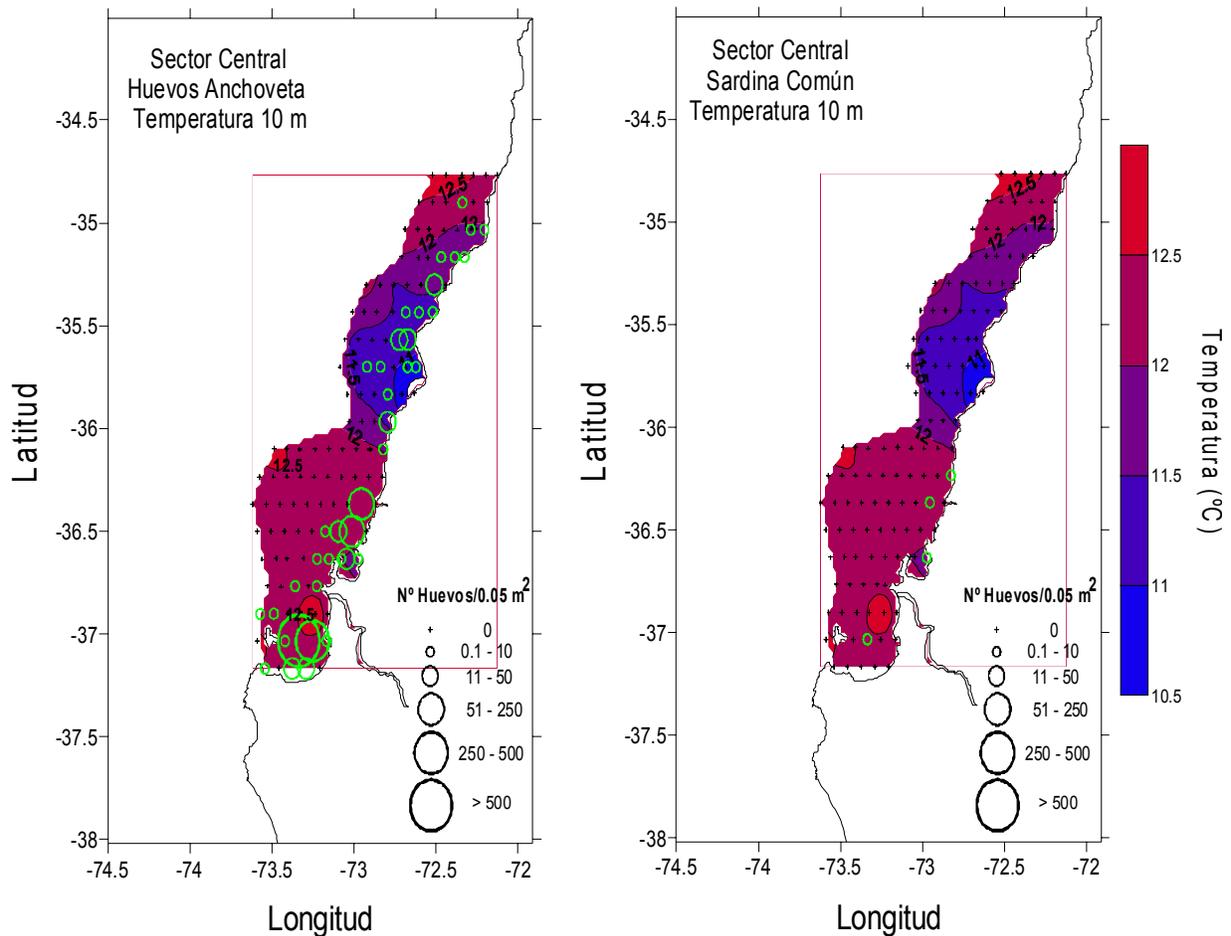


Figura 40: Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta y sardina común sobre secciones horizontales de temperatura a 10 m de profundidad en la zona central.

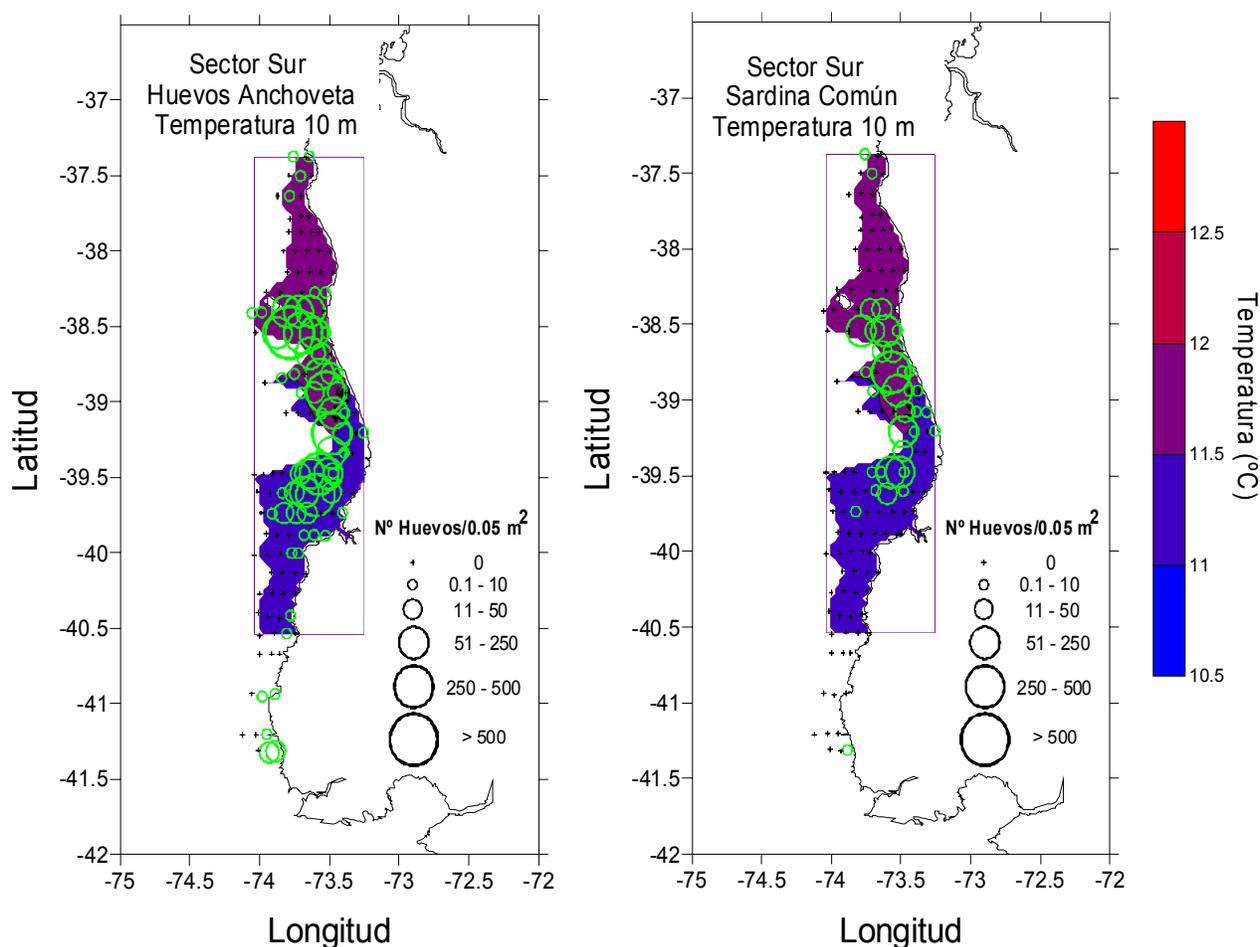


Figura 41: Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta y sardina común sobre secciones horizontales de temperatura a 10 m de profundidad en la zona sur.

Un segundo tipo de análisis gráfico consistió en la obtención de diagramas T-S con datos de hidrografía colectada a 10 m de profundidad en los cuales se superpuso una representación escalada de la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común por estación, siguiendo la metodología de Checkley et al. (2000). En la **Figura 42** se muestra este tipo de diagrama para los huevos de ambas especies para la zona sur. Ambas especies tienden a ocurrir en rangos similares de temperatura y salinidad, siendo este rango bastante estrecho en temperatura (11.2 a 11.8 °C) y más amplio en salinidad (32 a 33.4).

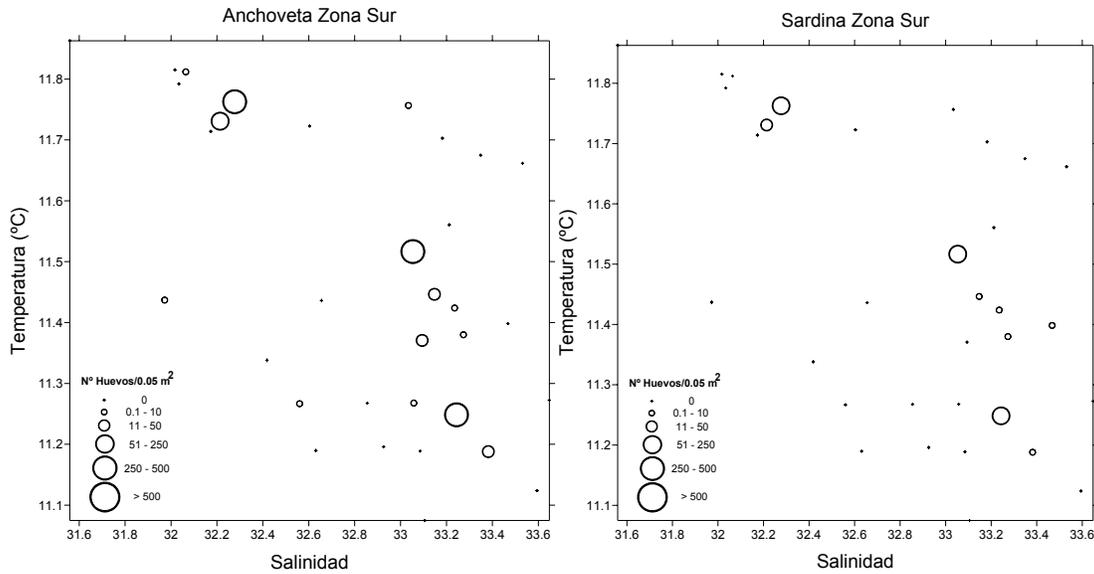


Figura 42. Representación escalada (círculos) de la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común por estación diagramas sobrepuesta en diagramas T-S de datos hidrográficos colectados a 10 m de profundidad en la zona sur, zona de mayor abundancia de huevos de ambas especies.

8.10.5. Análisis preferencia-rechazo

La prueba de aleatorización del total de los huevos de sardina común y anchoveta con las variables del hábitat analizadas (temperatura y profundidad del fondo), mostraron asociaciones significativas (**Tabla 29**). Esto es, la profundidad de fondo es determinante en la distribución de la densidad de huevos de anchoveta y sardina común, con una preferencia por fondos de 66 a 72 m de profundidad y temperaturas de 12 °C.

Tabla 29. Prueba de aleatorización de la asociación entre los huevos de sardina común y anchoveta con la temperatura y profundidad. El símbolo “*” denota los valores de probabilidad $p \leq 0.05$. El número debajo de cada valor p es el rango de preferencia de la variable ambiental.

Especie	Temperatura (°C)	Profundidad (m)
Sardina común	0,0449* (11,9)	< 0,001* (71,5)
Anchoveta	0,0089* (11,9)	< 0,001* (66,5)

8.10.6. Análisis geoestadístico

La localización geográfica de las transectas y estaciones fue transformada a una distancia en millas náuticas. En ese sistema de referencia, la distribución espacial y la frecuencia de la abundancia de huevos de anchoveta se presenta en la **Figura 43**, observándose que los núcleos de mayor abundancia se localizan en el sector sur del área de estudio y ligeramente fuera de la costa. La mayor frecuencia de la abundancia es menor a 100 huevos/0,05 m², y por sobre este nivel la frecuencia de abundancias altas es más bien poco frecuente y local.

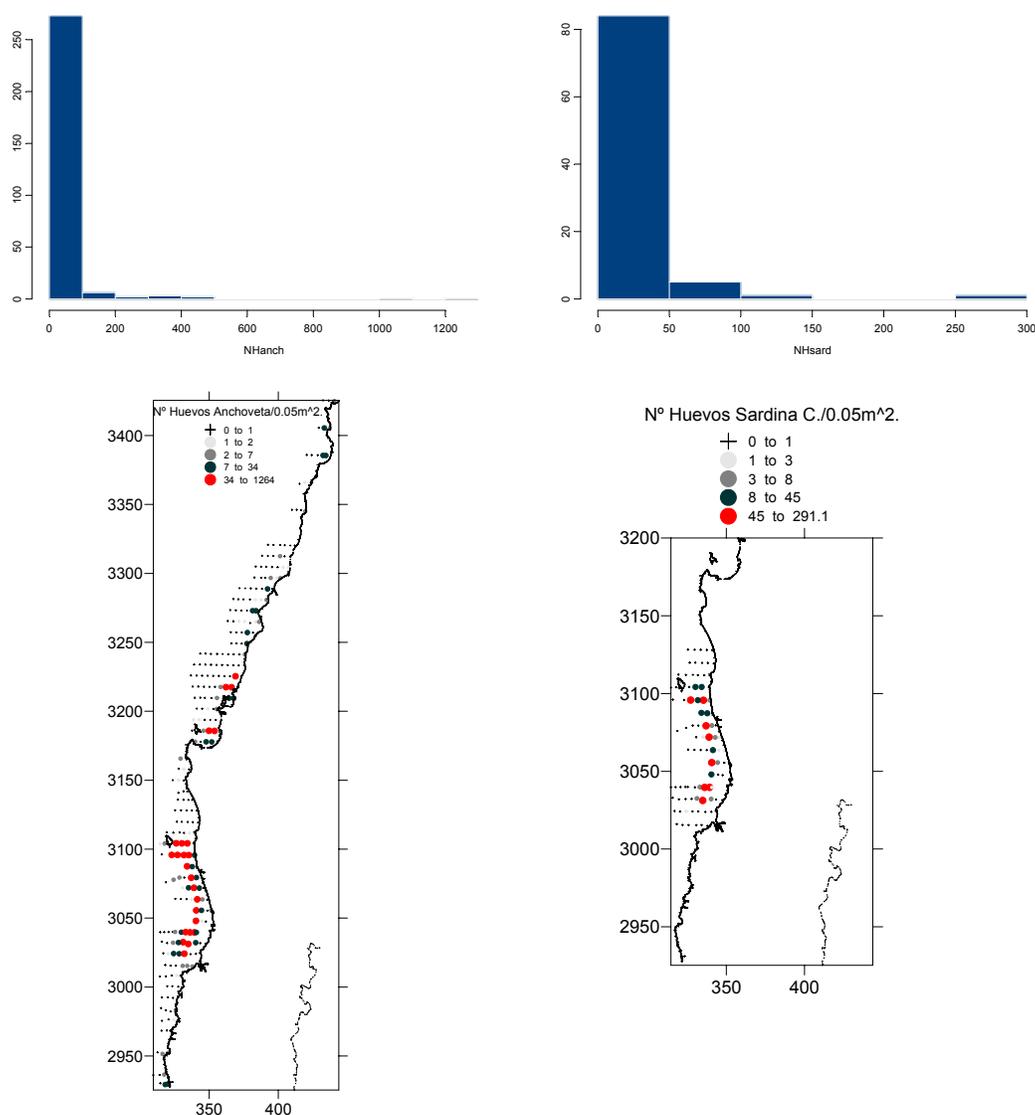


Figura 43. Distribución espacial y distribución de frecuencia de la densidad de huevos de anchoveta y sardina común.

El variograma experimental y teórico ajustado, para anchoveta se muestra en la **Figura 44**, que resultó ser omnidireccional (ausencia de anisotropía, **Figura 45**) y del tipo Gaussiano (**Tabla 30**). El tamaño de agregaciones, cluster o parches de huevos determinados por el rango del variograma teórico fue definido en 7.04 mn (ca 13.04 km.). Es decir, aunque la distancia entre transectas evitó la autocorrelación la distancia entre estaciones fue marginalmente inferior al rango del variograma.

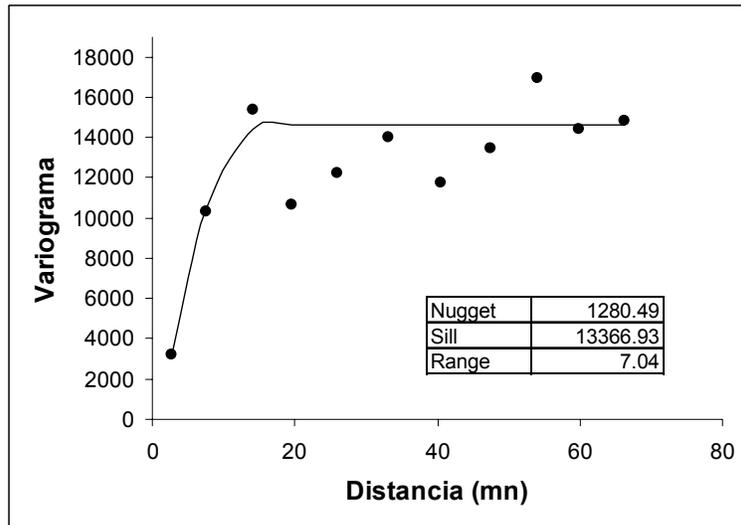


Figura 44. Variograma empírico y variograma Gaussiano ajustado con mínimos cuadrados ponderados. Los parámetros son nugget =1280.49, sill=13366.93, y rango=7.04 mn.

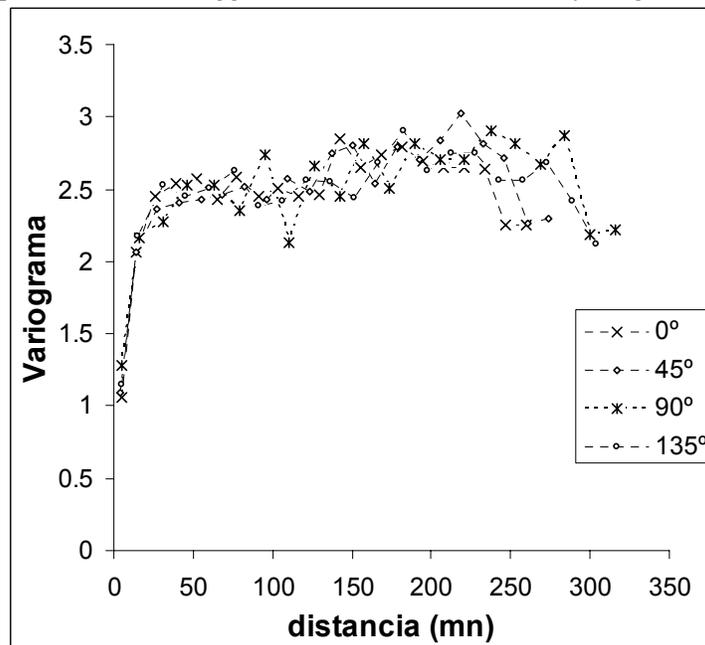


Figura 45. Variogramas direccionales en 4 direcciones ortogonales demostrando falta de anisotropía en anchoveta.

La reproducción del patrón de distribución espacial de anchoveta considerando la estructura de autocorrelación espacial descrita por los parámetros del variograma y el kriging puntual ordinario se muestra en la **Figura 46**, observándose que describe muy bien el patrón observado en la distribución de la abundancia de huevos de anchoveta. Se observa la baja abundancia de huevos de anchoveta en el sector centro, y el núcleo de mayor importancia localizado en el sector sur, con un núcleo importante de abundancia que tiende a localizarse ligeramente fuera de la costa. A pesar de esto, la modelación geostatística revela que el núcleo de abundancia fue cubierto por el crucero de evaluación.

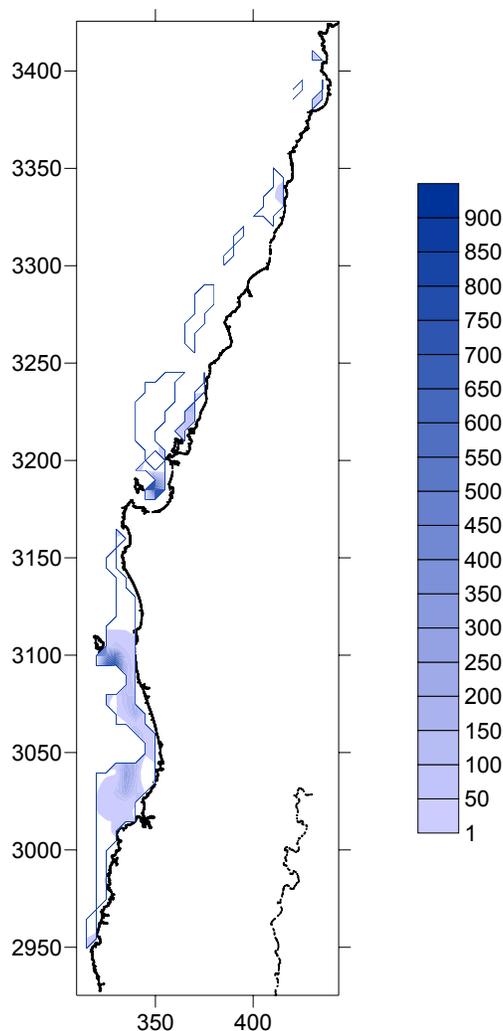


Figura 46. Reconstrucción del proceso espacial mediante kriging puntual ordinario utilizando parámetros de variograma obtenidos por mínimos cuadrados ponderados. La escala indica valores de densidad de huevos de anchoveta en número/0,05 m².

El variograma experimental y teórico ajustado, para sardina común se muestra en la **Figura 47**, que resultó ser omnidireccional (ausencia de anisotropía, **Figura 48**) y del tipo Esférico (**Tabla 30**) con un tamaño de agregaciones, cluster o parches de huevos determinados por el rango del variograma teórico definido en 17.04 mn (ca 31.56 km.). Es decir, aunque la distancia entre transectas evitó la autocorrelación la distancia entre estaciones fue muy inferior al rango del variograma.

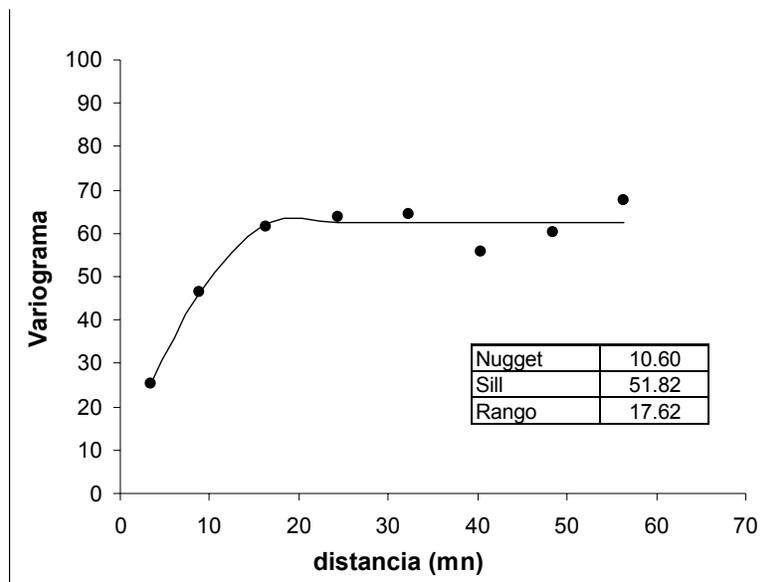


Figura 47. Variograma empírico método robusto y variograma Esférico ajustado con mínimos cuadrados ponderados. Los parámetros son nugget =10.6, sill=51.82, y rango=17.62 mn.

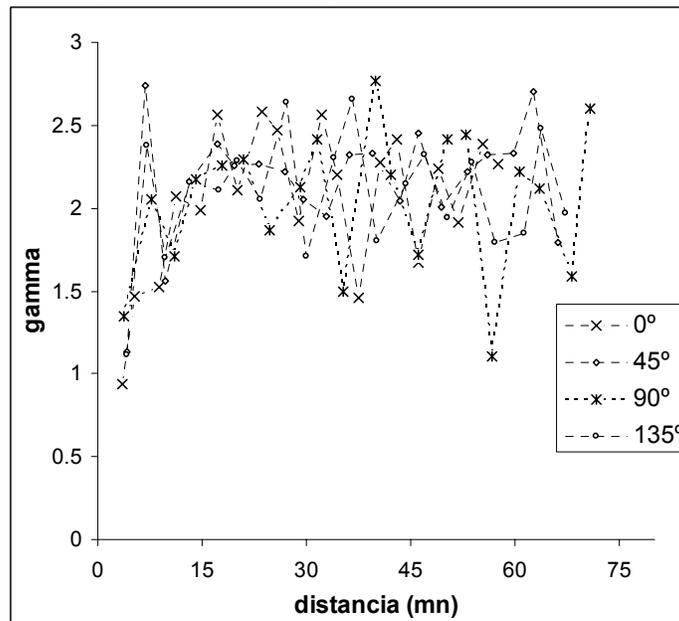


Figura 48. Variogramas direccionales en 4 direcciones ortogonales demostrando falta de anisotropía en sardina común para la zona sur del estudio.

La reproducción del patrón de distribución espacial de sardina común considerando la estructura de autocorrelación espacial descrita por los parámetros del variograma y el kriging puntual ordinario se muestra en la **Figura 49**, observándose que describe muy bien el patrón observado en la distribución de la abundancia de huevos de sardina común en la zona sur. Se observa el núcleo de mayor importancia localizado en el sector sur de la Isla Mocha, con un núcleo importante de abundancia que tiende a localizarse ligeramente fuera de la costa. A pesar de esto, la modelación geoestadística revela que el núcleo de abundancia fue cubierto por el crucero de evaluación en la zona sur.

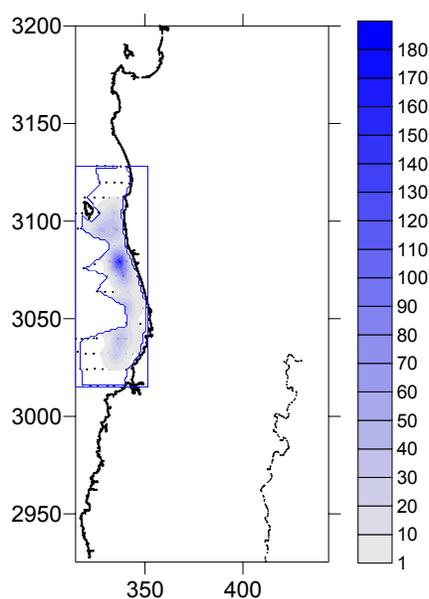


Figura 49. Reconstrucción del proceso espacial mediante kriging puntual ordinario utilizando parámetros de variograma obtenidos por mínimos cuadrados ponderados. La escala indica valores de densidad de huevos de sardina común zona sur en número/0,05 m².

Tabla 30. Resultados de la validación cruzada para el número de sectores y el máximo número de puntos a ser usados en el kriging para el número de huevos de anchoveta y sardina común.

Especie	Método	Modelo	Número de sectores	Máximo número de puntos	Densidad promedio (h /0.05m ²)	C.V (%)	Desv.Std residuos
Anchoveta	clásico	Gaussiano	1	10	49.009	17.624	47.035
Sardina	robusto	Esférico	1	6	15.598	6.044	15.923

8.10.7. Comparación con otras evaluaciones

La evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur de Chile comenzó en el 2002 (Cubillos et al., 2003). En dicho estudio se evaluó una grilla intensa de estaciones que permitió evaluar el tamaño de los parches o cluster de huevos de ambas especies y mejorar, por ende, el diseño de muestreo de huevos. El 2003, Bernal et al. (2004) realizaron una segunda evaluación del stock desovante, pero una serie de problemas de logística relacionados con la disponibilidad oportuna de embarcaciones determinó un muestreo de huevos que se extendió por casi tres meses (23 de agosto – 19 de octubre) mientras que el muestreo de adultos se realizó entre el 20 de agosto y 12 de septiembre de 2003. Esta es la principal limitante de dicho estudio. En el 2004, la producción total de huevos realizada se evaluó con una grilla menos intensa.

Una comparación cualitativa de los cuatro cruceros de evaluación con el MPDH se presenta en la **Figura 50**, en términos de la grilla de muestreo y la distribución espacial de las estaciones positivas. Solamente en el crucero 2002 se cubrió plenamente el área de desove, mientras que en el 2003 hubo transectas en las que el límite occidental del desove no fue satisfactoriamente resuelto, tanto en el sector centro como sur. No obstante lo anterior, y de un análisis general de los tres cruceros, se puede señalar que las zonas de desove de anchoveta y sardina común han sido características y con persistencia interanual.

En el caso de la anchoveta, se identifica una zona de desove que se presenta en forma continua principalmente desde los 35°S hasta el Golfo de Arauco (37°10'S), y otra zona de desove localizada desde los 37°30'S hasta los 41°S, con una mayor abundancia entre los 38°S y 40°S. En la sardina común, en cambio, se identifican zonas de desove más discretas reconociéndose un núcleo de desove en los alrededores de Constitución y centrado en los 35°30'S, otro entre la desembocadura del Río Itata y la Bahía Concepción, y otro en el fondo del saco del Golfo de Arauco. En estas zonas, la abundancia de sardina común es menor que en la zona de desove que se presenta entre los 38°S y 40°S.

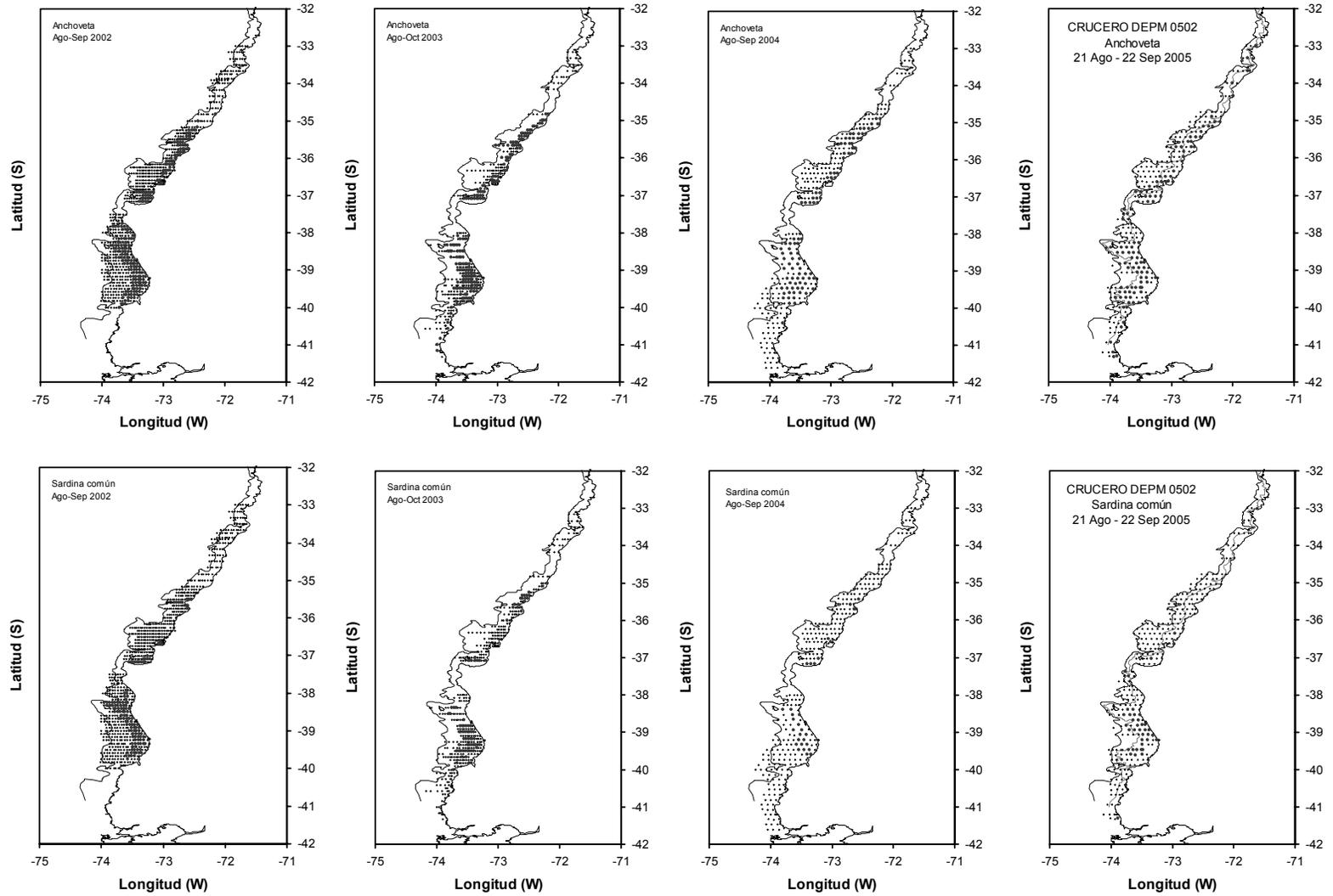


Figura 50. Grilla de muestreo de los cruceros FIP 2002-14, FIP 2003-06, FIP 2004-03, FIP 2005-02, y distribución de las estaciones positivas con huevos de anchoveta.

La evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común en los últimos cuatro años revela cambios importantes, aunque el área de desove positiva ha mantenido una tendencia al incremento en el caso de la anchoveta y, a excepción de 2005, levemente decreciente en el caso de la sardina común (**Tabla 31**). El peso promedio de las hembras maduras de anchoveta fue mayor en el 2004, incidiendo en un incremento en la fecundidad media poblacional y, probablemente, la frecuencia del desove (Claramunt, 1999; Claramunt, comm. pers.); pero la fecundidad específica diaria se ha mantenido relativamente constante entre 19,0 y 23,6. En el caso de la sardina común, los parámetros reproductivos sugieren una reducción del peso promedio entre el 2002 y 2005 y, por ende, también en la fecundidad media poblacional. La fecundidad diaria específica de sardina común fue mayor el 2004, siendo comparable en el resto de los años.

Tabla 31. Resumen de los parámetros reproductivos, producción diaria de huevos y biomasa del stock desovante de anchoveta y sardina común evaluados con el MPDH en el periodo 2002 – 2005.

Nomenclatura: W = peso promedio de hembras maduras (g), F = fecundidad media poblacional (ovocitos/día), S = fracción diaria de hembras desovantes; R = proporción sexual en peso; P_0 = producción diaria de huevos (huevos/0,05 m²/día) en el área positiva; B = biomasa desovante (t); A_1 = área de desove positiva; FED = fecundidad específica diaria. FR = fecundidad relativa.

	Anchoveta				Sardina común			
	2002	2003	2004	2005	2002	2003	2004	2005
W	18,6	16,9	19,3	13,6	21,4	15,6	15,7	13,1
F	6.758	6.437	7.117	4.998	9.277	8.341	7.244	6538
S	0,11	0,12	0,20	0,110	0,13	0,08	0,137	0,093
R	0,51	0,52	0,32	0,47	0,47	0,52	0,50	0,52
P_0	8,02	19,94	12,21	25,6	35,96	2,09	2,47	15,8
B	59.212	148.272	95.721	376.402	115.926	6.268	5.916	64.925
A_1	7.289	8.869	9.260	14.018	4.527	4.400	3.764	4.929
FED	20,4	23,8	23,6	19,0	26,5	22,2	31,4	24,1
FR	363,3	380,9	369,0	367,0	433,5	534,7	461,4	499,1

En términos generales, la biomasa desovante de anchoveta presentó un incremento entre el 2002 y 2005, mientras que el stock desovante de sardina común disminuyó severamente en el 2003 y 2004, recuperándose el 2005. Las evaluaciones del stock desovante pueden ser comparadas con las evaluaciones acústicas de biomasa total que se realizan en enero de cada año, y que son sustentadas básicamente por el pulso de nuevos reclutas que se incorporan al stock (**Tabla 32**). Se puede observar que la biomasa de sardina común, evaluada a comienzos de año, presenta una sostenida tendencia decreciente, siendo la evaluación del stock desovante consistente con dicha tendencia (**Figura 51**). En la anchoveta, se observa

una situación diferente, con altos niveles de biomasa a comienzos de 2002 y 2004, y una biomasa baja durante el 2003 (**Figura 51**).

Tabla 32. Evaluación acústica de la biomasa de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur de Chile (1999-2006). Los valores se refieren a la estimación con geoestadística, indicándose el coeficiente de variación (CV).

Año	Fecha	Latitud	Anchoveta		Sardina común		Fuente
			Biomasa (ton)	CV	Biomasa (ton)	CV	
1999	2 - 21 Dic.	34°S-40°15'S	344.659	0.400	227.397	0.180	Castillo et al. (2000)
2001	3 - 23 Enero	34°S-40°S	450.818	0.130	601.373	0.137	Castillo et al. (2001)
2001	22 Ago - 18 Sep	34°S-40°S	584.862	0.046	271.393	0.147	Castillo et al. (2002a)
2002	7 - 26 Enero	34°S-40°S	1.513.007	0.052	884.269	0.136	Castillo et al. (2002b)
2003	6 - 30 Enero	33°50'S-41°S	243.556	0.110	481.605	0.093	Castillo et al. (2003)
2004	5 - 27 Enero	33°50'S-40°S	1.244.560	0.090	350.994	0.066	Castillo et al. (2004)
2005	4 - 28 Enero	33°50'S-40°S	909.664	0.093	399.936	0.109	Castillo et al. (2005)

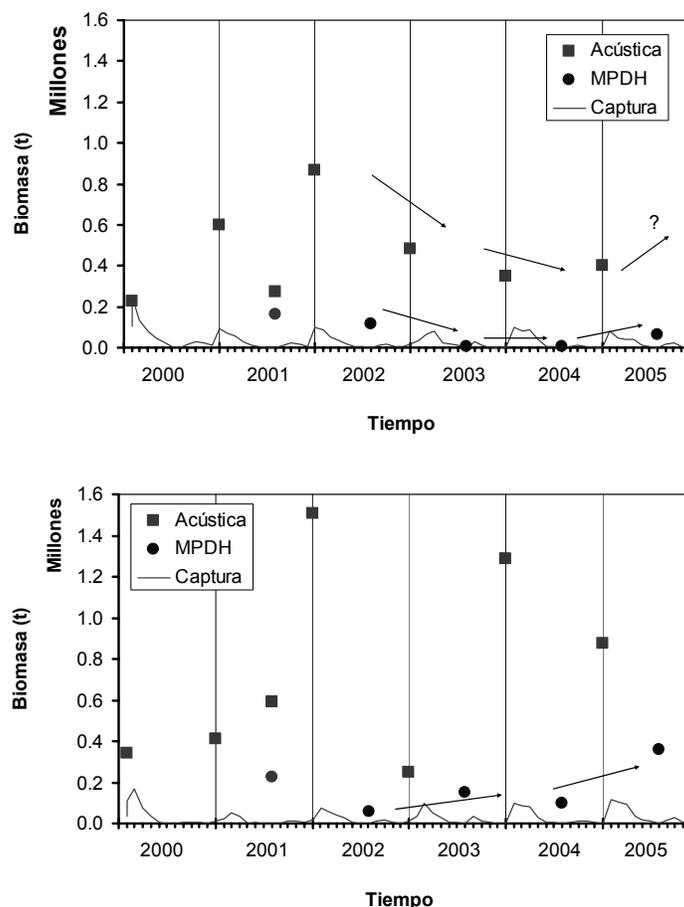


Figura 51. Evaluaciones directas de la biomasa de sardina común (arriba) y de anchoveta (abajo). La evaluación acústica de biomasa total se indica con cuadros rojos, y la biomasa del stock desovante (MPDH) con puntos azules. La captura de ambos pelágicos ocurre durante el primer semestre de cada año.

En términos del modelo de evolución simple utilizado para comparar la biomasa acústica y desovante, a través de la trayectoria mensual de los cambios en la biomasa total, los resultados se muestra en la **Figura 52**, mostrándose el ajuste a las evaluaciones acústicas disponibles y comparándose con el nivel de las capturas mensuales y las evaluaciones de stock desovante disponibles. Cabe señalar que la biomasa desovante no participó en el ajuste de estos cambios.

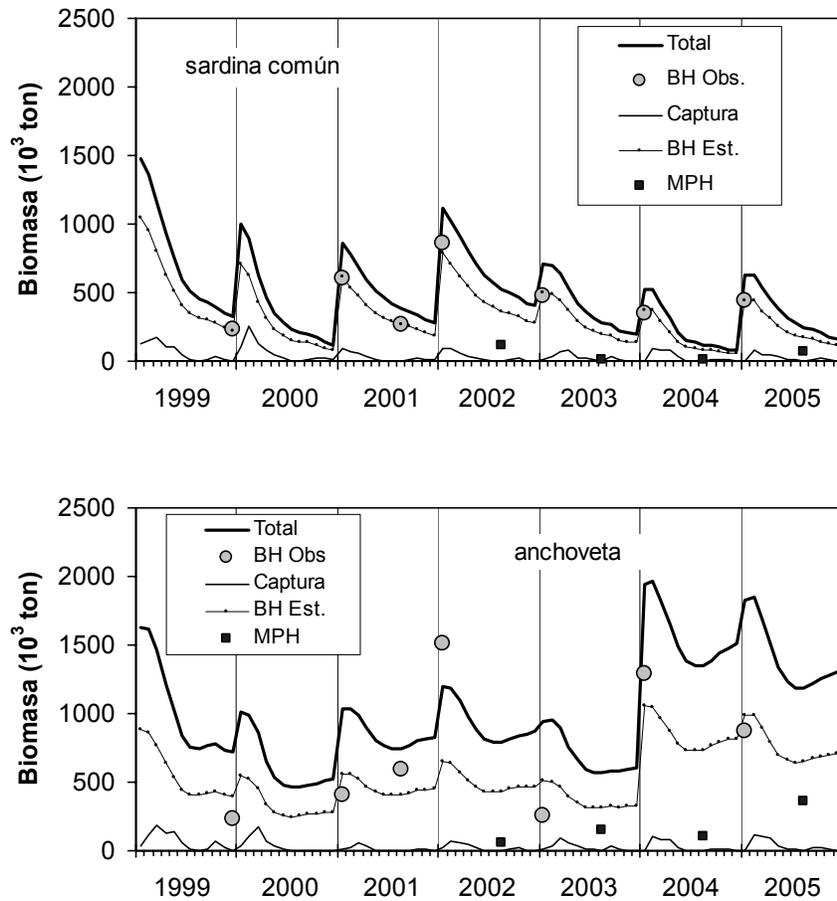


Figura 52. Trayectoria mensual de los cambios de biomasa de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur, considerando la biomasa acústica y las capturas mensuales. Se compara con las evaluaciones de stock desovante, que no participaron en el ajuste del modelo.

En la sardina común se observan fuertes disminuciones de la biomasa total dentro del ciclo anual, situación que se debe básicamente a que la pesquería se sustenta en el pulso de biomasa que recluta en enero de cada año generando una alta mortalidad por pesca antes de la evaluación del stock desovante. En agosto, la biomasa total es ligeramente mayor a las evaluaciones de biomasa desovante. Cabe destacar, que la biomasa desovante sólo constituye la biomasa que está participando del proceso reproductivo

existiendo una fracción que no es cuantificada y que forma parte de la biomasa total. No obstante, exhibe una tendencia consistente con las valoraciones de stock total realizadas sobre la base del pulso de recluta.

En el caso de la anchoveta, el ajuste del modelo a los datos acústicos no toma en cuenta la evaluación de enero de 2002, ni de 2003. No obstante, también se observan cambios mensuales importantes con una disminución importante en la biomasa total durante el primer semestre y una posterior estabilización hacia el segundo semestre. Las evaluaciones de biomasa desovante indican que la anchoveta venía incrementando desde el 2002 al 2005, no obstante la biomasa total estimada con el modelo para agosto coincide parcialmente con las tendencias observadas.

9 Análisis de los resultados

A través del monitoreo reproductivo de los adultos, en junio comenzó a observar presencia de hembras clasificadas histológicamente como post-desovantes de tanda y hembras reproductivamente activas en sardina común y anchoveta, situación que se fortaleció en julio para el caso de la anchoveta. Aunque en el caso de la sardina común no se contó con ejemplares en julio, los indicadores macroscópicos en términos del IGS y estados de madurez sexual, reveló en agosto una dominancia de hembras maduras y altos valores de IGS. Esta información fue obtenida entre el 9 y 10 de agosto, la que complementada con una alta abundancia de huevos en el plancton (27 de julio), permitió decidir la ejecución del crucero a partir de la segunda quincena de agosto. Sin embargo, condiciones de mal tiempo determinaron postergar el crucero hasta el 20 de agosto.

Se destaca que el monitoreo reproductivo, en el contexto del presente proyecto, pretende servir de ayuda para decidir sobre el inicio del crucero sobre la base de criterios macroscópicos principalmente, complementándose con la tendencia que exhiba el monitoreo ictioplanctónico. Los indicadores microscópicos básicamente no son de ayuda en tiempo real, y son utilizados para confirmar la decisión adoptada. En este contexto, con una muestra lograda el 9 y 10 de agosto en la zona central del área de estudio, se tomó la decisión de iniciar el crucero sobre la base de la condición reproductiva de la anchoveta.

El crucero de evaluación propiamente tal, se inició el 21 de agosto y se extendió básicamente hasta el 31 de agosto en la zona sur, mientras que en el sector centro se realizó entre el 30 de agosto y 15 de septiembre, y el sector norte se ejecutó entre el 21 y 22 de septiembre. En relación con el crucero de adultos, comenzó el 24 de agosto y se terminó el 11 de septiembre, lo que implica una evaluación simultánea de la expresión del desove y de la condición reproductiva de los cardúmenes desovantes de ambas especies.

De acuerdo con la distribución espacial del desove, se observó que en ambas especies el desove ocurre muy cerca de la costa, dentro de las primeras 15 – 20 millas náuticas. En el caso de la anchoveta, la distribución de la abundancia fue similar a la observada en el 2002 (Cubillos et al. 2003), 2003 (Bernal et al., 2004), y 2004 (Cubillos et al. 2005), con la excepción de que por primera vez en este tipo de cruceros se observó presencia de huevos de esta especie en el sector norte (Valparaíso – 34°00'S). En el caso de la sardina común, sin embargo, se observó una muy baja abundancia de huevos en el sector centro (2,5

huevos/0,05 m²), aunque ligeramente mayor a la observada en el 2004 (1,6 huevos/0,05 m²). En consecuencia, en la sardina común la expresión del desove fue más importante en el sector sur con 30,6 huevos/0,05 m², muy superior a la abundancia del 2004 (8,3 huevos/0,05 m²).

La cobertura espacial de la grilla de muestreo y su extensión longitudinal, que cubrió la plataforma continental delimitada por la isobata de 200 m, permitió cubrir plenamente los mayores núcleos de abundancia de ambas especies a excepción de algunas transectas del sector sur en que la abundancia de huevos de anchoveta, particularmente, podría sugerir que el desove pudo ser más occidental. No obstante, dado el carácter costero del desove y considerando que la distribución del desove ha sido similar a la del 2002, 2003 y 2004, se podría decir que prácticamente el área de desove fue cubierta. Se destaca que la tendencia más occidental del desove se observó hacia el sector oceánico en las inmediaciones de la Isla Mocha (38°S-38°30'S), pues el desove sigue el veril de los 50-100 m y en esa área se extiende hacia el océano de la Isla Mocha. Se realizaron dos estaciones, al oeste de la Isla Mocha y solamente se encontró una baja densidad de huevos de anchoveta. Las mayores densidades estarían hacia el sureste de la Isla Mocha, y principalmente al interior de la isobata de 100 m.

Desde un punto de vista global, la distribución del desove encontrada en ambas especies es coincidente con los antecedentes recientes que se disponen, y que han sido desarrollados en términos de la distribución de adultos, reclutas, huevos y larvas de sardina común y anchoveta (ver Castro et al. 1997, Castillo et al. 2002a, 2002b, 2003, 2004, Cubillos et al. 2003, Bernal et al., 2004). Estos estudios han revelado la ausencia de huevos de sardina común y anchoveta hacia el norte de los 34°S (Norte de Constitución) y hasta los 32°20'S (norte de Valparaíso). En este estudio, sin embargo, por primera vez en este tipo de cruceros se confirma que el sector norte, comprendido entre los 33°S (Valparaíso) y los 34°00'S, podría constituir un área que puede ser importante para el desove de anchoveta.

Se considera que el diseño de muestreo estratificado, para la evaluación del área de desove de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur de Chile, permite una muy buena caracterización de los núcleos de alta densidad de huevos. Las diferencias espaciales entre el sector norte, centro y sur del área de estudio están asociadas con la configuración de la plataforma continental, la orientación de la costa y la batimetría, los cuales son factores que se pueden considerar determinantes en la distribución de la producción total de huevos de ambas especies. En efecto, se encontró una buena asociación entre la densidad de huevos de ambas especies con la profundidad, lo que sugiere que los cardúmenes desovantes prefieren aguas someras con profundidades menores a los 70 m para desovar. La temperatura superficial

del mar, aunque con una distribución relativamente homogénea en el periodo y área de estudio (11 – 13 °C), indica que los huevos estuvieron asociados a TSM de 11,9 °C.

Se destaca que el crucero, tanto de huevos como de adultos, se desarrolla bajo condiciones meteorológicas cambiantes que se caracterizan por la presencia de frentes de mal tiempo alternados por periodos de fortalecimiento del anticiclón que determina periodos con buen tiempo y vientos del cuadrante sur y sur-oeste. Estas características meteorológicas, la configuración de la costa en interacción con el aporte de agua dulce asociada a los grandes ríos en el área de estudio, determinan condiciones que favorecen la concentración y retención de huevos en la costa, hipótesis coherente con la triada de Bakun (1996). Cubillos et al. (2001), establecen que la estrategia reproductiva de estas especies en la zona centro-sur de Chile ocurre al término del invierno (agosto) cuando ocurren condiciones oceanográficas que favorecen la retención de huevos en la costa (e.g. transporte hacia la costa, y convergencia debido a la dominancia de vientos norte), y el enriquecimiento a través de un régimen de surgencias moderadas que favorece tanto en la producción de alimento, como su concentración en zonas costeras, con mejores perspectivas para la sobrevivencia de larvas y juveniles (Castro et al. 2000, Castro y Hernández, 2000).

Desde el punto de vista de la evaluación de la producción total de huevos, el diseño de la grilla de muestreo permitió evitar la autocorrelación espacial de las agregaciones, cluster o parches de huevos. El análisis estructural con técnicas geoestadísticas reveló que el rango de los variogramas fue de 7,04 y 17,04 mn para anchoveta y sardina común, respectivamente. La distancia entre transectas fue de 8 mn y la distancia entre estaciones de 4 mn, de tal manera que la autocorrelación sólo se evitó en el caso de la anchoveta y en el sentido norte-sur. Se destaca que la distribución espacial del desove constituyó un proceso isotrópico, es decir la correlación espacial y el rango de la correlación no cambian con una dirección espacial determinada. Este comportamiento resultó ser diferente al estudio geoestadístico realizado por Cubillos et al. (2003), en que se detectó anisotropía zonal con el rango del variograma en el sentido N-S de 6,6 mn y de 3,6 mn en el sentido E-O para el caso de los huevos de anchoveta, y de 15,6 mn (N-S) y de 6,4 mn (E-O) en el caso de la sardina común. De acuerdo con el rango de los variogramas, aparentemente los huevos de sardina común tienen una mayor dispersión que en el caso de la anchoveta. Para detectar si tales cambios agregativos cambian con el tiempo de desarrollo de los huevos, habrá que investigar el rango de los variogramas por estadios de desarrollo o bien por grupos de edad provisionales de las cohortes diarias detectadas.

La evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común se realizó finalmente de acuerdo con el método convencional (Lasker, 1985). Aunque se intentó la aplicación de un modelo innovativo para la

estimación de la producción diaria de huevos y la biomasa desovante, no fue posible debido a la calidad de los datos disponibles relacionados con los experimentos de incubación de huevos. En efecto, para establecer un modelo probabilístico multinomial se requiere de múltiples observaciones desde el estadio I al XI para todas las temperaturas experimentales. En este contexto, nuevos experimentos de incubación serán necesarios para avanzar con las nuevas metodologías. No obstante lo anterior, el área de crucero fue delimitada por 'geofun', se determinó los parámetros de un modelo de desarrollo estadio-temperatura dependiente, y se pudo determinar la edad a los huevos y su posterior agrupación en cohortes diarias. La expresión espacial de la producción diaria de huevos pudo ser modelada con modelos GAM, observándose la potencialidad de la técnica en el sentido de llevar las estimaciones a la componente espacial. En efecto, el método convencional solo permite un estimado global.

La evaluación del stock desovante de anchoveta indica que desde el 2002 al 2005 esta especie ha incrementado y expandido su área de desove, mientras que la sardina común ha salido de un periodo de baja abundancia. Este patrón es consistente y se relaciona directamente con la magnitud de las capturas obtenidas, mientras que la evaluación acústica de enero presenta una mayor variabilidad, típicamente asociada a la variabilidad del reclutamiento. En el caso de la sardina común, las evaluaciones hidroacústicas presentan una tendencia similar a la observada en la biomasa desovante. El orden de magnitud, sin embargo, se puede explicar porque la biomasa que recluta a comienzos de año declina rápidamente por mortalidad por pesca y mortalidad natural, antes de la evaluación del stock desovante.

Al considerar los parámetros reproductivos de los adultos, se considera que el número de lances y el número de hembras por lance que han sido analizados son suficientes e informativos, tanto para la anchoveta como para la sardina común. Sin embargo, algunos patrones deben ser tomados en cuenta. Por ejemplo, la fecundidad específica diaria de anchoveta se ha mantenido relativamente constante, excepto el 2005 en que disminuyó a 19. La fecundidad parcial no muestra cambios significativos entre años, similar situación ocurre en el caso de la sardina común. Estos patrones deberían ser constantes en el periodo de máxima actividad reproductiva, y cualquier variación podría deberse al efecto individual (varianza intra-lances mayor que la varianza inter-lances, G. Claramunt comm. pers.). Se ha observado que la fracción diaria de hembras desovantes de hembras de día 2 ha sido mayor que las de día 1. Esto pudiera deberse al efecto de la asignación de la edad, más que a los criterios de clasificación morfo-histológica de los folículos postovulatorios. Se destaca que cualquier corrección, sólo cambiará marginalmente la magnitud de los estimados de biomasa, pero los cambios interanuales se mantendrán.

10 Conclusiones

De acuerdo con los resultados esperados para este proyecto, se concluye que:

a) La producción diaria de huevos fue estimada en 25,56 huevos/0,05 m²/día para la anchoveta (CV = 33,6 %) y 15,8 huevos/0,05 m²/día para la sardina común (CV = 46,5%). Las estimaciones de producción diaria de huevos utilizando regresión no-lineal ponderada por el inverso de la varianza no afectó a la tasa de mortalidad, pero produjo una menor precisión de los estimados, y valores de producción diaria de huevos más altos. Un método alternativo para mejorar la precisión de los estimados es utilizar la producción de las larvas con saco vitelino, tal y como se demuestra en este estudio. Sin embargo, antes de utilizar tales estimados, es necesario investigar la consistencia interanual en los estimados de tal aproximación.

b) La fracción diaria de hembras desovantes se estimó utilizando la hembras con folículos postovulatorios de día 1 y 2, siendo en la sardina común de 0,093 (CV = 12,2 %) y de 0,11 (CV = 10,3 %) en la anchoveta. Durante el periodo de evaluación, las hembras de ambas especies se encontraban reproductivamente activas. En la anchoveta el 49,4% se encontró madura (ovocitos vitelados) y 36,3% en actividad reproductiva ya sea en desove, desove reciente, o desovadas. Similar situación se observó en la sardina común con 42,7% de las hembras maduras y 35,7% en actividad de desove.

c) La fecundidad parcial en ambas especies se relacionó linealmente en función del peso corporal a partir de 96 hembras hidratadas de sardina común, y 23 hembras de anchoveta. La relación no es estadísticamente diferente entre años, pudiéndose utilizar una relación global para el periodo 2002-2005. La fecundidad media poblacional fue estimada en 4.998 ovocitos (CV = 7,1%) en la anchoveta y de 6.538 ovocitos (CV=9,2%) en la sardina común.

d) La proporción de hembras en peso fue de 52 % en sardina común (CV = 3,1 %), y el peso promedio de las hembras maduras fue de 13,1 g (CV = 8,6%). En la anchoveta, la proporción de hembras fue de 47% (CV = 6,7%), y el peso promedio de 13,6 g (CV = 4,1%).

e) El área de desove fue más extenso en la anchoveta que en la sardina común, con 43,1 % y 15,2 % del área total de estudio (32523 km², incluyendo la zona norte). El área de desove de anchoveta fue de 14.018 km² y el de sardina común de 4.929 km².

f) La biomasa desovante de anchoveta fue evaluada en 376.402 t (CV = 35,2%), y la biomasa desovante de sardina común en 64.925 t (CV = 48,3 %). De acuerdo con las evaluaciones pasadas, se puede decir que el stock de sardina común viene saliendo de un periodo de baja abundancia. En el caso de la anchoveta, se observa una biomasa desovante que ha venido incrementándose sostenidamente desde el 2002 al 2005, con una expansión del área de desove.

11 REFERENCIAS

- Alheit, J. 1985. Spawning frequency of Peruvian anchovies taken with a purse seine. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 59-61.
- Alheit, J., 1993. Use of the daily egg production method for estimating biomass of clupeoid fishes: a review and evaluation. *Bulletin of Marine Science* 53, 750-767.
- Arcos, D. 1987. Seasonal and short time scale variability in copepod abundance and species composition in an upwelling area off Concepción coast, Chile. Ph.D. Thesis Dissertation, State University of New York, Stony Brook, 203 pp.
- Arcos, D.F., S.P. Núñez, L. Castro & N. Navarro. 1987. Variabilidad vertical de clorofila a en un área de surgencia frente a Chile central. *Invest. Pesq. (Chile)*, 34:47-55.
- Ayon, P., Buitron, B. 1997. Estimación de la biomasa desovante del stock norte-centro de la anchoveta por el método de la producción de huevos, durante el invierno de 1996. In: *Crucero de la biomasa desovante de la anchoveta, BIC Humboldt 9608-09*. IMARPE, CEE-VECEP ALA 92/43. Informe N° 123, p. 13-19.
- Bakun, A. & R.H. Parrish. 1990. Comparative studies of coastal pelagic fish reproductive habitats: the Brazilian sardine (*Sardinella aurita*). *J. Cons. int. Explor. Mer*, 46:269-283.
- Bakun, A., 1996. *Patterns in the ocean: ocean processes and marine population dynamics*. University of California Sea Grant, UCSD, San Diego, CA and Centro de Investigaciones Biológicas de Noroeste, La Paz, Baja California, 323 p.
- Bernal, C. et al. 2004. Preinforme final Proyecto FIP 2003-06 Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones. Fondo de Investigación Pesquera 8en ejecución).

- Bernal, M. 1999. Preliminary results on a two stage modeling of sardine egg presence and abundance off the Spanish coast and its implication for stock assessment. WD ICES WGMHMSA, Copenhagen 9/1999.
- Bernal, M., Borchers, D.L., Valdéz, L., Lanzós, A.L., Buckland, S.T. 2001. A new ageing method for eggs of fish species with daily spawning synchronicity. *Can. J. Fish and Aquat. Sci.* 58:2330-2340.
- Blaxter, J.H.S., Hunter, J.S. 1982. The biology of the clupeoid fishes. *Adv. Mar. Biol.* 20, 201-223.
- Borchers, D. L., S. T. Buckland, I. G. Priede & S. Ahmadi. 1997. Improving the precision of the daily egg production method using generalized additive models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54: 2727-2742.
- Cáceres, M. 1992. Vórtices y filamentos observados en imágenes de satélite frente al área de surgencia de Talcahuano, Chile central. *Invest. Pesq. (Chile)*, 37:55-66.
- Casella, G., Berger, R. L. 1991. *Statistical Inference*. Duxbury Press. 650 pp.
- Castillo, J., Barbieri, M.A., Espejo, M., Catasti, V., 2000. Evaluación de la biomasa y distribución espacial de anchoveta y sardina común. Primavera 1999. En: FIP 99-13 Evaluación acústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur de Chile. *Informes Técnicos FIP – IT/99-13*, 138 p.
- Castillo, J., Barbieri, M.A., Espejo, M., Catasti, V., 2001. Evaluación acústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur, año 2000. *Informe Final FIP 2000-09. Informes Técnicos FIP – IT/2000-09*, 151 p.
- Castillo, J., Barbieri, M.A., Espejo, M., Saavedra, A. Catasti, V., Núñez, S., Ortiz, J., Barría, P. Arraigada, G., Braun, M., Galindo, G. 2002a. Evaluación Hidroacústica del stock desovante de anchoveta y sardina común, Centro-Sur, 2001 Proyecto FIP N° 2001-14
- Castillo, J., Barbieri, M.A., Espejo, M., Saavedra, A. Catasti, V., Núñez, S., Ortiz, J., Barría, P. Arraigada, G., Braun, M., Galindo, G. 2002b. Evaluación acústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común, centro-Sur, 2001-2002 Proyecto FIP N° 2001-13.
- Castillos, J., Saavedra, A., Gávez, P., Barría, P., Espejo, M., Barbieri, M.A. 2004. Evaluación acústica biomasa, abundancia, distribución espacial y caracterización de cardúmenes. En: *Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2003. Preinforme final FIP 2003-08.*
- Castro LR, Salinas GR, Hernández EH (2000) Environmental influences on winter spawning of the anchoveta *Engraulis ringens* off central Chile. *Marine Ecology Progress Series* 197: 247-258.

- Castro, L., R.Roa, D.Figueroa, H.Arancibia, M. Sobarzo, R.Quiñones & M Retamal. 1997. Áreas de desove de anchoveta y sardina comun. Proyecto FIP 96-11. Áreas de desove de la anchoveta y sardina común en Chile central. Universidad de Concepción. Chile.
- Castro, L.R., Hernández, E.H., 2000. Early life survival of the anchoveta *Engraulis ringens* off central Chile during the 1995 and 1996 winter spawning seasons. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 129, 1107-1117.
- Checkley, D.M., Jr., R.C. Dotson, D.A. Griffith. 2000. Continuous, underway sampling of eggs of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) and northern anchovy (*Engraulis mordax*) in spring 1996 and 1997 off southern and central California. *Deep-Sea Research II* 47, 1139-1155.
- Claramunt, G., 1999. Número de desoves, producción de huevos y reclutamiento en *Sardinops sagax* del norte de Chile, entre 1974 y 1996. Tesis Magister en Ciencias mención Pesquerías, Escuela de Graduados, Universidad de Concepción, 65 pp.
- Claramunt, G., Herrera, G., Pizarro, P., Pizarro, J., Escribano, E., Oliva, M., Olivares, A., Guerra, C., Zuleta, A. 1997. Evaluación del stock desovante de anchoveta por el método de la producción de huevos en la I y II Regiones. Informe Final FIP 96-01. Informes Técnicos FIP – IT/96-01, 75 p.
- Cochran, W.G. 1980. Técnicas de muestreo. Compañía Editorial Continental S.A. de C.V. México.
- Conan, G.Y. (1985) Assessment of shellfish stocks by geostatistical techniques. ICES C.M., 30 (mimeo). Cressie, N.A.C. 1993. Statistics for spatial data. John Wiley & Sons. New York. 900 p.
- Cressie, N. A. C. 1993. Statistics for spatial data. John Wiley and Sons. NY, 900 p.
- Cressie, N.A.C., Hawkins, D.M., 1980. Robust estimation of the variogram. *I.J. Int. Assoc. Math. Geol.* 12, 115–125. Englund, E., Sparks, A., 1991.
- Cubillos, L. et al. 2003. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2002. Informe Final FIP 2002-14, 127 p.
- Cubillos, L., 1999. Estrategia reproductiva, crecimiento y reclutamiento de *Strangomera bentincki* (Norman, 1936) en el sistema de la zona centro-sur de Chile. Tesis Magister en Ciencias (Oceanografía), Escuela de Graduados, Universidad de Concepción, 180 p.
- Cubillos, L., Arancibia, H., 1993. On the seasonal growth of common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) off Talcahuano, Chile. *Rev. Biol. Mar. (Valparaíso)* 28(1), 43-49.

- Cubillos, L., Canales, M., Bucarey, D., Rojas, A., Alarcón, R., 1999. Epoca reproductiva y talla media de primera madurez sexual de *Strangomera bentincki* y *Engraulis ringens* en la zona centro-sur de Chile en el período 1993-1997. Invest. Mar. Valparaíso 27, 73-86.
- Cubillos, L., Canales, M., Hernández, A., Bucarey, D., Vilugrón, L., Miranda, L., 1998. Poder de pesca, esfuerzo de pesca y cambios estacionales e interanuales en la abundancia relativa de *Strangomera bentincki* y *Engraulis ringens* en el área frente a Talcahuano, Chile (1990-97). Invest. Mar. Valparaíso, 26:3-14.
- Cubillos, L., Castro, L., Oyarzún, C. 2005. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2004. Informe Final FIP 2004-03.
- Cubillos, L.A., Arcos, D.F. 2002. Recruitment of common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) in the 1990s, and impact of the 1997-98 El Niño. Aquatic Living Resources 15:87-94.
- Cubillos, L.A., Arcos, D.F., Canales, M., Bucarey, D., 2001. Seasonal growth of small pelagic fish off Talcahuano (37°S-73°W), Chile: a consequence of their reproductive strategy to seasonal upwelling? Aquat. Living Resour. 14, 115-124.
- Deutsch, C.V., and Journel, A.G. (1998) GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide. 2nd Ed. Oxford University Press, New York. 369 pp. Diggle PJ, Ribeiro PJ, Christensen OF. 2003. An introduction to model-based geostatistics. In J. Moller (Ed.), Spatial Statistics and Computational Methods, vol. 173, Lecture Notes in Statistics, Springer.
- Dickerson, T.L., Macewicz, B.J., Hunter, J.R. 1992. Spawning frequency and batch fecundity of chub mackerel, *Scomber japonicus*, during 1985. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep., 33:130-140.
- Eilers, P.H.C., Marx, B.D. 1996. Flexible smoothing with B-splines and penalties (with discussion). Statistical Science 11:89-121.
- Einarsson, H., Rojas, B. 1963. Descripción de huevos y larvas de anchoveta peruana (*Engraulis ringes* J.). Boletín del Instituto del Mar del Perú, Callao, 1(1):1-23.
- Englund, E., and A. Sparks (1988) Geo-EAS (geostatistical environmental assessment software) user's guide. U.S. Environmental Protection Agency, Las Vegas, Nev.
- EU Study 99/080 Using environmental variables with improved DEPM methods to consolidate the series of sardine and anchovy estimates" (EU Study 99/080, <http://ruwpa-st.andrews.ac.uk/depmodel>)

- Fischer, W. 1958. Huevos, crías y primeras prelarvas de la anchoveta (*Engraulis ringens*), Jenyns. Revistas de Biología Marina, Valparaíso, 8(1, 2, y 3):111-124.
- Hastie, T., and Tibshirani, R., 1990. Generalized additive Models. Chapman & Hall, New York, 559pp.
- Herrera, G., E. Tarifeño, M.C. Orellana. 1987. Descripción de huevos y primeras fases larvales de la sardina común (*Strangomera bentincki*) y del machuelo (*Ethmidium maculatum*). Biología Pesquera 16:107-113.
- Holden, M.J., Raitt, D.F.S., 1975. Manual de ciencia pesquera. Parte 2: Métodos para investigar los recursos y su aplicación. Doc. Téc. FAO. Pesca (115), Rev. 1, 211 p.
- Hornik, 2002. The R FAQ, <http://www.gnu.org/copyleft/gpl.html>
- Hunter, J. R. and B. J. Macewicz. 1985. Rates of atresia in the ovary of captive and wild northern anchovy, *Engraulis mordax*. Fishery Bulletin: Vol 83 N° 2. 119-136.
- Hunter, J. R. and S. R. Goldberg. 1980. Spawning incidence and batch fecundity in northern anchovy, *Engraulis mordax*. Fish Bull., U.S. 77: 641-652.
- Hunter, J. R., N. C. H. Lo and R. J. H. 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*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 67 - 77.
- Hunter, J., Lo, N.C.-H. 1997. The daily egg production method of biomass estimation: some problems and potential improvements. Ozeanografika 2, 41-69.
- Hunter, J., Lo, N.C.-H., 1993. Ichthyoplankton methods for estimating fish biomass introduction and terminology. Bulletin of Marine Science 53, 723-727.
- Hunter, J.R. 1985. Preservation of Northern anchovy in formaldehyde solution. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 63-66.
- Ihaka, R, and Gentleman, R. 1996. R: a language for data analysis and graphics. Journal of Computational and Graphics Statistics, 5(3):299-314.
- Isaaks, E.H., and R.M. Srivastava (1989) An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York. 561 pp.
- Journel, A.G., and C.J. Huijbregts (1978) Mining geostatistics. Academic Press, London.

- Lasker, R. (ed.) 1985 An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36.
- Llanos, A. y L. Castro. 2003. Determinación de edad en larvas en fase saco vitelino de *Engraulis ringens*. Actas XXIII Congreso Ciencias del Mar. Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile.
- Lo, N. C. H. 1985. A model for temperature-dependent northern anchovy egg development. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 43-50.
- Lo, N.C.H, J.R. Hunter y R. Carter. 2001. Use of a continuous egg sampler for ichthyoplankton surveys: application to the estimation of daily egg production of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) off California. Fish. Bull. 99: 554-571.
- Lo, N.C.H., 1997. Empirical analyses of the precision of regression estimates of daily egg production and egg mortality of pelagic fish for daily egg production method. *Oceanografika*, 2:71-89.
- Macewicz, B. and R. Hunter. 1993. Spawning frequency and batch fecundity of jack mackerel, *Trachurus symmetricus*, off California during 1991. CalCOFI Rep., Vol. 34. 112-121.
- Maravelias, C.D., D.G. Reid, E.J. Simmonds, and J. Haralabous (1996) Spatial analysis and mapping of acoustic survey data in the presence of high local variability: geostatistical application to North Sea herring (*Clupea harengus*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 53: 1497-1505.
- Miranda, A., Cal, R.M., Iglesias, J. 1990. Effect of temperature on the development of eggs and larvae of sardine *Sardina pilchardus* (Walbaum) in captivity. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 140:69-77.
- 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*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 37-41.
- Motos, L. 1994. Estimación de la biomasa desovante de la población de anchoa del golfo de Vizcaya, *Engraulis encrasicolus*, a partir de su producción de huevos. Bases metodológicas y aplicación. PhD Thesis, Leioa, Spain.
- Motos, L. 1996. Reproductive biology and fecundity of the bay of Biscay anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.) *Scientia Marina*, 60:

- Oliva, J., Braun, M., Cordova, Castillo, J., Valenzuela, V., Catasti, V., Blanco, J., Martínez, C., 2000. Evaluación del stock desovante de la anchoveta en la I y II Regiones, 1999. Informe Final FIP 99-10, Informes Técnicos FIP – IT / 99-10, 97 p.
- Oliva, J., Braun, M., Cordova, Castillo, J., Valenzuela, V., Catasti, V., Blanco, J., Martínez, C., 2000. Evaluación del stock desovante de la anchoveta en la I y II Regiones, 1999. Informe Final FIP 99-10, Informes Técnicos FIP – IT / 99-10, 97 p.
- Oliva, J., Montenegro, C., Braun, M., Rojas, O., Díaz, E., Catasti, V., Reyes, H., Barría, P., Serra, R., Claramunt, G., Herrera, G., Pizarro, P., Pizarro, J., Escribano, R., Oliva, M., 2001. Evaluación del stock desovante de anchoveta en la I y II Regiones, año 2000. Informe Final FIP 2000-06, Informes Técnicos FIP – IT /2000-06, 116 p.
- Oliva, J., Montenegro, C., Braun, M., Rojas, O., Reyes, H., Catasti, V., Díaz, E., Barría, P., Serra, R., Baros, V., Vargas, A., Claramunt, C., Herrera, G., Pizarro, P., Pizarro, J., Muñoz, Y., Escribano, R., y M. Oliva. 2002. Evaluación del stock desovante de la anchoveta por el método de la producción diaria de huevos en la I y II Regiones, año 2001. Informe Final FIP 2001-10, Informes Técnicos FIP – IT/2001-10, 86 p.
- Pannatier, Y. (1996) VARIOWIN: Software for Spatial Data Analysis in 2D. Springer-Verlag, NY. 91 pp.
- Parker, R.L., Rice, J.A. 1985. Discussion on "some aspects of the spline smoothing approach to non-parametric regression curve fitting" (by B.W. Silverman). Royal Statistical Society Series B 47:40-42.
- Pelletier, D. y A.M. Parma. 1994. Spatial distribution of Pacific halibut (*Hippoglossus stenolepis*): An application of geostatistics to longline survey data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51: 1506-1518.
- Pepin, P. 1991. Effect of temperature and size on development, mortality and survival rates of the pelagic early life history stages of marine fish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48:503-518.
- Perry, R. I., y S. J. Smith. 1994. Identifying habitat associations of marine fishes using survey data: an application to the northwest Atlantic. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51: 589-602.
- Petitgas, P. (1996) Geostatistics and their applications to fisheries survey data. *In* Megrey, A., and E. Moskness (Eds.) *Computers in Fisheries Research*. Chapman & Hall, London. pp. 113-142
- Petitgas, P., & A. Prampart. 1995. EVA: Estimation Variance. A geostatistical software for structure characterization and variance computation, Editions de l'Orstom, collection logORSTOM, Paris.

- Picquelle, S., 1985. Sampling requirements for the adult fish survey. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36, 55-57.
- 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*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 7-15.
- Riquelme, K., Cubillos, L., Ruiz, P., Castro, L., y A. Llanos. 2004. Nuevas estimaciones de la producción diaria de huevos de anchoveta, *Engraulis ringens*, de la zona centro-sur en invierno de 2002, incluyendo larvas con saco vitelino. XXIV Congreso de Ciencias del Mar, Coquimbo, 17-20 de Mayo 2004.
- Roa, R., and F. Tapia (2000) Cohorts in space: geostatistical mapping of the age structure of the squat lobster (*Pleuroncodes monodon*) population off central Chile. Marine Ecology Progress Series 196:239-251.
- Robertson, G.P. 1998. GS⁺ : Geostatistics for the Envirenmental Science v3.1 for Windows. Gamma Design Software, Plainwell, Michigan USA.
- 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.
- 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. Zoological Science. 6:211-231.
- Sepúlveda, A., más 14 autores (2000). Antecedentes biológicos del stock desovante de anchoveta y sardina común de la V a IX Regiones. Informe Final FIP 97-04. Informes Técnicos FIP – IT/97-04, 199 p.
- Simard, Y., P. Legendre, G. Lavoie y D. Marcotte. 1992. Mapping, estimating biomass, and optimizing sampling programs for spatially autocorrelated data: Case study of the Northern shrimp (*Pandalus borealis*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49: 32-45.

- Simmonds E. John, N. Williamson, F. Gerlotto y A. Aglen. 1991. Survey design and analysis procedures: a comprehensive review of good practice. ICES C.M. 1991, 113 p. (figures).
- 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*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 27-32.
- Smith, P.E., Hewitt, R.P. 1985. Sea survey design and analysis for an egg production method of anchovy biomass assessment. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 17-26.
- Somarakis, S., Koutsikopoulos, C., Machias, A., Tsimenides, N.. 2002. Applying the daily egg production method (DEPM) to small stock in highly heterogeneous seas. Fisheries Research 55, 193-204.
- Somarakis, S., Palomera, I., García, A., Quintanilla, L., Koutsikopoulos, C., Uriarte, A., Motos, L. 2004. Daily egg production of anchovy in European waters. ICES Journal of Marine Science, 61:944-958.
- Somarakis, S., Tsimenides, N. 1997. A daily egg production method biomass estimate of the northern aegean sea anchovy stock. Ozeanografika 2, 133-148.
- Stauffer, G. D. and S. J. Picquelle. 1980. Estimates of the 1980 spawning biomass of the central subpopulation of northern anchovy. Natl. Mar. Fish. Serv., NOAA, Southw. Fish. Cent. Admin. Rep. LJ - 80-09, 41 p.
- Stauffer, G., Picquelle, S. 1985. Procedures for sorting, staging, and ageing eggs. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 33-35.
- Stratoudakis, Y., Bernal, M., Borchers, M.F. 2003. Changes in the distribution of sardine eggs and larvae off Portugal, 1985-2000. Fisheries Oceanography, 12:49-60.
- Wahva, G. 1980. Splines bases, regularization and generalized cross validation for solving approximation problems with large quantities of noisy data. In: Cheney, W. (Ed.) Approximation Theory III. Academic Press, New York.
- Wallace, R. and K. Selman. 1981. Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleosts. Amer. Zool. 21:325-343.

- Wood, S.N. 2002. Modelling and smoothing parameter estimation with multiple quadratic penalties. *Journal of the Royal Statistical Society (B)* 62:413-428.
- Wood, S.N. 2003. Thin plate regression splines. *Journal of the Royal Statistical Society (B)* 62: 95-114.
- Yáñez, E., Barbieri, M.A., Santillán, L., 1992. Long-term environmental variability and pelagic fisheries in Talcahuano, Chile. In: Payne, A.I., Brink, L., Mann, K.H., Hilborn, R. (Eds.), *Benguela Trophic Functioning*. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 12, 175-188.

12 ANEXOS

12.1. Taller de discusión de resultados

Presentación

Los días 18, 19 y 20 de enero de 2006, se desarrolló el Taller de Discusión de Resultados del Proyecto FIP 2004-03, con el objeto de analizar la aplicación del método de producción diaria de huevos en anchoveta y sardina común en el 2004.

El taller se desarrollo en dos etapas, la primera de ellas consistió de dos días de trabajo en las que participó directamente el grupo profesional y técnico con la Dra. Nancy Lo (SWFSC, EE.UU.), con el objeto de auditar y revisar los procedimientos metodológicos involucrados en la obtención de cada uno de los resultados. La segunda etapa consistió en una reunión tipo seminario en la que se expuso a una audiencia ampliada los principales resultados del proyecto, discutiéndose las implicancias y la redacción de las recomendaciones y sugerencias para futuras aplicaciones del MPDH a los pelágicos pequeños de la zona centro-sur de Chile. El Dr. Andrés Uriarte (AZTI, España), elaboró sus observaciones a partir de los resultados contenidos en este informe, durante el simposio "Dinámica reproductiva de pelágicos pequeños y el método de la producción diaria de huevos", mediante su estadía en el marco del XXVI Congreso de Ciencias del Mar, realizado en Iquique los días 22 al 26 de mayo de 2006. En dicho evento se expuso y discutió los resultados obtenidos en el 2005 y su comparación con años previos.

Participantes

- Nancy Lo, Southwest Fisheries Science Center, PO Box 271, La Jolla, CA 92038-0271, USA, E-mail: Nancy.Lo@noaa.gov
- Luis Cubillos, Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción, E-mail: lucubillos@udec.cl
- Ciro Oyarzún, Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción, E-mail: covarzun@udec.cl
- Leonardo Castro, Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción, E-mail: lecastro@udec.cl
- Gabriel Claramunt, Departamento de Ciencias del Mar, Universidad Arturo Prat, Iquique, E-mail: gclaramu@cec.unap.cl
- Santiago Gacitúa, Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción, E-mail: sgacitua@udec.cl
- Gustavo Aedo, Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción, E-mail: gaedo@udec.cl
- Carolina Alarcón, Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción.
- Katty Riquelme, Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción.
- Milton Pedraza, Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción.
- Claudio Castillo, Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción.

- Paola Moreno, Departamento de Ciencias del Mar, Universidad Arturo Prat, Iquique.
- Samuel Soto, Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción.
- Elson Leal, Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción.
- Patricia Ruiz, Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano, E-mail: pruiz@inpesca.cl

Agenda de Trabajo

DIA 1: 18 de enero de 2006	
9:30 - 10:00	Aspectos Metodológicos: Diseño y Aplicación del Método de Producción Diaria de Huevos año 2005 <i>L. Cubillos</i>
10:00 - 10:30	Estado de avance aspectos reproductivos sardina común, 2005 <i>C. Oyarzún</i>
10:30 - 11:00	Estado de avance aspectos reproductivos anchoveta, 2005 <i>G. Claramunt o L. Cubillos</i>
11:00 - 12:00	Café, Discusión y recomendaciones
13:00 - 14:00	Receso
15:00 - 15:30	Producción diaria y mortalidad de huevos <i>L. Cubillos</i>
15:30 - 16:30	Café, Discusión y recomendaciones

DIA 2: 19 de enero de 2006	
10:00 - 10:30	Estimación de los parámetros reproductivos, 2005 <i>C. Oyarzún, G. Claramunt, L. Cubillos</i>
10:30 - 11:00	Distribución espacial del desove de sardina y anchoveta, 2005 <i>L. Castro</i>
11:00 - 12:00	Café, Discusión y recomendaciones
13:00 - 14:00	Receso
15:00 - 15:30	Producción diaria, mortalidad, y biomasa desovante <i>L. Cubillos</i>
15:30 - 16:30	Café, Discusión y recomendaciones

DIA 3: TALLER DE DIFUSION AMPLIADO 20 de enero 2006	
10:00 - 10:30	Presentación del Proyecto FIP 2005-02 <i>L. Cubillos</i>
10:30 - 11:00	Distribución espacial del desove de sardina y anchoveta, 2005 <i>L. Castro</i>
11:00 - 11:30	Café
11:30 - 12:00	Parámetros reproductivos de sardina común, 2005 <i>C. Oyarzún</i>
13:00 - 14:00	Almuerzo
15:00 - 15:30	Parámetros reproductivos de anchoveta, 2005 <i>G. Claramunt</i>
15:30 - 16:00	Producción diaria de huevos y biomasa desovante, 2005 <i>L. Cubillos</i>
16:00 - 16:30	Café
16:30 - 17:30	Discusión ampliada de resultados <i>Intervención Dr. Nancy Lo</i>

LUGAR: AUDITORIO CLAUDIO GAY, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas

Recomendaciones del Taller

a) Sobre el diseño de muestreo y área de estudio:

Por primera vez se observa la presencia de huevos de anchoveta en el sector norte del área de estudio, razón por la cual se recomienda mantener el muestreo de esta área en futuras aplicaciones, y evaluar el esfuerzo de muestreo.

Se recomienda mantener la extensión longitudinal de las transectas en las zonas central y sur del área de estudio, hasta el quiebre de la plataforma continental (200 m), ya que ha permitido cubrir el área de desove. Sin embargo, para asegurar un mejor límite del área se sugiere agregar 2 estaciones adicionales (8 millas) en la zona sur, particularmente en las inmediaciones de la Isla Mocha (38°32' a 38°48' latitud sur). Con respecto al rango latitudinal, se sugiere que se mantenga los límites 2005.

La distribución de transectas y estaciones se considera bien aplicada y se sugieren mantener éstas para las futuras aplicaciones, ya que se debe asegurar que cada muestra sea independiente de los patrones de agregación de los parches de huevos.

Se recomienda seguir con la información complementaria a través del muestreo oblicuo con redes Bongo para la obtención de larvas, que permiten contar con una mejor base explicativa respecto de la producción diaria de huevos, distribución espacial de desove y área de crecimiento larval de ambas especies en estudio.

b) Sobre la estimación de la producción de huevos:

Los algoritmos y criterios para estimar la producción diaria de huevos según el método convencional están claramente establecidos y perfectamente aplicados. Con la información de los tres años que se tiene se recomienda revisar la hora de puesta o bien analizar la sincronía de puesta de huevos.

Se recomienda continuar analizando la factibilidad de determinar la producción diaria de huevos incorporando co-variables y factores fijos con técnicas modernas (Modelos GAM), y llevar la producción diaria de huevos al espacio. Es decir, no colapsar la información espacial para determinar P_0 y Z .

La obtención de P_0 para cada región independientemente es adecuada considerando las diferencias en la abundancia total de huevos, según la estratificación contemplada (zona centro y sur). El estimado total y su varianza deben contemplar las diferencias en las áreas de desove a través de un promedio ponderado por el tamaño del área de desove de cada estrato geográfico. Sin embargo, se podrían obtener estimados independientes de biomasa para cada región.

c) Sobre el muestreo de adultos:

Se recomienda mejorar el muestreo diseñado, en cuanto a la distribución de los lances de pesca, cubriendo zonas no visitadas, específicamente la Isla Mocha y Pta. Lavapie al sur. El muestreo de adultos contemplado, visita solo sectores cercanos a los puertos importantes, es decir, la zona centro implica el área frente a Talcahuano, mientras que el sector sur implica el área frente a Corral. Esto se debe a que las embarcaciones artesanales utilizadas para este objetivo no cumplen los requisitos mínimos de autonomía para visitar zonas tan alejadas de los puertos bases. La idea principal es que el muestreo de adultos también cubra zonas más alejadas, por fuera de las 5 millas náuticas de la zona de desove en futuras aplicaciones del MPDH.

Verificar si existe un efecto de sobremuestreo de algunos estadios de madurez. Si no es así, se tiene más información de la que se está utilizando para estimar la fracción diaria de hembras desovantes. Para ello, se recomienda que en futuras aplicaciones se realice un muestro de hembras en lo posible a lo largo de todo el ciclo diario (24 horas).

e) Sobre el monitoreo de huevos

El monitoreo quincenal de abundancia de huevos de anchoveta y sardina común para el sector central debe mantenerse, y se recomienda realizar un monitoreo de huevos en la zona sur, ya que en la zona sur se observaron los mayores focos abundancia de huevos.

f) Sobre el monitoreo reproductivo de adultos

El monitoreo reproductivo de adultos está mejor estructurado, y es deseable mantenerlo.

Se recomienda elaborar un proyecto complementario que permita analizar la dinámica reproductiva de anchoveta y sardina común en un ciclo anual completo, en el cual se compare la zona centro con la sur. Tal estudio debería analizar cambios estacionales en la fecundidad, fracción diaria de hembras desovantes, IGS, tamaño de los ovocitos, e influencia del tamaño de las hembras.

Observaciones Dra. Nancy Lo

- a) Obtain extra ship time to collect trawl samples, best in the evening, to coincide with the ichthyoplankton survey in time and space.
- b) In the northern-north area, extend the transect further offshore. Reducing total number of transect lines enables to cover the entire area with the same ship time for anchovy population.
- c) Adult reproductive parameters: Perform a comparison of the regression lines of fecundity - fish weight among years to determine whether a common regression line can be used for all years. Inclusion of the intercept depends on the test on the significance of the intercept
- d) Reexamine the definition of day 0,1, and 2 for postovulatory follicles
- e) Fish are smaller this year. Similar in California water.
- f) Eggs: Use a weighted nonlinear regression where the weights are the inverse of variance in each of age groups: 1, 2, 3 and >3 day old.
- g) Perform a GLM with day as the unit of age to facilitate the comparison with nonlinear regression. The distribution of error term needs to be verified.
- h) Resampling method (transect lines) can be used to compare properties of estimation procedures: nonlinear regression, GLM and/or GAM

13 HORAS HOMBRE DEL EQUIPO DE TRABAJO

a) Universidad de Concepción

Nombre	Actividad	1	2	3	4	5	M	E	S	E	S	11	12	13	14	Total
Luis Cubillos S.	Total	15	6	6	6	6	20	35	40	23	23	25	20	5	5	235
Leonardo Castro C.	Total	2	5	5	5	5	15	22	45	14	34	20	0	8	0	180
Ciro Oyarzún G.	Total	10	5	5	5	5	20	20	45	20	15	20	0	0	35	205
Rubén Roa U.	Total	0	0	0	0	0	0	10	20	30	40	40	0	10	0	150
Carolina Alarcón M.	Total	10	10	20	25	25	35	40	55	45	35	15	5	5	0	325
Milton Pedraza G.	Total	5	5	10	10	10	180	15	15	15	15	15	0	0	0	295
Claudio Castillo J.	Total	5	5	10	10	10	180	15	15	15	15	15	0	0	0	295
Gustavo Aedo	Total	10	10	10	15	15	25	30	55	35	25	25	5	5	0	265
Elson Leal F.	Total	5	5	10	10	10	180	15	15	15	15	15	0	0	0	295
Alejandra LLanos	Total	0	0	0	0	0	185	10	10	10	10	0	0	0	0	225
Mónica Barros	Total	0	0	0	0	0	10	25	25	15	15	0	0	0	0	90
Christian Valero	Total	0	0	0	0	0	10	25	25	15	15	0	0	0	0	90
Ariel Pacheco	Total	0	0	0	0	0	10	25	25	15	15	0	0	0	0	90
Samuel Soto	Total	0	20	30	30	30	40	35	40	40	40	0	0	0	0	305
Mauricio Landaeta	Total	0	0	0	0	0	45	50	20	20	0	0	0	0	0	135
Iván Veas	Total	0	0	0	0	0	0	0	25	35	35	35	0	0	0	130
Sebastián Vásquez	Total	0	0	0	0	0	200	25	25	25	0	0	0	0	0	275
Katty Riquelme	Total	0	20	30	30	30	40	35	40	40	40	10	0	0	0	315
Germán Vásquez	Total	0	30	40	40	40	180	40	40	40	40	0	0	0	0	490
	Total	0	0	0	0	0	200	40	0	0	0	0	0	0	0	240
	Total	0	30	40	40	40	180	40	40	40	40	0	0	0	0	490
N.N.1	Total	0	0	0	0	0	200	40	0	0	0	0	0	0	0	240
N.N.2	Total	0	0	0	0	0	200	40	0	0	0	0	0	0	0	240
N.N.3	Total	0	0	0	0	0	200	40	0	0	0	0	0	0	0	240
N.N.4	Total	0	0	0	0	0	200	40	0	0	0	0	0	0	0	240
N.N.5	Total	0	0	0	0	0	200	40	0	0	0	0	0	0	0	240
N.N.6	Total	0	0	0	0	0	200	40	0	0	0	0	0	0	0	240
N.N. Secretaria	Total	10	0	0	0	0	0	0	10	0	0	5	0	0	5	30
	TOTAL	82	161	226	241	241	2980	822	685	542	492	265	35	38	45	6855

b) Universidad Arturo Prat:

Nombre	Actividad	1	2	3	4	5	M	E	S	E	S	11	12	13	14	Total
Gabriel Claramunt	Total	0	0	0	0	0	3	20	45	35	40	25	0	5	0	173
Gustavo Herrera	Total	0	0	0	0	0	5	15	25	20	20	10	0	5	0	100
Paola Moreno G.	Total	0	0	0	0	0	0	30	50	50	50	5	0	0	0	185
	TOTAL	0	0	0	0	0	8	65	120	105	110	40	0	10	0	458

Base de Datos

La base de datos que contiene toda la información básica que se obtuvo durante la ejecución del Proyecto FIP 2005-02 "Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2005", se encuentra almacenada en los Discos Compactos adjuntos, según la siguiente descripción:

FIP2004-03 CD-1: Disco compacto autoejectable a un archivo de hipertexto que contiene una descripción de las actividades desarrolladas durante la ejecución del proyecto, con acceso a: Resumen Ejecutivo, Informe Final, Personal Participante, Taller de Trabajo, Imágenes, y enlaces a la base de datos. Este archivo contiene el material audiovisual requerido por las bases especiales.

FIP2004-03 CD-2: Disco compacto conteniendo solamente la base de datos, según lo solicitado en las bases administrativas y especiales, con la siguiente estructura y descripción de los archivos:

COD_PROYECT	RUTA	ARCHIVO	DESCRIPCION
2005-02	D:\FIPDATA\2005-02\	ADULANCH.dbf	Datos biológicos de las muestras de anchoveta: Peso (g), LT (cm), sexo, EMS
		ADULSARD.dbf	Datos biológicos de las muestras de sardina: Peso (g), LT (cm), sexo, EMS
		FRECANCH.dbf	Planilla con la distribución de frecuencia de tallas de anchoveta encontrada en cada lance de pesca
		FRECSARD.dbf	Planilla con la distribución de frecuencia de tallas de sardina encontrada en cada lance de pesca
		FECANCH.dbf	Datos de fecundidad parcial de hembras de anchoveta
		FECSARD.dbf	Datos de fecundidad parcial de hembras de sardina
		ANCHMPH05.dbf	Recuento de los estadios de desarrollo de anchoveta identificados en cada lance de plancton
		SARDMPH05.dbf	Recuento de los estadios de desarrollo de sardina identificados en cada lance de plancton
		PSEXASARD.dbf	Datos biológicos de las muestras de sardina empleadas para el cálculo de la proporción sexual
		PSEXANCH.dbf	Datos biológicos de las muestras de anchoveta empleadas para el cálculo de la proporción sexual
		OCEANOG.dbf	Datos de temperatura, salinidad, oxígeno y abundancias de larvas en red bongo