



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y OCEANOGRÁFICAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRÁFIA**

INFORME FINAL

**PROYECTO DEL FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA
FIP N° 2008-09**

**“EVALUACION DEL STOCK DESOVANTE DE ANCHOVETA
Y SARDINA COMUN EN LA ZONA CENTRO-SUR, AÑO 2008”**

**DEPARTAMENTO DE OCEANOGRÁFIA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCION**

**Departamento de Oceanografía
Universidad de Concepción**

PROYECTO

FIP N° 2008-09

Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur, año 2008

REQUIRENTE

Fondo de Investigación Pesquera
Consejo de Investigación Pesquera

UNIDAD EJECUTORA

Departamento de Oceanografía
Universidad de Concepción

SUBCONTRATO

Departamento de Ciencias del Mar
Universidad Arturo Prat

JEFE PROYECTO

MSc. Luis Cubillos Santander
Departamento de Oceanografía
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas
Universidad de Concepción
Casilla 160-C, Concepción, Chile
Tel.: 56-41-2207233
Fax: 56-41-2256571
E-mail: lucubillos@udec.cl

• 2009 •



Informe Final
Evaluación del Stock Desovante de Anchoveta y
Sardina común en la zona centro-sur, año 2008

AUTORES

Luis Cubillos S.
Leonardo Castro C.
Gabriel Claramunt Q.

• 2009 •

Departamento de Oceanografía
Universidad de Concepción

1 Personal participante

PERSONAL PROFESIONAL	FUNCIÓN
LUIS CUBILLOS S.	JEFE PROYECTO.
LEONARDO CASTRO	ANÁLISIS INTEGRADO HUEVOS – OCEANOGRAFÍA
SAMUEL SOTO	ICTIOPLANCTON
GABRIEL CLARAMUNT	REPRODUCCION
CAROLINA ALARCÓN	VIGILANCIA REPRODUCTIVA
CLAUDIO CASTILLO	PRODUCCION DIARIA DE HUEVOS
MILTON PEDRAZA	PESCA DE INVESTIGACION
JOSE SANCHEZ	REPRODUCCION
EDUARDO NAVARRO	OCEANOGRAFIA
CIRO OYARZUN	REPRODUCCION
ALEJANDRA LLANOS	ICTIOPLANCTON
Técnicos y colaboradores	
GERMÁN VÁSQUEZ	MUESTREO A BORDO
ROBERTO TORRES	MUESTREO DE LABORATORIO
DAVID MENA VALDIVIA	MUESTREO A BORDO
MANUEL MUÑOZ V.	MUESTREO A BORDO
CLAUDIO GAYOSO F.	MUESTREO A BORDO
CLAUDIO GÓMEZ C.	MUESTREO A BORDO
CHRISTIAN PARRA V.	MUESTREO A BORDO
RAÚL LARA	MUESTREO A BORDO
MARÍA MUÑOZ	ICTIOPLANCTON
CLAUDIA SUÁREZ	ICTIOPLANCTON
MARÍA MUÑOZ	ICTIOPLANCTON
MARCELO PAVEZ	ICTIOPLANCTON
CHRISTIAN VALENZUELA	ICTIOPLANCTON
ALEJANDRO YÁNEZ	ICTIOPLANCTON
JAVIER POROVIC	ICTIOPLANCTON
PAMELA BARRIENTOS	ICTIOPLANCTON
VÍCTOR AGUILERA	ICTIOPLANCTON
JOYCE MENDEZ	ICTIOPLANCTON
PABLO GONZALEZ	ICTIOPLANCTON
PAULINA RIQUELME	ICTIOPLANCTON
JUAN FAUNDEZ	ICTIOPLANCTON
IVAN VEAS	OCEANOGRAFIA
CLAUDIO SILVA	IMÁGENES SATELITALES
ANDRES FLORES	REPRODUCCION
PAOLA MORENO	REPRODUCCION
GUSTAVO AEDO	REPRODUCCION
SANTIAGO GACITUA	REPRODUCCION
CHRISTIAN VALERO	REPRODUCCION
HERNAN REBOLLEDO	MUESTREO A BORDO

2 Resumen ejecutivo

Con el objeto de evaluar la biomasa desovante de anchoveta y sardina común durante la estación reproductiva 2008 en la zona centro-sur de Chile, se realizó un crucero de huevos y de adultos orientados a determinar los parámetros del método de la producción diaria de huevos. Los parámetros reproductivos son: la producción diaria de huevos, la fecundidad media poblacional, la fracción diaria de hembras desovantes, la proporción sexual en peso, y el peso promedio de las hembras maduras.

Se vigiló la condición reproductiva de las hembras a contar de febrero de 2008, en términos de indicadores macroscópicos. La estructura de tallas en las capturas de la flota reveló que éstas han estado dominadas por la fracción más juvenil de la población, particularmente en sardina común. Se observó que cerca del 95 % estuvo bajo la talla media de primera madurez sexual de 11 cm y tallas promedio entre 8,1 y 12 cm en la VIII Región. Similar situación se observa en la anchoveta, aunque la juvenalización no fue tan fuerte. A fines de agosto se observó un incremento significativo en el IGS, y acusó un máximo en septiembre. Por esta razón, se tomó la decisión de realizar el crucero de huevos a partir de 4 ó 5 de septiembre.

Los cruceros de huevos y de adultos se ejecutaron en forma simultánea (igual periodo). El crucero de huevos se desarrolló mediante la evaluación del desove en tres estratos geográficos: a) sector norte, sur de Valparaíso – norte de Constitución ($33^{\circ}00'S - 34^{\circ}00'S$), b) sector centro, entre Constitución y Golfo de Arauco ($34^{\circ}30'S - 37^{\circ}10'S$), y c) sector sur, entre el sur de Lebu – Bahía San Pedro ($37^{\circ}30'S - 40^{\circ}50'S$), a través de un muestreo sistemático sobre una grilla regular de estaciones dispuestas en transectas perpendiculares a la costa, equidistante cada 5 millas náuticas y estaciones separadas cada 4 millas náuticas. El sector norte fue evaluado a bordo de la L/M María Loreto (08 – 10 de octubre), el sector centro fue evaluado a bordo de las L/I Kay Kay (04 – 14 de septiembre), y el sector sur por la L/M Capito I (05 – 26 de septiembre). Se evaluó un total de 377 estaciones con red Calvet del tipo Pairovet. La abundancia de huevos de sardina común y anchoveta disminuyó considerablemente con respecto al 2007. La distribución de huevos de anchoveta fue relativamente similar a la de sardina común, iniciándose la presencia de ambos alrededor de los $35^{\circ}30'S$ y finalizando la sardina común, alrededor de los $40^{\circ}S$, y la anchoveta levemente más al sur, a los $40^{\circ}50'S$.

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 50-100 m, entre los 38°30'S y 40°S, siendo la densidad de anchoveta de 64 huevos/0,05 m², levemente inferior que la sardina común (73,3 huevos/0,05 m²). En el caso de la sardina común, el crucero abarcó de buena forma el área de desove. En anchoveta, en cambio, algunas estaciones positivas se localizaron en el límite occidental de algunas transectas.

El crucero de adultos no fue exitoso en la zona centro (34°30'S-37°10'S) ya que ambos recursos no estuvieron disponibles ni asequibles a la pesca durante el desarrollo del crucero. Se intentó vulnerar la fracción disponible al interior de la primera milla náutica, con resultados escasos. Aún así, se contó con escaso material biológico para el cálculo de los indicadores reproductivos. En la zona sur, se logró 31 lances con sardina común y solamente 10 lances con anchoveta. La estructura de tallas muestreada a bordo reveló la juvenilización de la población de sardina y anchoveta. La baja disponibilidad de ambas especies en la zona centro impuso una limitación importante, no obstante la biomasa desovante se sustentó exclusivamente en la evaluación realizada en la zona sur.

El crucero 2008 se desarrolló bajo condiciones meteorológicas cambiantes asociadas con la intensificación de vientos del sur y suroeste que promueven eventos de surgencia moderados. El índice de surgencia se incrementó a partir de septiembre, con una duración promedio de nueve días y tres días de relajación. El hábitat de desove se caracterizó por la presencia de aguas más frías al sur de los 37°S en agosto, con valores bajos de clorofila en toda el área de estudio y máximos relativos en la banda muy costera. En septiembre y octubre, la surgencia comenzó a ser más intensa, con un incremento de la clorofila como en su cobertura espacial por el sur, llegando a cubrir toda la zona costera al final del periodo. El campo de velocidades advectivas, y transporte, mostró que durante agosto de 2008 las corrientes advectivas presentaron dirección nor-este al norte de 37°S, con un transporte este-oeste principalmente hacia la costa. En septiembre, hubo una mayor variabilidad en las corrientes advectivas con dirección hacia la costa entre los 38° y 39°S, y corrientes fuera de la costa entre los 35°30'S y 37°30'S. Estas características ambientales podrían explicar la ausencia de desove en la zona central en septiembre de 2008, y la retención/concentración en la zona sur.

Los principales resultados obtenidos fueron los siguientes:

- El área de desove realizado de sardina común y anchoveta ocurrió en la zona sur, entre el sur de la isla Mocha y 39°30'S. El stock desovante estuvo ausente en la zona centro, comprendida entre 34°30'S y el Golfo de Arauco (37°10'S).
- La producción diaria de huevos fue estimada en 349,2 huevos/m²/día para la anchoveta (CV = 46,8 %) y 135,5 huevos/m²/día para la sardina común (CV = 95%).
- La fracción diaria de hembras desovantes se estimó utilizando la hembras con folículos postovulatorios de día 1, fluctuando entre 0,06 (CV = 89,8%) y 0,05 (CV = 57,1%) para anchoveta y sardina común, respectivamente.
- La fecundidad media poblacional fue estimada en 5559 ovocitos (CV = 9,9%) en la anchoveta, y en 5587 ovocitos (CV = 10,2%) en la sardina común.
- El peso promedio de las hembras maduras fue estimado en 14,4 g en anchoveta, y en 11,8 g en la sardina común.
- El área de desove fue más extensa en la anchoveta, con 6800 km² en la zona sur. En la sardina común, el área de desove fue de 4255 km² en la zona sur.
- La biomasa desovante de anchoveta fue evaluada en 410.525 t, y la de sardina común en 161.468 t.

3 Índice general

1	PERSONAL PARTICIPANTE.....	7
2	RESUMEN EJECUTIVO.....	9
3	INDICE GENERAL.....	12
4	INDICE DE TABLAS Y FIGURAS.....	14
5	OBJETIVO GENERAL.....	7
6	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
7	ANTECEDENTES.....	8
	METODOLOGÍA.....	10
7.1.	ÁREA Y PERÍODO DE ESTUDIO.....	10
7.1.1.	<i>Crucero de huevos.....</i>	<i>10</i>
7.1.2.	<i>Crucero de adultos.....</i>	<i>10</i>
7.1.3.	<i>Vigilancia reproductiva.....</i>	<i>11</i>
7.1.4.	<i>Monitoreo ictioplanctónico.....</i>	<i>12</i>
7.2.	CRUCERO DE HUEVOS: DISEÑO DE MUESTREO.....	12
7.2.1.	<i>Grilla regular y muestreo de huevos con red PAIROVET.....</i>	<i>12</i>
7.2.2.	<i>Análisis en el laboratorio.....</i>	<i>14</i>
7.2.3.	<i>Muestreo oceanográfico.....</i>	<i>15</i>
7.3.	DISEÑO MUESTREO DE ADULTOS DESOVANTES.....	15
7.3.1.	<i>Número de lances y tamaño de muestra.....</i>	<i>16</i>
7.3.2.	<i>Justificación del número de lances y ejemplares por lance.....</i>	<i>17</i>
7.4.	PRODUCCIÓN DIARIA DE HUEVOS Y TASA DE MORTALIDAD DIARIA.....	20
7.4.1.	<i>Determinación de la edad a los huevos.....</i>	<i>22</i>
7.4.2.	<i>Producción diaria de huevos en el área de desove.....</i>	<i>25</i>
7.4.3.	<i>Area de estudio y estimación de los límites del crucero.....</i>	<i>26</i>
7.5.	PROPORCIÓN DE ESTADIOS DE MADUREZ SEXUAL MICROSCÓPICOS Y FRACCIÓN DIARIA DE HEMBRAS DESOVANTES.....	28
7.5.1.	<i>Folículos postovulatorios.....</i>	<i>29</i>
7.5.2.	<i>Fracción diaria de hembras desovantes.....</i>	<i>31</i>
7.6.	FECUNDIDAD PARCIAL Y FECUNDIDAD MEDIA POBLACIONAL.....	35
7.6.1.	<i>Fecundidad parcial.....</i>	<i>35</i>
7.6.2.	<i>Fecundidad media poblacional.....</i>	<i>36</i>
7.7.	PROPORCIÓN SEXUAL Y PESO PROMEDIO DE HEMBRAS MADURAS.....	38
7.7.1.	<i>Proporción sexual.....</i>	<i>38</i>
7.7.2.	<i>Peso promedio.....</i>	<i>38</i>
7.8.	BIOMASA DEL STOCK DESOVANTE.....	40
7.9.	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE HUEVOS ASOCIADA A VARIABLES OCEANOGRÁFICAS.....	42
7.9.1.	<i>Hidrografía.....</i>	<i>42</i>
7.9.2.	<i>Análisis de datos satelitales.....</i>	<i>42</i>
7.9.3.	<i>Relación distribución de huevos con variables ambientales.....</i>	<i>44</i>
8	RESULTADOS.....	47

8.1.	MONITOREO REPRODUCTIVO DE ADULTOS.....	47
8.1.1.	<i>Frecuencia de tallas</i>	47
8.1.2.	<i>Indicadores reproductivos macroscópicos</i>	51
8.2.	MONITOREO COSTERO DE HUEVOS EN LA VIII REGIÓN.....	55
8.3.	CRUCERO DE HUEVOS, DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE HUEVOS DE ANCHOVETA Y SARDINA COMÚN.....	56
8.3.1.	<i>Estaciones con presencia de huevos</i>	56
8.3.2.	<i>Abundancia de huevos</i>	58
8.3.3.	<i>Distribución de huevos</i>	60
8.4.	CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS	63
8.4.1.	<i>Características superficiales</i>	63
8.4.2.	<i>Hidrografía en sectores de mayor desove</i>	64
8.5.	CONDICIONES GENERALES	74
8.5.1.	<i>Vientos superficiales satelitales</i>	74
8.5.2.	<i>Temperatura superficial del mar y clorofila</i>	74
8.5.3.	<i>Análisis de corrientes superficiales</i>	75
8.6.	CRUCERO DE ADULTOS	86
8.6.1.	<i>Distribución espacial de los lances de pesca</i>	86
8.6.2.	<i>Frecuencia de tamaños</i>	90
8.7.	PRODUCCIÓN DIARIA DE HUEVOS.....	91
8.8.	PROPORCIÓN DE ESTADIOS DE MADUREZ SEXUAL MICROSCÓPICOS Y FRACCIÓN DIARIA DE HEMBRAS DESOVANTES	93
8.9.	FECUNDIDAD PARCIAL Y FECUNDIDAD MEDIA POBLACIONAL	95
8.10.	PROPORCIÓN SEXUAL Y PESO PROMEDIO DE HEMBRAS MADURAS.....	97
8.11.	BIOMASA DEL STOCK DESOVANTE	97
8.12.	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE HUEVOS ASOCIADA A VARIABLES OCEANOGRÁFICAS	98
8.12.1.	<i>Análisis cualitativos</i>	98
8.13.	COMPARACIÓN CON OTRAS EVALUACIONES	106
9	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	111
10	CONCLUSIONES	116
11	REFERENCIAS	117
12	ANEXOS	124
12.1.	TALLER DE DISCUSIÓN DE RESULTADOS	124
13	HORAS HOMBRE DEL EQUIPO DE TRABAJO	127
14	BASE DE DATOS	128

4 Índice de tablas y figuras

Tablas

Tabla 1. Embarcaciones utilizadas en los muestreos de ictioplancton, coordenadas de cada sector, periodo de muestreo y número de estaciones por sector.....	10
Tabla 2. Las embarcaciones participantes en el crucero de adultos.	11
Tabla 3. 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 <i>et al.</i> 2003).....	20
Tabla 4. Caracterización de los estadios ováricos de peces pelágicos, modificada para hembras de sardina común y anchoveta.	29
Tabla 5. Características morfohistológicas de los folículos postovulatorios.....	30
Tabla 6. Clasificación histológica de los folículos postovulatorios de anchoveta según grado de degeneración (Claramunt <i>et al.</i> 2007a).....	32
Tabla 7. Clasificación histológica de los folículos postovulatorios de sardina común según grado de degeneración (Claramunt <i>et al.</i> 2007a).....	33
Tabla 8. Resumen de distribución de frecuencias de tamaño durante el monitoreo reproductivo en la zona centro (LT se refiere al promedio de la longitud total).....	48
Tabla 9. Resumen de distribución de frecuencias de tamaño durante el monitoreo reproductivo en la zona sur (LT se refiere al promedio de la longitud total).	48
Tabla 10. Distribución del estado de madurez sexual macroscópico de sardina común y anchoveta durante el monitoreo reproductivo en la zona centro en número y porcentaje. ..	54
Tabla 11. Distribución del estado de madurez sexual macroscópico de sardina común durante el monitoreo reproductivo en la zona sur en número y porcentaje.....	55
Tabla 12. Monitoreo de huevos de anchoveta y sardina común en el sector costero entre Bahía Concepción y la desembocadura del Río Itata.	56
Tabla 13. 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.	57
Tabla 14. 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 \times 0,05 m ⁻²) en cada sector.	59
Tabla 15. Resumen de frecuencia de tallas de sardina común y anchoveta en la zona sur. .	91
Tabla 16. Coeficientes del modelo lineal generalizado, familia binomial negativa y enlace log. El intercepto representa el logaritmo de la producción diaria de huevos (huevos/m ²) y la pendiente a la tasa de mortalidad por hora (h ⁻¹).	92
Tabla 17. Estimaciones de la producción diaria de huevos (P_0) y tasa de mortalidad diaria (Z) para la anchoveta y sardina común utilizando GLM con familia binomial negativa y enlace log en el área de desove (A_1) de cada estrato geográfico. El coeficiente de variación se muestra entre paréntesis, así como la estimación estratificada de la producción diaria de huevo en el área de estudio.....	92

Tabla 18. Fracción de estadios de madurez sexual microscópicos de anchoveta y sardina común durante el período de estudio del 2008.	93
Tabla 19. Resumen de los parámetros reproductivos de los ejemplares adultos de anchoveta y sardina común, por estrato geográfico.....	94
Tabla 20. Regresión lineal entre la fecundidad parcial y el peso corporal, periodo 2002-2007.	95
Tabla 21. Parámetros del Método de la Producción Diaria de Huevo y estimación de la biomasa del stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona sur (Septiembre 2008), según dos métodos de datación de huevos (convencional y multinomial). El coeficiente de variación se muestra en paréntesis para las estimaciones de biomasa.	98
Tabla 22. Resumen de los modelos GAM utilizados para la temperatura superficial del mar y la profundidad de fondo.....	103
Tabla 23. Resumen de los modelos aplicados (GAM) para la densidad de huevos de anchoveta y sardina común (huevos /m ²) en función de la longitud (x), latitud (y), temperatura y profundidad de fondo para el año 2008. Las variables Temperatura (TSM) y Profundidad (Depth) fueron estandarizadas respecto de la latitud geográfica con el objeto de trabajar con un proceso isotrópico.	103
Tabla 24. Resumen de los modelos aplicados (GAM) para la Producción diaria de huevos de anchoveta y sardina común (huevos /m ²) en función de la longitud (x), latitud (y), temperatura y profundidad de fondo para el año 2008 en el sector sur. Las variables Temperatura (TSM) y Profundidad (Depth) fueron estandarizadas respecto de la latitud geográfica con el objeto de trabajar con un proceso isotrópico.	105
Tabla 25. Resumen de distribución de frecuencias de tamaño durante el monitoreo reproductivo en la zona centro y sur, VIII y XIV Regiones (LT se refiere a la longitud total), año 2007.....	111

Figuras

Figura 1. Mapa de la grilla de muestreo a lo largo de la plataforma continental de Chile Centro-Sur; a) estaciones muestreadas con red CalVET; b) Estaciones en que se realizaron perfiles de CTD. El círculo rojo muestra la ubicación del área de monitoreo de huevos. ...	14
Figura 2. Frecuencia de tallas Sardina común, sector centro (la línea vertical roja representa la talla de madurez sexual).	49
Figura 3. Frecuencia de tallas anchoveta, sector centro (la línea vertical roja representa la talla de madurez sexual).	50
Figura 4. Frecuencia de tallas de a) sardina común y b) anchoveta en la zona sur (la línea vertical roja representa la talla de madurez sexual).....	51
Figura 5. Evolución del mensual del IGS de sardina y anchoveta durante el año 2008.....	52
Figura 6. Evolución del IGS por talla de sardina común y anchoveta, zona centro 2008....	53
Figura 7. Evolución del IGS por talla de sardina común, zona sur 2008.	54
Figura 8. Variación de la abundancia de huevos de anchoveta (▲) y sardina común (-●-) en el sector costero entre Bahía Concepción y la desembocadura del Río Itata, durante el periodo de junio a noviembre del 2008.	55
Figura 9. Proporción de estaciones positivas con huevos de anchoveta y sardina común por sector y área total, desde el inicio de las evaluaciones del MPH iniciadas el 2002.	57

Figura 10. Abundancia promedio de huevos de anchoveta y sardina común en estaciones positivas por sector, desde el inicio de las evaluaciones del MPH iniciadas el 2002.	59
Figura 11. Distribución y abundancia de huevos de anchoveta en los sectores norte (ausentes), centro y sur.	61
Figura 12. Distribución y abundancia de huevos de sardina común en los sectores norte (ausentes), centro y sur.	62
Figura 13. Imágenes satelitales de Temperatura Superficial del Mar (°C) durante el periodo de muestreo 2008.	63
Figura 14. Imágenes satelitales de Temperatura Superficial del Mar (°C) durante el periodo de muestreo 2007.	64
Figura 15. Características hidrográficas: temperatura (°C), salinidad y densidad (sigma-t) superficiales (1 m) en el sector central de la zona de estudio en 2008.	66
Figura 16. Características hidrográficas: temperatura (°C), salinidad y densidad (sigma-t) a 10 m de profundidad en el sector central de la zona de estudio en 2008.	67
Figura 17. Características hidrográficas: temperatura (°C), salinidad y densidad (sigma-t) a 50 m de profundidad en el sector central de la zona de estudio en 2008.	68
Figura 18. Características hidrográficas: temperatura (°C), salinidad y densidad (sigma-t) superficiales (1 m) en el sector sur de la zona de estudio en 2008.	69
Figura 19. Características hidrográficas: temperatura (°C), salinidad y densidad (sigma-t) a 10 m de profundidad en el sector sur de la zona de estudio en 2008.	70
Figura 20. Características hidrográficas: temperatura (°C), salinidad y densidad (sigma-t) a 50m de profundidad en el sector sur de la zona de estudio en 2008. Secciones horizontales aparecen sin color en extremo oriental debido a que las profundidades son menores a 50 m en esa zona.	71
Figura 21. Secciones verticales de temperatura, salinidad y sigma-t en 3 transectas de la zona central en que se encontró huevos en el 2008. Transecta 17 (35.50°S), y Transecta 27 (36.33°S).	72
Figura 22. Secciones verticales de temperatura, salinidad y sigma-t en 4 transectas de la zona sur en que se encontró huevos en el 2008. Transecta 54 (38.83°S) y Transecta 58 (39.16°S).	73
Figura 23. Series de tiempo de magnitud y dirección del viento para el periodo agosto-octubre de 2008.	77
Figura 24. Series de tiempo del índice de surgencia para el periodo agosto-octubre de 2008.	78
Figura 25. Imágenes satelitales de temperatura superficial del mar (TSM) semanales desde el 01 de agosto hasta el 30 de septiembre de 2008.	79
Figura 26. Imágenes satelitales de clorofila semanales desde el 01 de agosto hasta el 30 de septiembre de 2008.	81
Figura 27. Campo de velocidades advectivas para los meses de agosto, septiembre y octubre de 2008.	83
Figura 28. Promedio zonal de corrientes de la banda costera de 27 millas náuticas de velocidades advectivas para los meses de agosto, septiembre y octubre de 2008.	84
Figura 29. Transporte zonal (este-oeste) de la banda costera de 27 millas náuticas para los meses de agosto, septiembre y octubre de 2008.	85
Figura 30. Transporte meridional (norte-sur) de la banda costera de 27 millas náuticas para los meses de agosto, septiembre y octubre de 2008.	86

Figura 31. Esquema de la búsqueda de pesca de lanchas artesanales de la VIII Región, sin resultados de pesca (Septiembre de 2008).....	87
Figura 32. Lances de pesca realizados y que resultaron sin pesca en las zonas centro y sur, 2008.	88
Figura 33. Lances de pesca efectivos de sardina común realizados en las zonas centro y sur, 2008.	89
Figura 34. Lances de pesca efectivos de anchoveta realizados en las zonas centro y sur, 2008.	89
Figura 35. Frecuencia de tallas de sardina común y anchoveta de la zona sur. La línea vertical amarilla indica la talla media de madurez como referencia.	90
Figura 36. Relación entre la fecundidad parcial y el peso corporal de anchoveta y sardina común (azul = zona sur, rojo = zona centro).	96
Figura 37. Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta sobre secciones horizontales de temperatura y salinidad a 1 m de profundidad en las zonas centro y sur. ...	99
Figura 38. Sobreposición de abundancia de huevos de sardina común sobre secciones horizontales de temperatura y salinidad a 1 m de profundidad en las zonas centro y sur. .	100
Figura 39. Diagramas TS en que a la data de Temperatura y Salinidad a 1 y 10 m de profundidad de cada estación, se superpuso una representación escalada de la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común. Los círculos en rojo corresponden a abundancia de huevos en estaciones de la zona central y, en azul, a la zona sur.	102
Figura 40. Predicciones de la densidad de huevos de anchoveta (izquierda) y sardina común (derecha) con los modelos GAM seleccionados en la zona sur, año 2008. La escala corresponde al logaritmo de la densidad, y se ha superpuesto una escala relativa de la densidad observada (puntos rojos) y las estaciones negativas (cruces).....	104
Figura 41. Predicciones de la producción diaria de huevos de anchoveta (izquierda) y sardina común (derecha) con los modelos GAM seleccionados, año 2008. La escala corresponde al logaritmo de las estimaciones, y se ha superpuesto una escala relativa de la densidad observada (puntos rojos) y las estaciones negativas (cruces).....	105
Figura 42. Distribución de la abundancia huevos de anchoveta (huevos por 0,05 m ²) en la zona centro-sur de Chile.	107
Figura 43. Distribución de la abundancia huevos de sardina común (huevos por 0,05 m ²) en la zona centro-sur de Chile.	108
Figura 44. Comparación de la producción diaria de huevos en el área de estudio, según dos métodos de estimación para la anchoveta entre 2002 y 2008.....	109
Figura 45. Comparación de la producción diaria de huevos en el área de estudio, según tres métodos de estimación para la sardina común entre 2002 y 2008.	109
Figura 46. Comparación del stock desovante de anchoveta y sardina común mediante el MPDH, según dos métodos de datación de huevos: convencional (procedimiento de Lo) y actual (procedimiento multinomial).	110
Figura 47. Frecuencia de tallas y de atresia (%) en hembras de anchoveta, 2008.	115

5 Objetivo general

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

6 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.

7 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, Cubillos *et al.* 2001, Cubillos y Arcos, 2002).

En la zona centro-sur, la pesquería se desarrolla estacionalmente con capturas fuertemente dependientes de los pulsos de reclutamiento anual, proceso que tiende a ocurrir entre noviembre y enero de cada año y representado por peces de cuatro a cinco meses de edad y longitud modal centrada entre los 6 y 7 cm de longitud total (Cubillos *et al.* 1998, 2001). 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, 2004), 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 el criterio basado en la talla de primera madurez sexual para determinar la fracción adulta de la biomasa total evaluada por acústica. En otras palabras, el método hidroacústico no considera la dinámica reproductiva del stock, principalmente en términos de la frecuencia del desove y la subsecuente 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 la dinámica reproductiva y la producción de huevos realizada.

En efecto, actualmente el MPDH es la metodología más adecuada para evaluar 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 en la época

reproductiva mediante un crucero ictioplanctónico. La fecundidad específica diaria de la población se determina a partir de muestras de peces adultos obtenidos simultáneamente, 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).

El 2002 se aplicó por primera vez el MPDH en anchoveta y sardina común de la zona centro sur de Chile, a través del proyecto FIP 2002-14 (Cubillos *et al.* 2003a), generando información relevante desde el punto de vista de la dinámica reproductiva como de la distribución, abundancia, y producción de huevos (Cubillos *et al.* 2007). En general, se ha podido verificar 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 ha sido observado en los cruceros realizados en agosto-septiembre de 2001 (FIP 2001-14, Castillo *et al.*, 2002a,b), agosto de 2002 (FIP 2002-14, Cubillos *et al.* 2003a), en agosto-septiembre de 2003 (FIP 2003-06), en agosto-septiembre de 2004 (FIP 2004-03, Cubillos *et al.*, 2005), en agosto-septiembre de 2005 (FIP 2005-02, Cubillos *et al.*, 2006), y en septiembre de 2007 (FIP 2007-06).

Metodología

7.1. Área y período de estudio

7.1.1. Crucero de huevos

El área de estudio comprende la zona costera entre los 33°00' S y los 40°50' 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°00'S), b) Sector Centro, entre el norte de Constitución y el Golfo de Arauco (34°30' – 37°10'S) y c) Sector Sur, entre los 37°30' y 40°50'S. En cada uno de estos sectores se desarrollaron cruceros para colecta del ictioplancton utilizando tres 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
María Loreto	Norte	33°00' S – 34°00' S	08-Oct - 10/Oct/2008	14
LC Kay Kay	Centro	34°30' S – 37°10' S	04/Sep – 14/Sep/2008	179
Capito I	Sur	37°30' S – 40°50' S	05/Sep – 26/Sep/2008	184
Total				377

7.1.2. Crucero de adultos

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 2228-08 del 22 de agosto de 2008).

El Crucero de adultos se dio inicio el día 5 de septiembre en las zonas centro y sur, en forma simultánea al crucero de huevos. La zona centro corresponde al área comprendida entre los 34°30'S y 37°10'S, con puertos base en la VIII Región, y la zona sur al área limitada entre 38°30'S y 40°50'S, con puerto base en la XIV Región, correspondiendo a los Puertos de Valdivia y Corral. La **Tabla 2** muestra las embarcaciones participantes en el crucero de adultos de la zona centro y sur.

Tabla 2. Las embarcaciones participantes en el crucero de adultos.

Zona	Embarcación	Matricula	RPA
Centro	ISAAC	636	910399
Centro	DON DEMETRIO III	1014	924603
Centro	GALEON II	2583	924619
Centro	DON JULIAN	1354	910367
Sur	FELIPE N	1402	923432
Sur	CONSTITUCION	639	916010
Sur	CLAUDIO I	588	951206

7.1.3. Vigilancia reproductiva

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).

Con el objeto de evaluar la condición reproductiva de las hembras de sardina común y anchoveta, desde febrero de 2008 se desarrolló una vigilancia reproductiva que consistió en la obtención de muestras de ejemplares desde el desembarque, para el seguimiento temporal de indicadores macroscópicos. Si bien se comprometió también utilizar indicadores microscópicos, solamente se contó con muestras en condiciones adecuadas para este fin en julio y agosto. Sin embargo no fueron suficientes en términos de monitoreo, ni utilizadas en tiempo real.

Se comunica los estadígrafos de la estructura de tallas y la frecuencia temporal de los estados de madurez sexual macroscópicos, según escala de cinco puntos (Cubillos *et al.* 1999); a saber: Estado I (virginal), Estado II (en maduración, o en recuperación), Estado III (maduro), Estado IV (hidratado), y Estado V (desovado). Además, en la escala temporal, se analizó la evolución del índice gonadosomático (IGS), expresado por:

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

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.

7.1.4. Monitoreo ictioplanctónico

Con el objeto de contar con información adicional que incluya muestras extras -previo, durante y posterior a la actividad reproductiva-, se llevo a cabo un monitoreo de abundancia de huevos de anchoveta y sardina común en el plancton desde mediados de junio hasta fines de noviembre de 2008. El monitoreo se realizó en la Bahía Concepción y la desembocadura del Río Itata, lugares que muestran el desarrollo de los máximos de abundancia de huevos de ambas especies. El muestreo se realizó mediante arrastres oblicuos con red bongo, con mallas 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 estereoscópicas utilizando los métodos estándares de identificación de huevos y larvas de las dos especies objetivo.

7.2. Crucero de huevos: diseño de muestreo

7.2.1. Grilla regular y muestreo de huevos con red PAIROVET

El área completa de estudio fue muestreada utilizando una grilla de 377 estaciones dispuestas en transectas perpendiculares a la costa. El límite occidental de las transectas a lo largo del área de estudio fue variable dependiendo de la ubicación del quiebre de la plataforma continental (200 m). A su vez, como límite oriental se consideró una distancia máxima de media milla náutica desde la costa (**Figura 1**).

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 10 millas náuticas, comenzando en los 33°00'S y terminando en los 34°00'S. 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 4 transectas con un total de 14 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 33 transectas separadas cada 5 millas náuticas entre los 34°30'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 179 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°30'S y 40°50'S. En total se realizaron 36 transectas y 184 estaciones planctónicas. En este sector, dadas las 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.

La recolección de huevos de sardina común y anchoveta en cada estación consistió en un arrastre vertical desde una profundidad máxima de 70 m en zonas profundas, mientras que en aguas someras se realizó considerando un 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 estación y lance de red se registró: 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 borax (tetaborato de sodio).

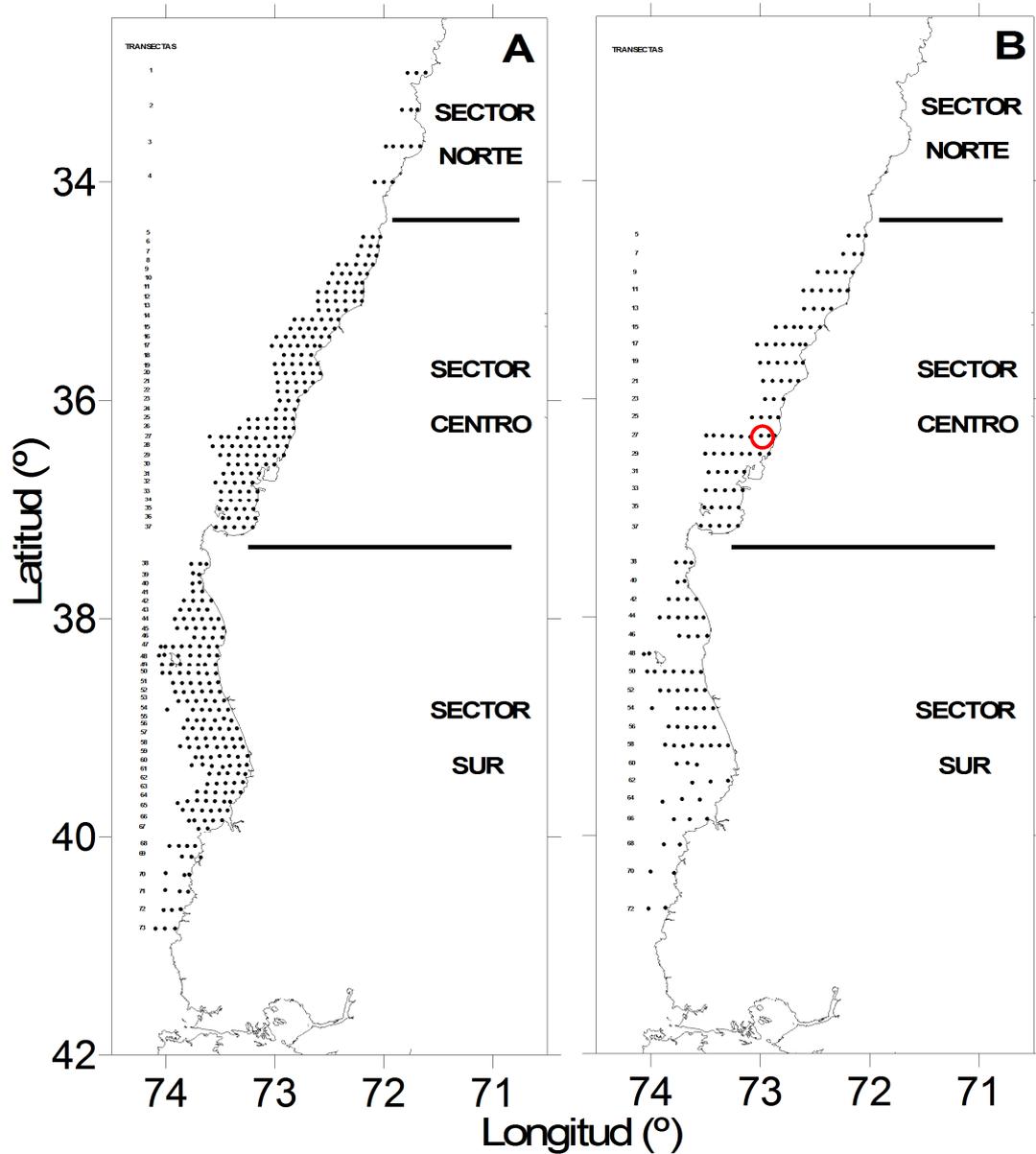


Figura 1. Mapa de la grilla de muestreo a lo largo de la plataforma continental de Chile Centro-Sur; a) estaciones muestreadas con red CalVET; b) Estaciones en que se realizaron perfiles de CTD. El círculo rojo muestra la ubicación del área de monitoreo de huevos.

7.2.2. Análisis en el laboratorio

Las muestras de plancton colectadas fueron analizadas en el Laboratorio de Oceanografía Pesquera y Ecología Larval (LOPEL, <http://www2.udc.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 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 clasifican como huevos deteriorados, y son asignados aleatoriamente a uno de los 11 estadios de desarrollo (Lo 1985).

7.2.3. Muestreo oceanográfico

En las estaciones de la grilla regular (transecta por medio) se realizaron perfiles hidrográficos con un CTD Seabird 19 (sectores centro y sur), equipado además con un sensor de oxígeno. Los lances hidrográficos se realizaron hasta 100 m de profundidad o hasta 10 m del fondo, según la batimetría de las estaciones. Adicionalmente, en todas las estaciones de la grilla, se midió la temperatura superficial del mar a bordo (temperatura de balde) con termómetros digitales. Además, se utiliza información satelital de la temperatura superficial del mar para el periodo de estudio, la cual se compara con los datos de campo.

7.3. 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 N°2228-08, del 22 de agosto de 2008). Se utilizó cuatro lanchas artesanales en la zona centro (L/M Galeón II, L/M Isaac, L/M Don Demetrio III y L/M Don Julian) y tres lanchas artesanales en la zona sur (L/M Felipe N, L/M Constitución y L/M Claudio I), las cuales realizaron lances de pesca para la obtención de las muestras de adultos necesarias entre el

5 de septiembre y 22 de octubre. Las lanchas artesanales operaron con red de cerco anchovetera, estando equipadas con sonar, radar, GPS, y radios VHS y HF.

7.3.1. 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 de desove (Blaxter y Hunter 1982, Gánias 2008). 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 el 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.

La experiencia de cruceros previos indica que un mínimo de 40 lances y 35 hembras maduras por lance satisfacen los requerimientos de precisión en términos de coeficientes de variación inferiores o cercanos al 10 %, siendo la fracción diaria de hembras desovantes usualmente el parámetro menos preciso. Al respecto, y con el objeto de evaluar diferencias entre el sector centro y sur del área de estudio, particularmente en la fracción diaria de hembras desovantes, se considera un mínimo de 25 lances por especie por estrato geográfico como tamaño mínimo, con el objeto de lograr una estimación estratificada de la biomasa desovante (Cubillos *et al.* 2007).

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 35 hembras maduras (Picquelle 1985), las que fueron fijadas inmediatamente en una solución de formalina al 10 % (bufferada 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. 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 intentó un muestreo dirigido de hembras hidratadas con el objeto de contar con un número suficiente para determinar la fecundidad parcial. Sin embargo, en el crucero 2008 no se contó con muestras de hembras hidratadas para estos fines (ver resultados), de tal manera que la fecundidad parcial se estimó sobre la base de un modelo que cubre el periodo 2002-2007.

7.3.2. Justificación del número de lances y ejemplares por lance

El tamaño de muestra (50 lances y 35 hembras por lance) se justificó estadísticamente según metodología descrita por Picquelle (1985), consistente en la evaluación del diseño de muestreo en 2 etapas donde la media y la varianza son estimadas siguiendo a Cochran (1980):

$$2)... \quad \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{X}_i}{n},$$

donde:

$$3)... \quad \bar{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^m X_{ij}}{m}$$

y

$$4)... \quad \hat{V}AR(\bar{\bar{X}}) = (1 - f_1) \frac{S_1^2}{n} + f_1(1 - f_2) \frac{S_2^2}{nm}$$

donde:

$$5)... \quad S_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{X}_i - \bar{\bar{X}})^2}{n-1} \text{ es el componente de varianza entre lances, y}$$

$$6)... \quad S_2^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (X_{ij} - \bar{X}_i)^2}{n(m-1)} \text{ es el componente de varianza intra-lances.}$$

Además,

$$7)... \quad f_1 = \frac{n}{N},$$

donde N es el número total de estaciones, y

$$8)... \quad f_2 = \frac{m}{M}$$

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:

$$9)... \quad \hat{V}AR(\bar{\bar{X}}) = \frac{S_1^2}{n}$$

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) puede ser expresada como una función de la razón de la varianza de muestras agrupadas y la varianza de muestras aleatorias, según:

$$10)... \quad \frac{\sigma_{\bar{\bar{X}}}^2 \text{ agrupada}}{\sigma_{\bar{\bar{X}}}^2 \text{ aleatoria}} = 1 + \rho(m-1)$$

donde:

$$11)... \quad \sigma_{\bar{X}}^2 \text{ agrupada} = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{X}_i - \bar{\bar{X}})^2}{n(n-1)},$$

y

$$12)... \quad \sigma_{\bar{X}}^2 \text{ aleatoria} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (X_{ij} - \bar{\bar{X}})^2}{nm(nm-1)}$$

Ya que no existe una misma 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 será el elegido para seleccionar los valores de m y n . En el crucero realizado el 2002, se encontró que la fracción diaria de hembras desovantes (S) presentó el mayor coeficiente de variación (Cubillos *et al.* 2003). En el caso de la anchoveta se estimó $S = 0,107$ (CV = 0,128) y en la sardina común $S = 0,131$ (CV = 0,113). A partir de dicha información, 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 que la correlación intra-grupos fue estimada cercana a 0,02 para ambas especies, y el número de lances fue de $n = 32$ en anchoveta y $n = 57$ en el caso de la 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 por lance, se satisfacen los requerimientos de precisión para la estimación de la fracción diaria de hembras desovantes, con coeficientes de variación entre 10 y 15 % (**Tabla 3**).

En consecuencia, el tamaño de muestra de 50 lances por especie (100 en total, sumando ambas especies), y 35 ejemplares hembra por lances, permitiría contar con 1750 ejemplares de anchoveta y 1750 ejemplares de sardina común para determinar la frecuencia del desove, y peso promedio de hembras maduras. Estos requerimientos son mínimos.

Tabla 3. 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).

N° 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

7.4. Producción diaria de huevos y tasa de mortalidad diaria

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, puede ser estimada de acuerdo con el siguiente modelo de mortalidad:

$$13)... \quad P_t = P_0 \exp(-Zt)$$

donde P_t es el número de huevos (huevos por unidad de área) a la edad t o tanda diaria de huevos, t es la edad media en días, medida como el tiempo transcurrido desde la hora del desove, P_0 es la producción diaria de huevo por una unidad de área, Z es la tasa instantánea de mortalidad diaria de

huevos. 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.

Es relevante establecer los criterios asociados con las colas de la abundancia de huevos. En el caso de la sardina común y anchoveta se descartarán 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. A su vez, se debe evitar 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 no es que mueran sino más bien pasa a ser larvas con saco vitelino. 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 95% de la edad esperada de eclosión serán excluidas para evitar los probables sesgos causados por eclosión incompleta (Somarakis *et al.* 2002, 2004). Los criterios aquí establecidos fueron evaluados en el Proyecto FIP 2006-38 “Mejoramiento del Método de Producción Diaria de Huevos Aplicado en Pelágicos Pequeños (Claramunt *et al.* 2007a)”.

Básicamente, en lugar del tradicional ajuste no-lineal ponderada o sin ponderar, la estimación de P_0 y Z se realizó para cada estrato geográfico sobre la base de un modelo lineal generalizado (GLM), según:

$$14)... \quad E[P_t] = g^{-1}[\log P_0 + Zt]$$

donde $E[P_t]$ es el valor esperado de la densidad de huevos de edad t y el g^{-1} es el inverso de la función del enlace. En el procedimiento de ajuste, la función del enlace utilizó el logaritmo natural y la familia binomial negativa que resultó ser adecuada para el caso de la variación de la densidad de huevos con la edad (Bernal *et al.* 2001). La distribución binomial negativa tiene un parámetro extra (de dispersión), el cual se estimó iterativamente según los procedimientos de ajuste de Venables y Ripley (2002). Los parámetros, $\log(P_0)$ y Z , se estiman como el intercepto y la pendiente del modelo GLM. La producción diaria de huevos se estima utilizando el antilogaritmo del intercepto. Se utilizó la biblioteca MASS (Venables and Ripley 2002), escrita para el lenguaje y software R (Ihaka y Gentleman 1996, <http://www.r-project.org>).

7.4.1. Determinación de la edad a los huevos

a) Método convencional: procedimiento automatizado de Lo

Para asignar la edad a los huevos, se utilizó el procedimiento automatizado de Lo (1985) con los modelos temperatura-estadio-dependiente descritos por Cubillos *et al.* (2007) y que permiten calcular la edad en función de la temperatura y el estadio de desarrollo. En el caso de la sardina común, se tiene:

$$16)... \quad Y_{D,T} = 15,98 \times \exp(-0,0631 \times T - 0,0198 \times D) \times D^{1,04},$$

y para el caso de la anchoveta:

$$17)... \quad Y_{D,T} = 18,1 \times \exp(-0,0789 \times T - 0,0542 \times D) \times D^{1,31}$$

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 usó la metodología 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. La hora del desove se calculó mediante el análisis de la incidencia del Estadio I de los huevos de ambas especie (sin división celular), determinándose que en la anchoveta y sardina común ocurre a las 24.6 h (DS = 3.817 h) y 23.1 h (DS = 1.788 h). La corrección consiste en ajustar la fracción del día desde la hora del desove hasta la colecta, considerando la siguiente expresión:

$$18)... \quad Y_{D,T,k} = Y_{D,T} + k - f$$

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:

$$19)... \quad Y_{D,T,k} = \begin{bmatrix} k < (f - g) \Rightarrow & y_{D,T} - g \\ (f - g) < k < (f + g) \Rightarrow & y_{D,T} + k - f \\ (f + g) < k \Rightarrow & y_{D,T} + g \end{bmatrix}$$

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

b) Modelo multinomial

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 se ajusta una curva de mortalidad a los datos de abundancia de cohortes diarias dada la edad media ponderada (Picquelle 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 (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 del MPDH para el programa y lenguaje R. El procedimiento utiliza la misma información que el método tradicional, i.e.

- Información del crucero: la 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 (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 y dada 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:

$$20) \dots p(s | a, T)$$

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 una 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 de edad dada la fecha del crucero, i.e. $f_t(a | \tau)$. 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:

$$21) \dots \hat{p}(a | s, T, \tau) \propto f_t(a | \tau) p(s | a, T)$$

de esta manera se puede asignar 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).

7.4.2. Producción diaria de huevos en el área de desove

El área de desove queda definida por el área positiva. La producción diaria de huevos se estimó para el área de desove en cada estrato geográfico, asumiendo independencia entre los estratos geográficos.

Con el objeto de estimar la producción diaria de huevos en el área de estudio en cada estrato geográfico, se utilizó las recomendaciones de Picquelle y Stauffer (1985) para la post-estratificación. El estrato 0 comprendió todas las estaciones fuera del área de desove en las cuales la

producción de huevos es en esencia igual a cero. El área geográfica que incluyó las estaciones positivas fue considerada como el área de desove y estrato 1, y puede incluir o no algunas estaciones negativas en su interior. Se espera que la distribución espacial de la abundancia de huevos sea agregada, a la forma de una función de distribución del tipo binomial negativa en la cual la varianza es mayor que la media. La superficie en cada estrato es representada por cada estación, siendo el resultado la suma de las cuadrículas al interior de cada estrato. Bajo el enfoque de post-estratificación, la producción diaria total en cada estrato geográfico corresponderá, según Picquelle y Stauffer (1985), a la siguiente expresión:

$$22)... \quad P_0 = \sum_{h=0}^1 P_{0,h} \frac{A_h}{A}$$

donde $P_{0,h}$ es la producción diaria de huevos por unidad de superficie para el estrato h , A_h es el área del estrato h ($h = 0$ área negativa, $h = 1$ es el área de desove), y A es el área total evaluada al interior de cada sector.

La varianza de la producción diaria de huevos, puede ser estimada por:

$$23)... \quad Var(P_0) = (1 + 1/n) \sum_{h=0}^1 \frac{A_h}{A} V(P_{0,h})$$

donde la varianza del estrato cero es cero por definición.

7.4.3. Área de estudio y estimación de los límites del crucero

Idealmente, en estudios de inferencia que se basan en el diseño (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 delimitar el área de crucero y área de desove se siguió la metodología disponible en la biblioteca “geofun” y “spatstat” para R, ya que:

- Los límites internos (costeros) son definidos por una versión suavizada de la línea de costa, 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.

El conocer el área exacta representada por un punto de muestreo (o cualquier otro punto sobre el cual la predicción toma lugar) es muy importante ya que 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 el área exacta en forma tan precisa como sea posible 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 considera 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.

Los tres paquetes computacionales que permiten analizar los límites del crucero y ejecutar estimaciones de la producción diaria de huevos, incluyendo modelos GAM, fueron desarrollados como funciones para R (<http://www.cran.r-project.org>, Ihaka y Gentleman, 1996). R es un programa de libre distribución bajo los términos del “Free Software Foundation’s GNU General Public License (Hornik 2002). 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 automática de modelos 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).

7.5. Proporción de estadios de madurez sexual microscópicos y fracción diaria de hembras desovantes

La condición reproductiva de las hembras fue evaluada mediante el análisis de la proporción de los estadios de madurez de los ovarios. Se usó 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 4**. La escala microscópica incorpora a un estadio llamado

“Postdesovante de tanda” que contiene un momento importante en el proceso reproductivo de desovadores parciales.

Tabla 4. 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 depositación 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 de la depositación 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 fluídos. 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 en depositación temprana 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.

7.5.1. Folículos postovulatorios

Los folículos postovulatorios (FPO) 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 absorbido 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 deterioro y absorción 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* (**Tabla 5**).

Tabla 5. 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 (Hunter y Goldberg 1980). 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 caballa (*Scomber japonicus*) por Dickerson *et al.* (1992) y de la anchoveta. En consecuencia, las características estructurales histológicas definen una clasificación de los FPO en nuevos, jóvenes, y viejos; mientras que la hora de colecta respecto de la hora de desove permite asignar la edad correctamente.

No obstante que la metodología previa es la estándar, el grupo de trabajo revisó los criterios morfohistológicos de clasificación utilizados, adoptándose una escala de 7 puntos que ha permitido mejorar la asignación de edad a los FPO, tanto de anchoveta (**Tabla 6**) como de sardina común (**Tabla 7**). Estos criterios fueron aquellos recomendados por el Proyecto FIP 2006-38 para clasificar y asignar la edad a los FPO de ambos recursos (Claramunt *et al.* 2007a), y se basa en Alday *et al.* (2008).

7.5.2. Fracción diaria de hembras desovantes

La fracción diaria de hembras desovantes considera solamente los ovarios con folículos postovulatorios, y en su estimación se usa las ecuaciones de 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:

$$24)... \quad S_i = \frac{m_{h,i}}{m_i} \quad \text{ó} \quad \frac{m_{1,i}}{m_i} \quad \text{ó} \quad \frac{m_{2,i}}{m_i}$$

donde:

$$25)... \quad m_i = m_{h,i} + m_{1,i} + m_{2,i} + m_{a,i}$$

donde:

Tabla 6. Clasificación histológica de los folículos postovulatorios de anchoveta según grado de degeneración (Claramunt *et al.* 2007a).

Estadios de FPO		I	II	III	IV	V	VI	VII
Tamaño		Grande	Grande	Mediano	Mediano	Pequeño	Muy Pequeño	Remanente
Forma del FPO y relación con el lumen		Forma estrellada con grandes pliegues, lumen con granulos eosinofilos	Forma estrellada Pliegues mas próximos entre si lumen con granulos	Tendencia a perder los pliegues, forma alargada ,lumen en reducción sin granulos	Escaso lumen, pared folicular en estrecho contacto	Sin lumen, laminas foliculares en estrecho contacto	Sin lumen, aspecto poligonal laminas deterioradas	Aspecto poligonal deteriorado
Folicular	Células	Células cilindroides, poco hipertrofiadas forma una banda celular de limites claros	Idem	Idem	Perdida de ordenamiento, limites visibles aislados	Desorden celular, pocas células reconocibles	Escasa células reconocibles	No se reconocen células individuales
	Núcleo	Redondeado a elíptico	Pocos núcleos alargados picnoticos	Predominio de núcleos picnoticos	Idem	Idem	Escasos y picnoticos	Idem
	Vacuolas	No se reconocen	Escasas y muy pequeñas	De menor o igual tamaño al núcleo, poco numerosas	De igual o mayor tamaño al núcleo, numerosas	Grandes y dominan en las laminas celulares	Idem	No se reconocen
Teca		Fuertemente adherida y con células alargadas	Adheridas a la folicular, con alguna picnosis	Incidencia de células sanguíneas y capilares entre la teca y la folicular	Separada de la folicular por invasión de estroma ovárico a tramos	Completamente separada por invasión del estroma ovárico	Poco reconocible	No se reconoce

Tabla 7. Clasificación histológica de los folículos postovulatorios de sardina común según grado de degeneración (Claramunt *et al.* 2007a)..

ESTADIO	CARACTERISTICAS HISTOLOGICAS
I	No están presentes en la colección
II	Los folículos son numerosos, lumen estrecho, se presentan pliegues. Las células foliculares evidencian el inicio del proceso degenerativo, presencia de vacuolas de tamaño menor al tamaño de los núcleos, aun se conserva estructura lineal con núcleos en distintos grados de picnosis, menos numerosos que los núcleos sanos. células tecales se presenta adheridas al tejido folicular, en algunos casos hay desprendimiento de la envoltura folicular, pero no de manera extensa, también existe presencia de capilares entre la teca y las células foliculares.
III	Los folículos aun conservan tamaño similar al Estado II, se incrementa el número de núcleos picnoticos, las vacuolas de igual o mayor tamaño de los núcleos sanos, se observa ruptura celular, presencia de capilares sanguíneos, aun se observa ordenamiento de la lámina folicular, y la lámina tecal aun se adhiere a la lámina folicular.
VI	Considerable reducción del tamaño del folículo y del lumen, envoltura folicular constituida principalmente por células vacuoladas y en algunos casos células rotas, presencia de núcleos picnoticos muy numerosos y algunos hipertrofiados, aun se presenta cierto ordenamiento de las células foliculares.
V	El folículo es pequeño y carece de lumen, con forma de poliedro, dominancia de núcleos picnóticos y células vacuoladas en la estructura folicular, desorden masivo de la envoltura folicular.
VI	Folículos pequeños con forma poliédrica, se observan vestigios de las células foliculares, principalmente y algunos núcleos, con dominancia absoluta de picnosis y presencia de vacuolas.
VII	Folículos de muy reducido tamaño, de forma triangular o poliédrica, ubicados entre los ovocitos, no es posible encontrar vestigios de células foliculares ni núcleos, solo se reconoce el remanente tecal.

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 el marco del Proyecto FIP 2006-38 “Mejoramiento del Método de Producción Diaria de Huevos Aplicado en Pelágicos Pequeños”, se revisó la datación de los folículos postovulatorios de 2002, 2003, 2004 y 2005, y se encontró que usualmente la fracción desovante de estimada hembras de día 2 es bastante alta. Aunque se distinguió folículos postovulatorios de Día 0 (hembras que desovaron la noche de captura, 0 – 9 horas), Día 1 (entre 9 y 32 horas, la noche anterior), y Día 2 (entre 33 y 56 horas después del desove), es más adecuado estimar la fracción diaria de hembras desovantes considerando sólo las hembras de día 1 ya que por lo general el muestreo generalmente se realiza en horas del día (6:30 a 18:00 h). Probablemente, las hembras de Día 2 pueden permanecer más tiempo asociada a un mayor tiempo de degeneración (Macewicz, com. Pers. 2006). Es conocido que la degeneración de los folículos postovulatorios es afectado por la temperatura (Fitzhugh and Hettler 1995, Ganas *et al.* 2003), y el bajo rango de temperatura (11 – 12 °C) observado en los cruceros podría estar afectando la exactitud en la datación de los folículos más viejos. Esto constituye más bien una inexactitud más que un sesgo, de tal manera que es preferible solo usar los folículos postovulatorios de día 1 para el cálculo de la fracción diaria de hembras desovantes (Macewicz, com. pers. 2006, Cubillos *et al.* 2007).

Por lo tanto, la fracción diaria de hembras desovantes (\bar{S}) del presente estudio correspondió a la proporción de hembras que desovaron la noche previa a la captura, cuyos ovarios presentaron FPO I al IV. La media y la varianza de la fracción diaria de hembras desovantes fueron estimadas a partir de la ecuación Alheit *et al.* (1984) y Picquelle y Stauffer (1985), i.e.

$$26)... \quad \bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{S}_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

con varianza igual a:

$$27)... \quad Var(\bar{S}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum \left(\frac{m_{y,i}}{\bar{m}} \right)^2 (\bar{S}_i - \bar{S})^2$$

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

7.6. Fecundidad parcial y fecundidad media poblacional

7.6.1. Fecundidad parcial

La actividad dirigida a recolectar hembras hidratadas no fue exitosa, y no se contó este particular estado de madurez ni de sardina común ni anchoveta. En parte, tal situación se debió a la situación del recurso que exhibió una estructura de tallas juvenil y a la baja disponibilidad de ambos recursos durante el crucero de adultos (ver resultados).

Con el objeto de utilizar un modelo de regresión entre la fecundidad parcial y el peso corporal, se utilizó los datos de años previos. Los parámetros del modelo de regresión lineal se estimaron sobre la base de todos los años previos (2002-2007), ya que no hubo antecedentes como para preferir algún año particular respecto de otros.

Los datos de fecundidad parcial de los años previos se basan en el recuento de ovocitos de ovarios hidratados utilizando el método gravimétrico (Hunter y Goldberg 1980, Hunter *et al.* 1985, Cubillos *et al.* 2007). En efecto, los ovocitos hidratados son aquellos que serán liberados en corto tiempo, y el número de éstos refleja la fecundidad parcial o la liberación de la tanda de huevos. El procedimiento de conteo de ovocitos consistió en 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; d) conteo de los ovocitos en cada submuestra bajo lupa, las que fueron 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:

$$28)... \quad \bar{E}_i = \bar{n} \times \bar{W}_i$$

donde:

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

\bar{W}_i = Peso húmedo del ovario (g).

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

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 consideró el modelo lineal entre la fecundidad parcial y el peso corporal de las hembras maduras, ya que ha sido el modelo que mejor se ajusta a los datos en otros estudios (Oliva *et al.* 2001, Cubillos *et al.* 2007). 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 y 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 heterocedasticidad, 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 la heterocedasticidad.

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

7.6.2. Fecundidad media poblacional

La fecundidad parcial de las hembras colectadas en cada lance se determinó sobre la base del modelo de regresión lineal del periodo 2002-2007, utilizando el peso corporal (peso del cuerpo de

hembras sin gónada). 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):

$$29)... \quad \bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{E}_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

donde:

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

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

$$30)... \quad Var(\bar{E}) = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{(\bar{E}_i - \bar{E})^2}{n-1} + \frac{S_h^2}{n_h} + (w_i^* - w_h^*) S_\beta^2 \right]}{\left(\sum_{i=1}^n (m_i / n) \right)^2 n}$$

donde:

\bar{E} = Fecundidad media poblacional,

\bar{E}_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.

7.7. Proporción sexual y peso promedio de hembras maduras

7.7.1. Proporción sexual

La proporción en peso de las hembras se debe estimar 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 puede ser estimada por:

$$31)... \quad \bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{R}_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

y su varianza por:

$$32)... \quad V\hat{A}R(\bar{R}) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i^2 (\bar{R}_i - \bar{R})^2}{\left[\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{n} \right]^2 n(n-1)}$$

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.

No obstante, en el crucero del 2008 hubo una alta incidencia de juveniles, virginales e inmaduros, lo que no permitió reconocer el sexo con certeza. En este caso, se asumió una relación de 1:1 y sin varianza. Se destaca que aunque se determinó el sexo con lupas, es preferible esta asunción ya que en estudios previos la proporción sexual no se desvía en forma importante de 1:1.

7.7.2. Peso promedio

El peso de las hembras se estimó a partir de un tamaño fijo de submuestra de hembras maduras, que viene dado por:

$$33)... \quad \bar{W} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{W}_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

y la varianza por

$$34)... \quad \hat{V}AR(\bar{W}) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i^2 (\bar{W}_i - \bar{W})^2}{\left[\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{n} \right]^2 n(n-1)}$$

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 se ajusta 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}) se estimó a partir de una regresión lineal entre el peso total y el peso sin gónadas (W_{ij}^*) que es ajustado solo en aquellas hembras que no tienen huevos hidratados, i.e.

$$35)... \quad \hat{W}_{ij} = \hat{\alpha} + \hat{\beta}W_{ij}^*$$

La distribución de frecuencia observada del peso promedio de hembras por lance es usualmente simétrica aunque puede ocurrir cierta insinuación de bimodalidad si hay una clase anual mayor a 1 año. 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, se aplicó 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 diluyente, razón por la cual los efectos de la preservación en formalina son muy específicos. El factor de corrección que se utilizó fue calculado 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 procedimiento utilizado a bordo, siendo vueltos a pesar a intervalos regulares. El factor de corrección para el peso y longitud fue calculado como la media del porcentaje de variación de las mediciones efectuadas después de 48 h y al mes después de la fijación.

7.8. Biomasa del stock desovante

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

$$36)... \quad B = \frac{P_0 A}{\frac{SFR}{W}} k$$

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:

$$37)... \quad E[B] = \hat{B} + b$$

donde $E[B]$ es el valor esperado de la biomasa y \hat{B} es el estimado de biomasa con la ecuación (42). El sesgo puede estimarse aproximadamente de la siguiente forma:

$$38)... \quad b \cong \hat{B}(CV(R)^2 + CV(F)^2 + CV(S)^2 + COVS)$$

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

39)...

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

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

$$40)... \quad Var(B) \cong \hat{B}^2 \times (CV(P)^2 + CV(W)^2 + CV(F)^2 + CV(S)^2 + 2 \times COVS)$$

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

$$41).... \quad COVS = \sum_i \sum_{i < j} sign \frac{COV(x_i, x_j)}{x_i x_j}$$

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:

$$42)... \quad r(F, W) = \frac{\sum_i m_i (\bar{F} - \bar{F}) k_i (\bar{W} - \bar{W})}{\{\bar{m} \bar{k} n(n-1)\} \sigma_F \sigma_W}$$

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.

7.9. Distribución espacial de huevos asociada a variables oceanográficas

7.9.1. Hidrografía

Con la información oceanográfica obtenida en el crucero de huevos, se describió la distribución espacial de la temperatura, salinidad, y densidad. Dicha descripción se realizó mediante mapas de isolíneas que fueron construidos 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 temperatura costa-océano cada 30 millas náuticas de latitud,
- secciones verticales de salinidad costa-océano cada 30 millas náuticas de latitud,
- secciones verticales de densidad costa-océano cada 30 millas náuticas de latitud.

7.9.2. Análisis de datos satelitales

Obtención y tratamiento de las imágenes satelitales

Con el objeto de realizar una caracterización de las condiciones oceanográficas y meteorológicas del área costera comprendida entre 34°00' y 40°00'S durante los meses de agosto, septiembre y octubre de 2008, imágenes satelitales de temperatura superficial del mar y clorofila MODIS Aqua Globales, con resolución espacial de 4x4 Km y temporal de 24 horas (clorofila) y 12 horas (temperatura), fueron obtenidas del sitio OceanColor Web (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/ftp.html>), las cuales fueron escaladas (obtención de unidades geofísicas) y corregidas atmosféricamente con el software Matlab 6.1, para obtener finalmente valores de temperatura (°C) y clorofila (mg/m³) para la región costera frente a Chile Central-Sur.

Adicionalmente, se obtuvo imágenes de viento satelital Quikscat de resolución temporal diaria y espacial de 1/2 grado provenientes de la agencia IFREMER (<ftp.ifremer.fr>).

Una de las principales limitaciones de los sensores infrarrojos es que no obtienen información en zonas con cobertura nubosa (clorofila y temperatura). Por este motivo, se implementó una metodología de interpolación en tres dimensiones, la que considera la variabilidad en el espacio y el tiempo de los datos para su interpolación (Marcotte 1991, Navarro *et al.* 2006), con el fin de mejorar la cobertura de información sin perder la variabilidad espacial y temporal de la temperatura y clorofila propia del área de estudio.

A partir de las imágenes de viento satelital diarias, se construyó seis series temporales cada un grado de latitud desde los 34°00' a 40°00' S considerando el dato más cercano a la costa. Además, se calculó el índice de surgencia para cada serie según la metodología de Arcos y Navarro (1986).

Calculo de velocidades advectivas mediante el método de Máxima Correlación-Cruzada.

Para estimar el campo de velocidades advectivas superficiales, se implementó el método máximo de la correlación cruzada (Emery *et al.* 1986), el cual se basa en la identificación de máximos coeficientes de correlación-cruzada en una matriz de rezago entre dos subáreas de un par de imágenes satelitales secuenciales de temperatura.

La primera imagen es dividida en sucesivas subáreas de 6x6 píxeles de tamaño llamadas ventanas plantillas. Para cada ventana plantilla, en la segunda imagen, se seleccionó una ventana de 12x12 píxeles de tamaño llamadas ventanas de búsqueda, cada ventana de búsqueda presenta el mismo centro espacial que la ventana plantilla correspondiente. La ventana plantilla recorre la ventana de búsqueda en la dirección "x" e "y" cada un píxel, calculando coeficientes de correlación-cruzada. El desplazamiento relativo entre la posición del centro de la ventana plantilla y el centro en la ventana de búsqueda, donde la correlación-cruzada fue máxima, determina el vector de velocidad; otros detalles del procedimiento exacto aplicado se encuentra en Navarro *et al.* (2004). En el cálculo de la correlación-cruzada se ha considerado un máximo de un 40 % de datos que responden al código de nubes. Los valores de coeficientes de correlación significativos seleccionados fueron superiores a 0,6.

7.9.3. Relación distribución de huevos con variables ambientales.

Las relaciones entre la distribución de huevos con las variables ambientales se investigó según dos métodos cualitativos, y dos métodos estadísticos.

a) Análisis cualitativos

- 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.
- 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).

b) Análisis cuantitativos

Se utilizó modelos aditivos generalizados (GAM) para analizar la relación existente entre la densidad de huevos y características físicas del ambiente en el área de desove. Esta técnica ha demostrado ser una poderosa herramienta para modelar la distribución de huevos y la producción diaria de huevos (e.g. Borchers *et al.* 1997, Bernal 1999; Stratoudakis *et al.* 2003), pero varios problemas metodológicos no habían podido ser resueltos para ser utilizados adecuadamente en el MPDH. Dichos problemas metodológicos han sido superados a través del proyecto de la Unión Europea “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>), cuyas mejoras se pueden resumir en:

- Rutinas para la selección de modelos utilizando GAM, lo que previamente había sido realizado sobre una base *ad hoc* con elementos subjetivos.
- Modelación independiente del sistema de coordenadas en GAM, de esta manera los modelos deberían ser insensitivos a cambios en el sistema de coordenadas.
- Modelación de interacciones con GAM, cuyo principal tópico es cómo escalar la covarianza relativa de las variables.
- Mejor desempeño de la inferencia con modelos GAM
- Asegurar estabilidad del modelo con datos que se caracterizan por una alta presencia de ceros

- Facilitar el uso de las nuevas rutinas a usuarios interesados en mejorar estimaciones con el MPDH.

Se destaca que gran parte de los tópicos mencionados necesitaron de cambios en la metodología estadística básica en GAM. Por ejemplo, la estimación de la producción diaria de huevos (P_0) y la tasa de mortalidad diaria (Z) es un problema específico del MPDH. Por esta razón, varias mejoras estadísticas fueron desarrolladas a través del proyecto de la UE, las que se describirán aquí y serán aplicadas en la problemática general de la producción diaria de huevos de anchoveta y sardina común.

La formula general simplificada de GAM que será aplicada en la estimación de la producción diaria de huevos se expresa por:

$$43)... \quad E[N_i] = g^{-1}(offset + s(x_1, by = P_0) + s(x_2, by = edad))$$

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. $s(\text{TSM}, by = edad)$.

Las estimaciones de la edad y N_i fueron obtenidas directamente desde las muestras mediante un nuevo procedimiento de asignación de edad (modelo multinomial). 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 que se usó fue la quasipoisson con enlace logaritmo, la cual se consideró más apropiada para el tipo de datos. 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 fue seleccionado por el equipo de trabajo sobre la base del conocimiento de la especie y las características del hábitat reproductivo. La ventaja de esta

metodología es que no requiere de supuestos *a posteriori* acerca de la estratificación del área de estudio.

Ajuste 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 UBRE (unbiased risk estimation), o AIC (criterio de información de Akaike).
- 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.

8 Resultados

8.1. Monitoreo reproductivo de adultos

8.1.1. Frecuencia de tallas

En la zona centro, se analizó un total de 10228 individuos de sardina común desde febrero a noviembre. La estructura de tallas incluyó individuos entre 4 y 17 cm de longitud total (LT), con una longitud promedio de 9,4 cm (**Tabla 8a**). La estructura de talla estuvo dominada por individuos menores a 11 cm LT, con cerca de 95% del total de individuos muestreados bajo esta talla (**Figura 2**). En agosto, no se observó un incremento en la presencia de hembras más grandes (> 11 cm). En dicho mes se recolectó solamente 782 individuos, de los cuales 31,1 % fueron machos, 31,8 % fueron hembras, y 37,1% fueron indeterminados. En noviembre se muestreó 2283 individuos, de los cuales solo el 7,8% de los individuos fueron hembras, con una talla promedio de 12,5 cm LT y con una gran predominancia de individuos indeterminados, alrededor del 85 % y con una moda de 10,5 cm LT.

En el caso de la anchoveta, en el periodo marzo-diciembre, la estructura de tallas incluyó individuos entre 8 y 18 cm, y una longitud promedio de 13,9 cm (**Tabla 8b**). Se analizó un total de 8850 individuos, observándose que en marzo hubo una gran presencia de individuos mayores a 14 cm (**Figura 3**). En agosto en cambio, se obtuvo una muestra de 296 individuos, de los cuales el 100% fue indeterminado, y 81 % fueron ejemplares menores a los 14 cm LT. En diciembre, de un total de 149 individuos el 51 % fueron machos y el 49% hembras, donde todos los individuos se encontraban sobre los 11,5 cm LT.

En la zona sur, Corral y Valdivia, se obtuvo muestras de sardina común y anchoveta desde junio a agosto y noviembre. En esta zona, se analizaron 4225 individuos de sardina común, presentando una estructura de tallas que incluyó individuos entre 7 y 16 cm de longitud total (LT). En este periodo se muestra claramente dos modas bien marcadas, observándose en agosto y noviembre un incremento en la presencia de individuos menor a 11 cm (**Tabla 9, Figura 4**). En el caso de anchoveta, solo se contó con 393 individuos, las cuales presentaron una estructura de tallas incluyo individuos entre 14 y 17,5 cm LT. En noviembre se observó un gran predominio de individuos menores a 12 cm LT.

Tabla 8. Resumen de distribución de frecuencias de tamaño durante el monitoreo reproductivo en la zona centro (LT se refiere al promedio de la longitud total).

a) S. común	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
LT prom	8,8	-	8,8	9,2	8,1	8,5	9,0	-	12,0	11,1	-
Moda	9	-	8,5	8,5	8	8,5	8,5	-	9; 14,5	11	-
LT min	5	-	5,5	6	4	6	7	-	7	5,5	-
LT max	12,5	-	14	15	15	12	14,5	-	17	16	-
n	869	-	310	551	1706	1353	782	-	2374	2283	-
b)Anchoveta	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
LT prom	-	16,3	13,9	12,6	12,4	13,0	12,6	-	14,9	14,3	15,3
Moda	-	16	14	12	13	12	11;14	-	17	16	16
LT min	-	14	10	8	8	8,5	9,5	-	8,5	9,5	11,5
LTmax	-	18	17,5	18	17,5	18	16	-	18	18	18
n	-	116	325	2071	4450	501	296	-	327	615	149

Tabla 9. Resumen de distribución de frecuencias de tamaño durante el monitoreo reproductivo en la zona sur (LT se refiere al promedio de la longitud total).

a) S. común	Jun	Jul	Ago	Nov
Lt prom	11,7	11,8	9,2	9,1
Moda	9; 13,5	10,5	8; 12,5	9
min	7	7,5	7	7,5
max	16	15,5	14	11
<i>n</i>	1155	1390	1538	142
b) Anchoveta	Jun	Jul	Ago	Nov
Lt prom	15,6	15,5	-	10,8
Moda	16	16	-	11
min	12,5	14,5	-	9
max	17,5	16,5	-	13
<i>n</i>	218	12	-	163

a) Sardina común, Zona Centro

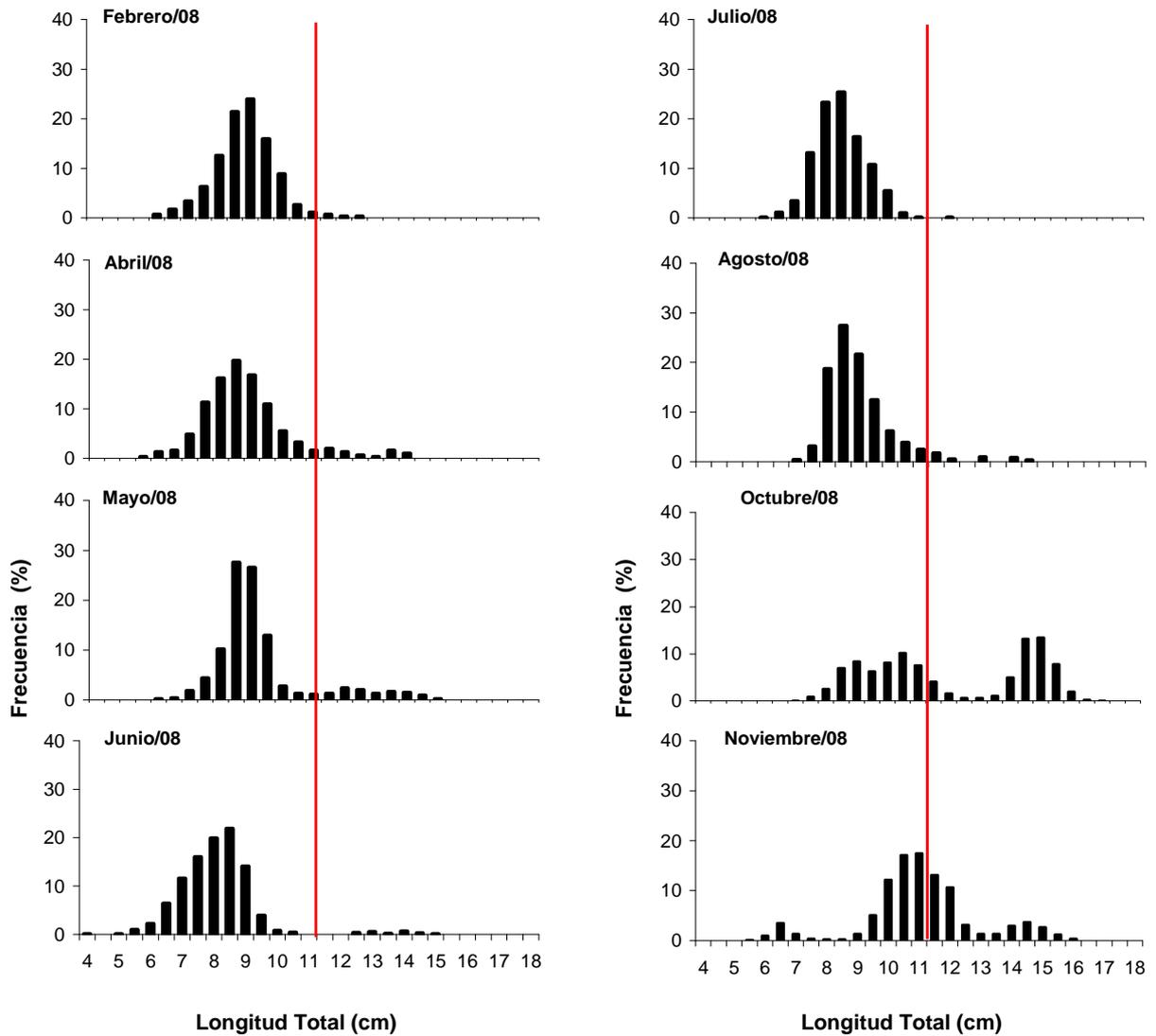


Figura 2. Frecuencia de tallas Sardina común, sector centro (la línea vertical roja representa la talla de madurez sexual).

b) Anchoveta, Zona Centro.

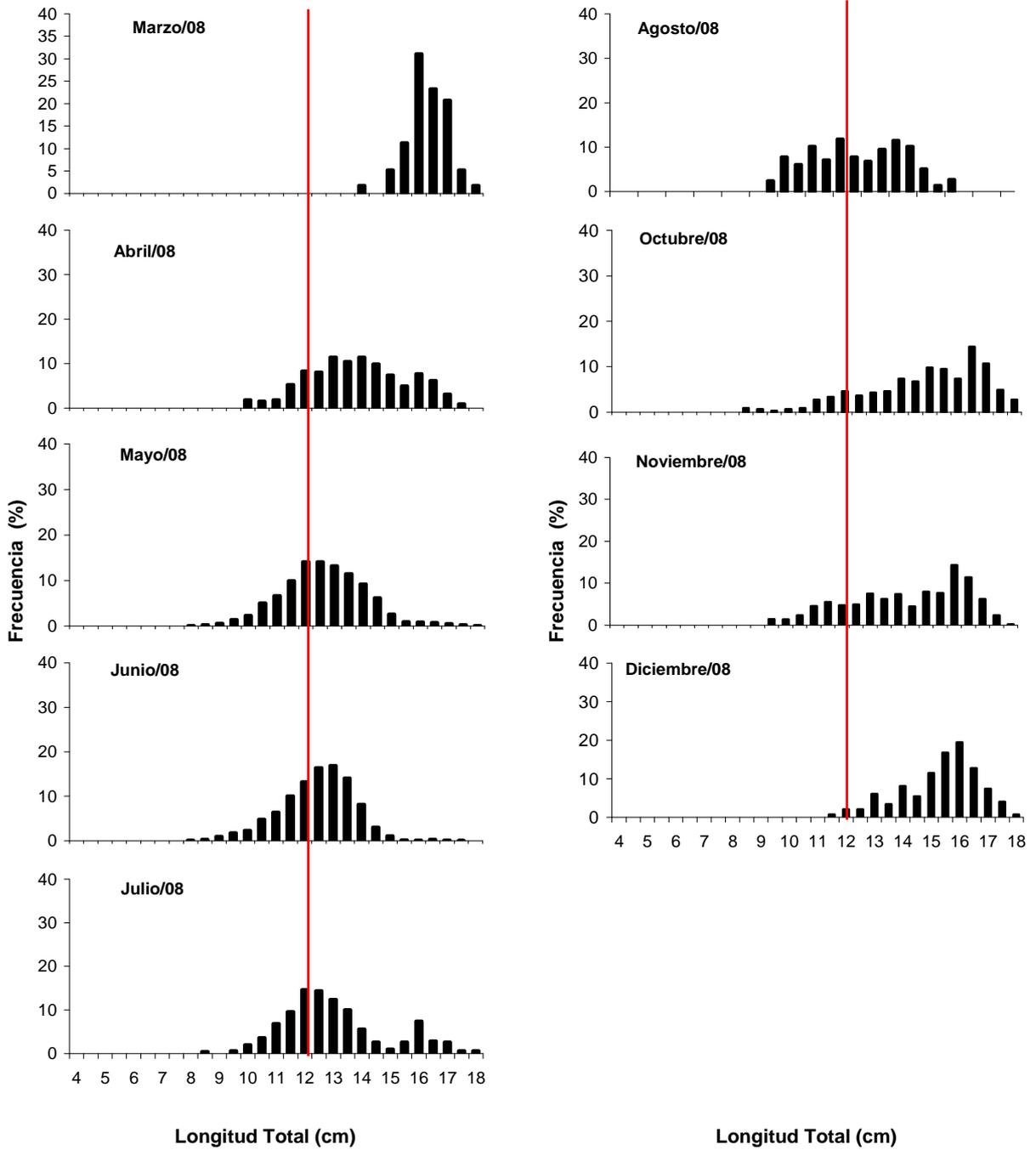


Figura 3. Frecuencia de tallas anchoveta, sector centro (la línea vertical roja representa la talla de madurez sexual).

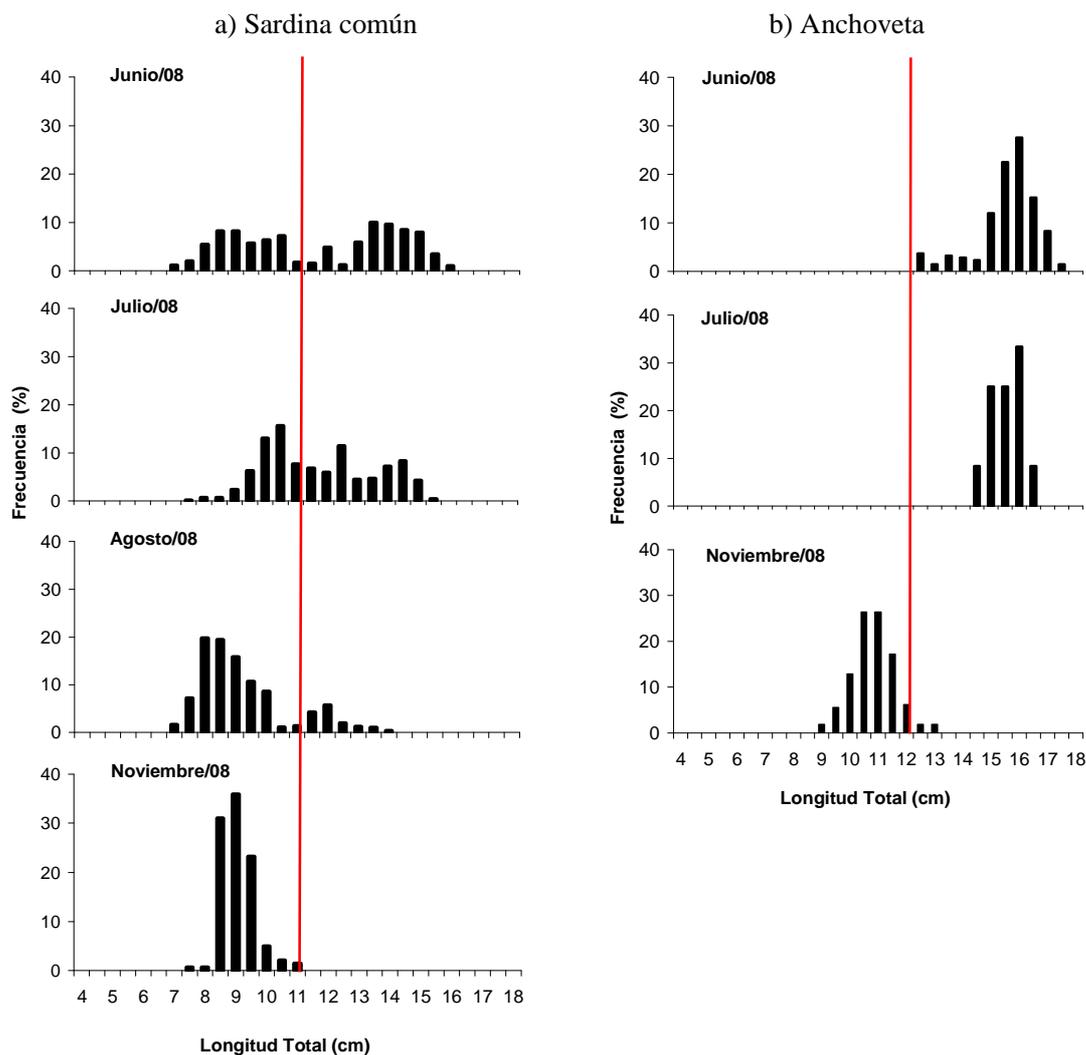


Figura 4. Frecuencia de tallas de a) sardina común y b) anchoveta en la zona sur (la línea vertical roja representa la talla de madurez sexual).

8.1.2. Indicadores reproductivos macroscópicos

En la zona centro (VIII Región), la evolución mensual del índice gonadosomático (IGS) de sardina común y anchoveta se muestra en la **Figura 5**. En la sardina común, se observó una muy baja actividad reproductiva entre los meses febrero a julio, con valores promedio de IGS de alrededor de 1,5% y comenzando un ascenso de los valores del IGS en agosto, con un valor de 4,4 (n = 277), alcanzando un máximo valor de IGS en septiembre con un valor de 9,7 (n =26) y descendiendo en los meses posteriores, llegando en diciembre con un valor de 3,8 (n =54). En

anchoveta se observó el mismo patrón en los primeros meses con valores bajos de IGS, y aumentando en agosto con un valor que presentó un IGS de 4,1 (n =132), en cambio, en septiembre hubo ausencia de muestras, pero a partir de octubre los valores aumentan alcanzando el máximo IGS en diciembre con un valor de 7,9 (n = 71).

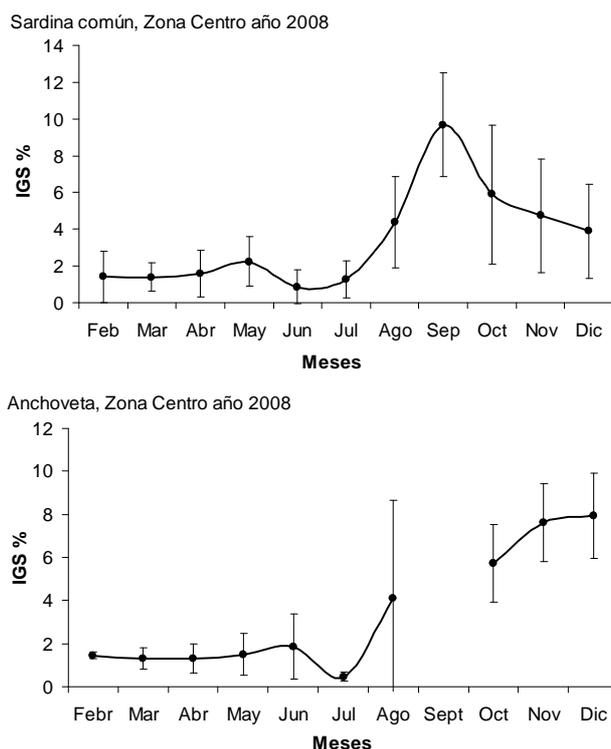


Figura 5. Evolución del mensual del IGS de sardina y anchoveta durante el año 2008.

En efecto, al considerar el IGS promedio por clases de tamaño, y si se considera que el umbral para que se dispare el IGS es cercano a 4 en estas especies pelágicas, se podría indicar que en el mes de agosto todas las tallas, entre 10 y 17 cm, están participando activamente en el proceso reproductivo, presentando valores de IGS cercanos a 5,5 (**Figura 6**). En septiembre, se aprecia el aporte exclusivo de hembras de 16 cm de longitud total promedio, con valor de IGS de 10. En cambio se observa que en agosto las hembras de mayor tamaño corporal logran IGS de 6 en la sardina común, mientras que la anchoveta exhibe valores más bajos. La anchoveta tiene un aumento de IGS sobre 6 en los meses de noviembre y diciembre (**Figura 6**), en el rango de tallas de hembras sexualmente maduras. Con estos antecedentes, se podría indicar que el máximo de actividad

reproductiva podría comenzar en septiembre para el caso de la sardina común y más tardía para anchoveta pero dentro de la época reproductiva (invierno-primavera). En la zona sur, en el caso de sardina común (**Figura 7**), se observa que en agosto se presenta un aumento IGS pero con un valor cercano de 6,2 (n = 7).

La **Tabla 10** muestra la distribución de los estados de madurez de sardina común y anchoveta de la zona centro, en la cual se logra apreciar que entre febrero y julio, las hembras, se encontraban en estado II (virgen madurando) y en agosto-septiembre en estado III (maduros), con presencia de hembras en estado IV (hidratado) en octubre-diciembre. En la zona sur, la sardina común presenta el mismo patrón (**Tabla 11**).

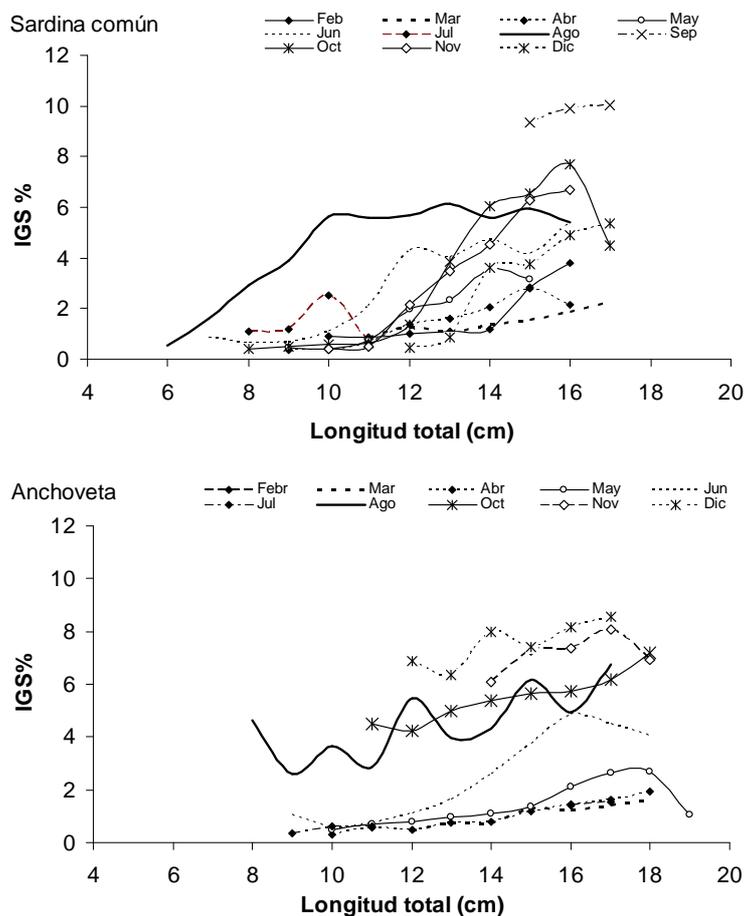


Figura 6. Evolución del IGS por talla de sardina común y anchoveta, zona centro 2008.

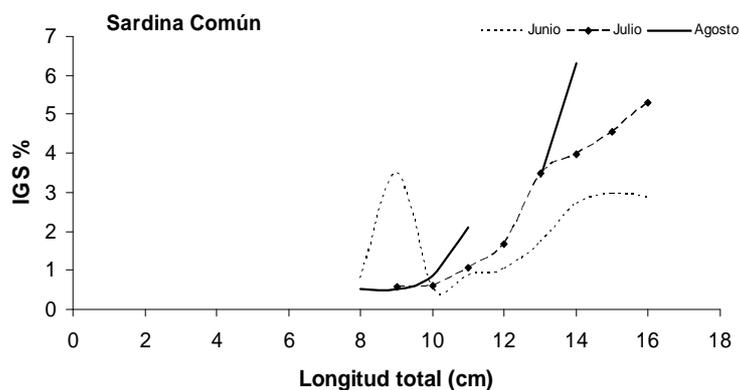


Figura 7. Evolución del IGS por talla de sardina común, zona sur 2008.

Tabla 10. Distribución del estado de madurez sexual macroscópico de sardina común y anchoveta durante el monitoreo reproductivo en la zona centro en número y porcentaje.

a) Sardina común						
Mes\EMS	I	II	III	IV	V	N° Hembras
Feb	0	95,9	4,1	0	0	73
Mar	0	97,2	2,8	0	0	178
Abr	0	72,8	13,9	13,3	0	173
May	0	56,8	43,2	0	0	37
Jun	0,44	95,4	4,1	0	0	899
Jul	0	91,3	8,7	0	0	103
Ago	0	27,1	72,9	0	0	277
Sep	0	0	100	0	0	26
Oct	0	12,1	65,7	22,2	0	1053
Nov	0	23,9	71,6	1,7	2,8	176
Dic	0	30,2	55,6	14,3	0	63
n	4	1605	1175	269	5	3058
b) Anchoveta						
Mes\EMS	I	II	III	IV	V	N° Hembras
Feb	0	100	0	0	0	3
Mar	0	98,221	1,7794	0	0	281
Abr	0	95,632	4,3682	0	0	641
May	0	88,628	11,372	0	0	554
Jun	0	75,448	23,955	0,5972	0	1507
Jul	0	100	0	0	0	7
Ago	0	17,293	82,707	0	0	133
Oct	0	2,6471	81,176	16,176	0	340
Nov	0	0	98,246	1,7544	0	57
Dic	0	1,3333	92	5,3333	1,3333	75
n	0	2560	968	69	1	3598

Tabla 11. Distribución del estado de madurez sexual macroscópico de sardina común durante el monitoreo reproductivo en la zona sur en número y porcentaje.

Sardina común			
Mes\EMS	II	III	NºHembras
Jun	98,5	1,5	66
Jul	52,5	47,5	177
Ago	78,0	22,0	82
n	222	103	326

8.2. Monitoreo costero de huevos en la VIII Región.

Los resultados de la serie de tiempo de monitoreo costero de huevos de anchoveta y sardina común en un grupo de estaciones ubicadas entre Bahía Concepción y la desembocadura del Río Itata, muestran el desarrollo de los máximos de abundancia de huevos de ambas especies durante Julio y Agosto (**Figura 8**). Estas mayores abundancias ocurrieron en la primera mitad del periodo histórico de máximo reproductivo para estas especies que se ha citado entre Julio y Septiembre. Extrañamente, la abundancia de huevos de ambas especies fue mínima después de Septiembre (**Tabla 12**), periodo en que, si bien ya ha culminado el máximo reproductivo, normalmente sigue encontrándose concentraciones de huevos relativamente altas en toda la zona costera de estudio. De hecho, durante años pasados, concentraciones esporádicas de huevos de anchoveta, tan altas como durante los meses de máximos, fueron observados en ocasiones durante la primavera.

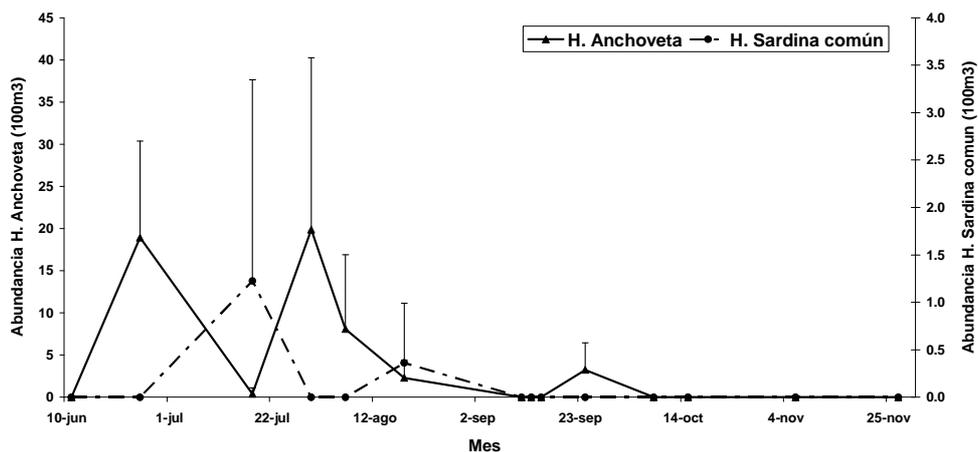


Figura 8. Variación de la abundancia de huevos de anchoveta (▲) y sardina común (-●-) en el sector costero entre Bahía Concepción y la desembocadura del Río Itata, durante el periodo de junio a noviembre del 2008.

Tabla 12. Monitoreo de huevos de anchoveta y sardina común en el sector costero entre Bahía Concepción y la desembocadura del Río Itata.

Muestreo	Fecha	N muestras	ANCHOVETA (h/100m ³)		SARDINA COMUN (h/100m ³)	
			Prom	SD	Prom	SD
1	11-06-2008	3	0	0	0	0
2	25-06-2008	3	18,9	11,4	0	0
3	18-07-2008	3	0,4	0,7	1,2	2,1
4	30-07-2008	3	19,9	20,4	0	0
5	06-08-2008	3	8,1	8,8	0	0
6	18-08-2008	3	2,3	2,1	0,4	0,6
7	11-09-2008	3	0	0	0	0
8	13-09-2008	2	0	0	0	0
9	15-09-2008	2	0	0	0	0
10	24-09-2008	3	3,2	3,2	0	0
11	08-10-2008	3	0	0	0	0
12	15-10-2008	3	0	0	0	0
13	06-11-2008	3	0	0	0	0
14	27-11-2008	5	0	0	0	0

8.3. Crucero de huevos, distribución y abundancia de huevos de anchoveta y sardina común

8.3.1. Estaciones con presencia de huevos

Del total de 377 estaciones de la grilla regular de este año 2008 en que se realizó muestreo con red Pairovet, 83 estaciones presentaron huevos de anchoveta, lo que representa 22,0 % del total de estaciones, mientras que 46 estaciones presentaron huevos de sardina común y corresponden a 12,2 % del total de estaciones muestreadas (**Tabla 13**). Comparativamente, con el 2007, durante el 2008 hubo un número mucho menor de estaciones totales positivas para anchoveta y sardina común, estando estas proporciones de entre las más bajas registradas desde que comenzaron los proyectos MPH el 2002 (**Figura 9**).

Al igual que en años anteriores, en el 2008, hubo un aumento de la proporción de estaciones positivas desde el norte hacia el sur en ambas especies. En el sector norte no hubo estaciones con huevos de ninguna de las dos especies. En el sector centro sólo hubo un 5 % de estaciones con huevos de anchoveta y un 1,1 % de estaciones con huevos de sardina común. En el sector sur, ocurrió un 40,2 % de estaciones con huevos de anchoveta y un 23% con huevos de sardina común.

Tabla 13. 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	ANCHOVETA			SARDINA COMÚN	
	Estaciones totales	Estaciones positivas	%	Estaciones positivas	%
Norte	14	0	0	0	0
Centro	179	9	5,03	2	1,12
Sur	184	74	40,22	44	23,91
Total	377	83	22,0	46	12,2

Comparado con años anteriores en que se ha desarrollado el MPH, la zona con una mayor proporción de estaciones positivas con huevos de ambas especies sigue siendo la zona sur. Sin embargo, después del aumento en proporción de estaciones positivas de ambas especies ocurrido en el 2007, este año 2008 ha habido una muy considerable disminución en ambas especies en los dos sectores, centro y sur, habiéndose alcanzado este año el menor número de estaciones positivas de anchoveta y sardina común registrado en la zona central (sólo 9 y 2 estaciones, respectivamente, de un total de 179 estaciones en esta zona) desde que comenzó la serie en el 2002 (**Figura 9**).

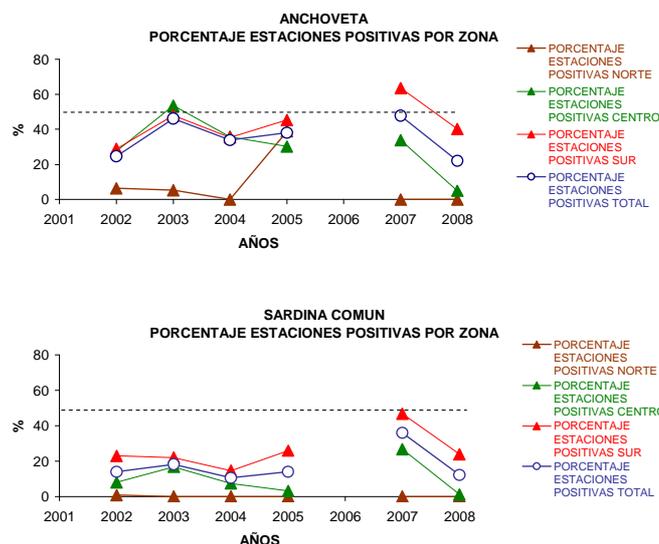


Figura 9. Proporción de estaciones positivas con huevos de anchoveta y sardina común por sector y área total, desde el inicio de las evaluaciones del MPH iniciadas el 2002.

8.3.2. Abundancia de huevos

Un total de 6019 huevos de anchoveta y de 3227 huevos de sardina común fueron colectados en el área completa de estudio. El número de huevos totales aumentó hacia el sur en ambas especies. Del total de huevos de anchoveta, ninguno fue colectado en el sector norte, solo 24 huevos en el sector central (1090 en el 2007) y 5995 huevos (19.729 en el 2007) en el sector sur. Del total de huevos de sardina común, ninguno hubo en el sector norte, solo 4 huevos correspondieron al sector central (681 en el 2007) y 3223 huevos al sector sur (8953 en el 2007).

El promedio de huevos de anchoveta por estación, considerando tanto el total de estaciones por sector (positivas y negativas) como el promedio en solo las estaciones positivas, tendió a ser mayor hacia el sector sur (**Tabla 14**). De igual modo, las máximas abundancias de huevos de anchoveta por estación fueron registradas en el sector sur ($1364 \text{ huevos} \times 0,05 \text{ m}^{-2}$). Considerando las estaciones positivas, el número de huevos en el sector sur fue de casi treinta veces mayor respecto del sector central. Lo anterior, sin embargo, no se debe a que haya habido abundancias promedio por estación más altas que otros años en el sector sur sino que el número de huevos registrados en el sector central fue muy bajo.

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 14**). Las máximas abundancias de huevos de sardina común por estación también ocurrieron en el sector sur ($757 \text{ huevos} \times 0,05 \text{ m}^{-2}$).

Comparando con los resultados del año anterior, el promedio de huevos de anchoveta en las estaciones positivas en la zonas centro disminuyó el 2008 (de $17,6 \text{ huevos} \times 0,05 \text{ m}^{-2}$ el 2007 a $2,7 \text{ huevos} \times 0,05 \text{ m}^{-2}$ el 2008) y también en el sector sur (desde $152,9 \text{ huevos} \times 0,05 \text{ m}^{-2}$ el 2007 a $64,0 \text{ huevos} \times 0,05 \text{ m}^{-2}$ el 2008). En el caso de la sardina común el promedio de huevos en las estaciones positivas en la zonas centro y sur también disminuyó del 2007 al 2008 (centro: de $13,9 \text{ huevos} \times 0,05 \text{ m}^{-2}$ el 2007 a $2,0 \text{ huevos} \times 0,05 \text{ m}^{-2}$ el 2008; sur: de $94,2 \text{ huevos} \times 0,05 \text{ m}^{-2}$ el 2007 a $73,3 \text{ huevos} \times 0,05 \text{ m}^{-2}$ el 2008). Comparando con los otros años en que se ha desarrollado el MPH, durante el 2008, la abundancia promedio de huevos de anchoveta por estación en el sector central corresponde a la más baja registrada desde el 2002, estando las abundancias en el sector sur dentro del promedio histórico, a pesar de haber bajado respecto del 2007 (**Figura 10**). La sardina común, en cambio, a pesar de la disminución en abundancia promedio de huevos desde el 2007 al 2008, las abundancias se encuentra aun entre las más altas de la serie histórica iniciada el 2002.

Tabla 14. 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	SDEV Total estaciones	Promedio Estaciones Positivas	SDEV Estaciones Positivas	Máxima abundancia	Mínima abundancia
Norte	0	0	0	0	0	0	0
Centro	24	0,13	0,88	2,7	3,1	10	1
Sur	5995	32,6	137,2	64,0	142,9	1364	1

SARDINA COMUN							
2008	Suma	Promedio Total estaciones	SDEV Total estaciones	Promedio Estaciones Positivas	SDEV Estaciones Positivas	Máxima abundancia	Mínima abundancia
Norte	0	0	0	0	0	0	0
Centro	4	0,02	0,24	2,0	1,4	3	1
Sur	3223	17,5	77,2	73,3	145,6	757	1

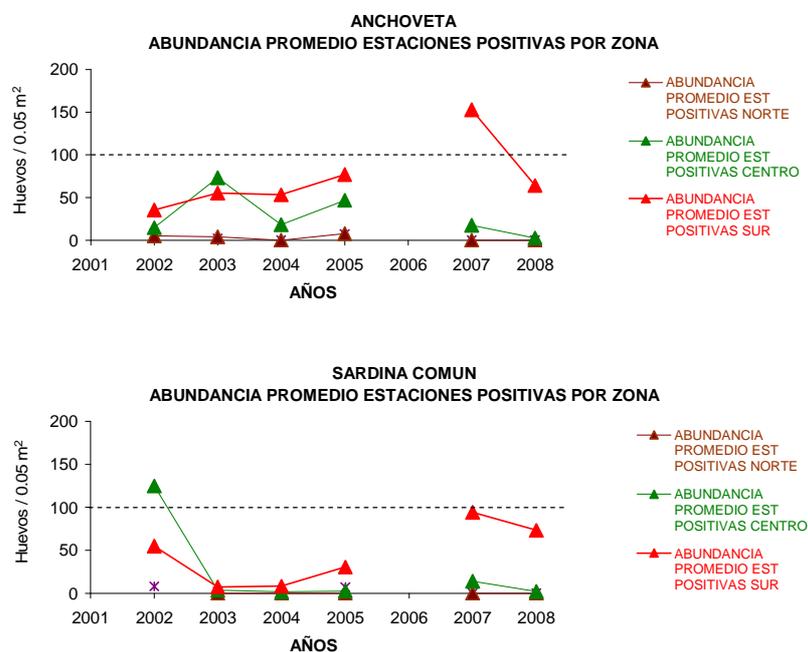


Figura 10. Abundancia promedio de huevos de anchoveta y sardina común en estaciones positivas por sector, desde el inicio de las evaluaciones del MPH iniciadas el 2002.

8.3.3. Distribución de huevos

La distribución de huevos de anchoveta fue relativamente similar a la de sardina común, iniciándose la presencia de ambos alrededor de los 35°30'S y finalizando la sardina común, alrededor de los 40°S, y la anchoveta levemente más al sur, a los 40°50'S (última transecta).

En el sector central los huevos de anchoveta se ubicaron principalmente en la zona costera, excepto frente a Punta Nugurne (35°30'S) donde se extendieron sobre la plataforma continental hacia el oeste. De norte a sur, no se distinguieron áreas de grandes abundancia de huevos, aunque los pocos encontrados correspondieron aproximadamente con los centros con mayores abundancias histórica (entre Punta Nugurne y Constitución, 35°30'S), entre el Río Itata y Bahía Concepción (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 lo 38°30' S y los 39°40'S (zona históricamente de mayor abundancia de huevos) pero, a diferencia del años anterior, sólo hubo patches moderados hasta los 39°40'S (**Figura 11**).

En el sector central, los huevos de sardina común, con muy bajas abundancias, coincidieron solo parcialmente con los de anchoveta al presentarse solo en una estación frente a Punta Nugurne y en un par e estaciones en el Golfo de Arauco (37°S). A diferencia de otros años, no se presentaron huevos a lo largo de la zona costera entre la desembocadura del río Itata y Bahía Concepción. En el sector sur, la distribución de huevos de sardina común vuelve a coincidir con la de los huevos de anchoveta pero siendo de una extensión un poco menor, esto es, ocurriendo en una zona de agregación entre los 38°30'S y los 39°30'S (**Figura 12**).

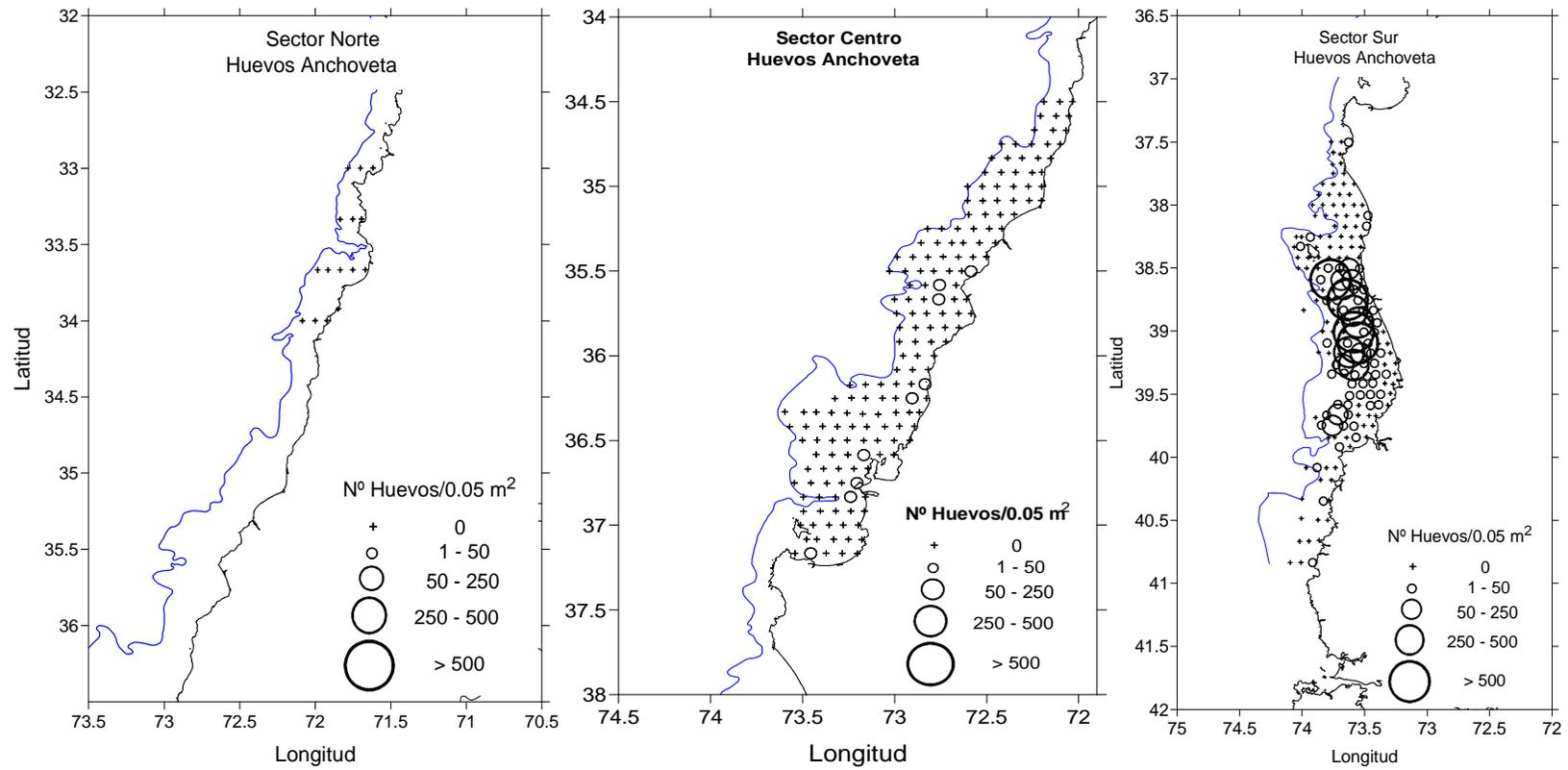


Figura 11. Distribución y abundancia de huevos de anchoveta en los sectores norte (ausentes), centro y sur.

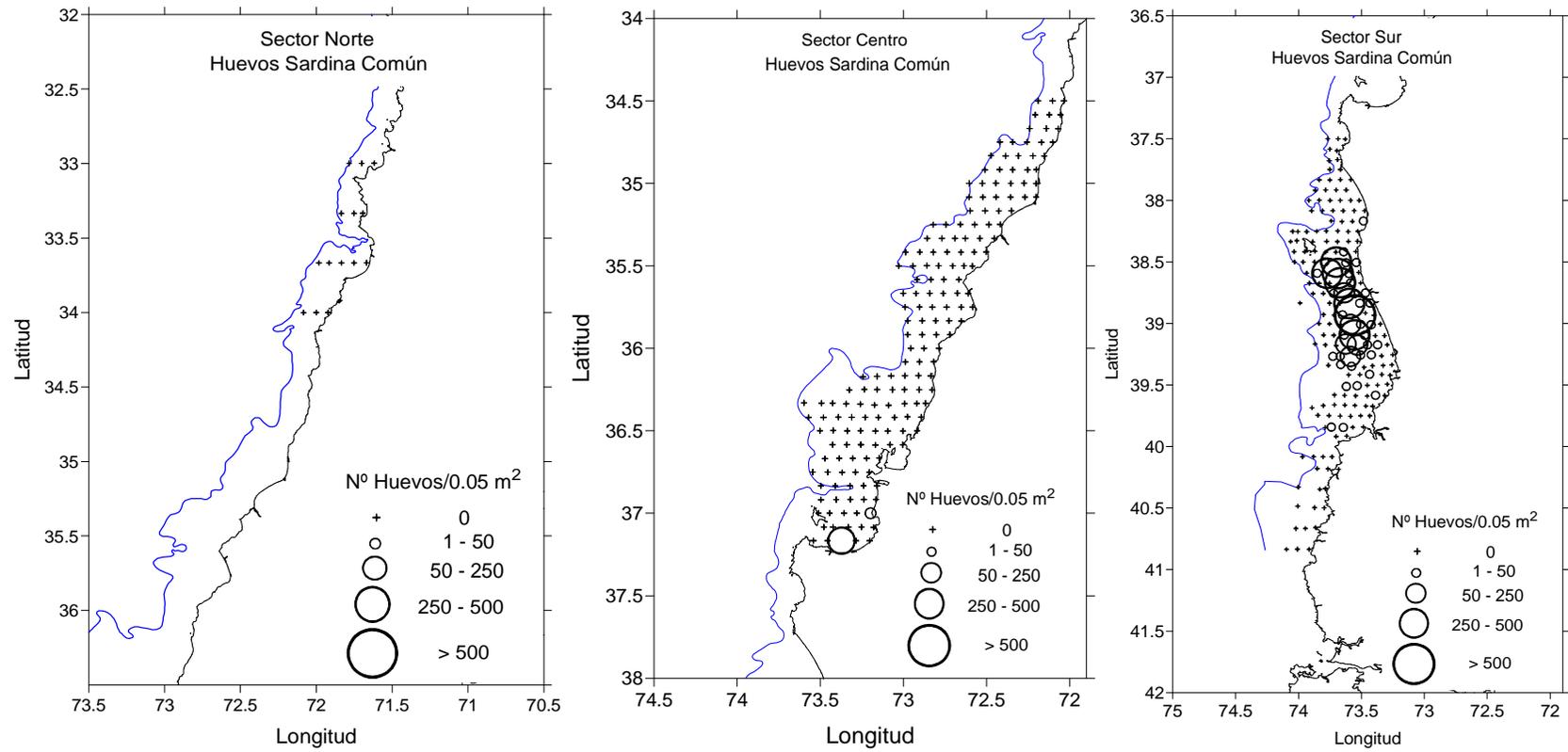


Figura 12. Distribución y abundancia de huevos de sardina común en los sectores norte (ausentes), centro y sur.

8.4. Condiciones oceanográficas

8.4.1. Características superficiales

Durante el periodo de muestreo 2008, el rango de temperaturas superficiales observadas entre los 32 y 40°S varió entre los 9 y 14 °C. El área muestreada en durante este estudio mostró el gradiente latitudinal en temperatura superficial típico, observándose las mayores temperaturas alejadas de la costa en el sector norte y las más bajas temperaturas cercanas a la costa en el sector sur (**Figura 13**). Durante septiembre, más particularmente desde la segunda semana en adelante, el sector muestreado al norte de Punta Lavapié (32-37°S) presentó temperaturas alrededor de 12 y 13 °C mientras que, el sector al sur de Punta Lavapié mostró temperaturas entre 10 y 11 °C. Comparado con el 2007 (**Figura 14**, año La Niña con temperaturas superficiales entre 9 y 12 °C), las temperaturas superficiales fueron mayores en el 2008.

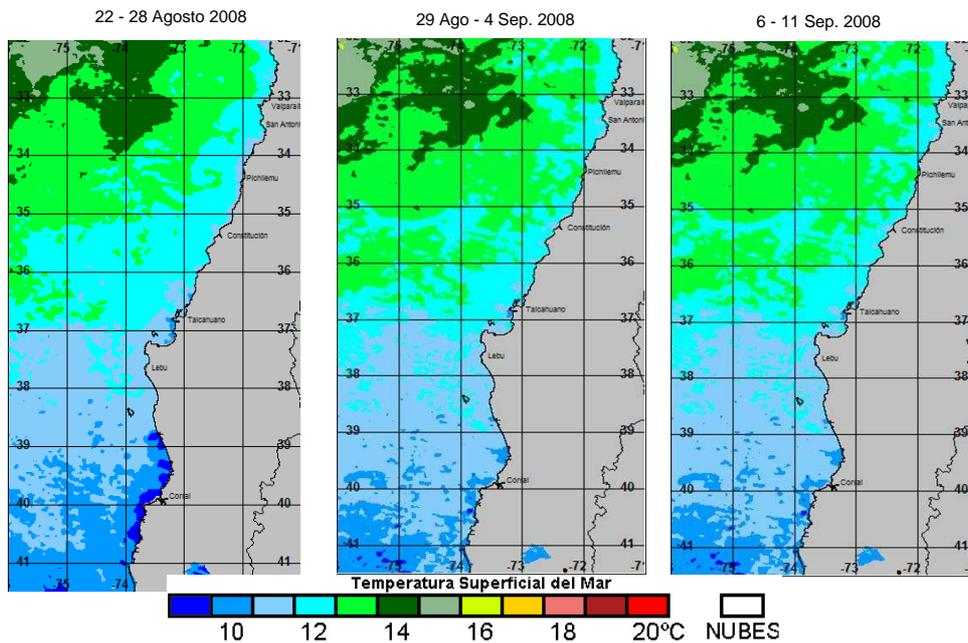


Figura 13. Imágenes satelitales de Temperatura Superficial del Mar (°C) durante el periodo de muestreo 2008.

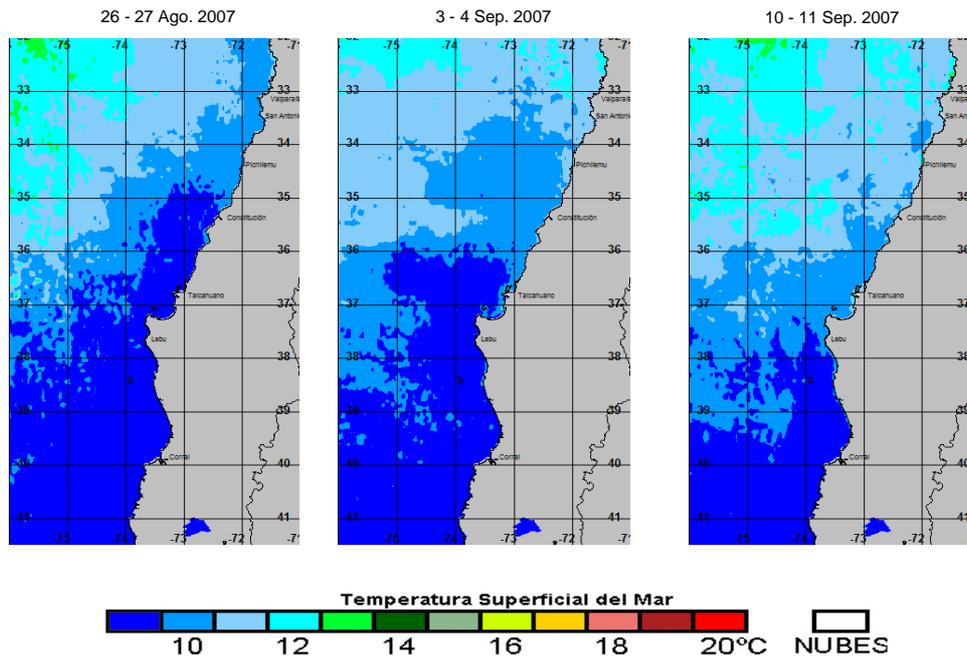


Figura 14. Imágenes satelitales de Temperatura Superficial del Mar (°C) durante el periodo de muestreo 2007.

8.4.2. Hidrografía en sectores de mayor desove

Sector Central. La distribución horizontal de temperatura, salinidad y densidad en superficie muestra variaciones a lo largo de la costa con notorios cambios en las características hidrográficas en las zonas adyacentes a la desembocadura de los ríos mayores BioBio ($36^{\circ}50'S$), Maule ($35^{\circ}20'S$), y en menor grado Itata ($36^{\circ}25'S$). En estas zonas, la temperatura superficial del agua fue menor a la del agua circundante, se presentaron menores salinidades y menores densidades que, en el caso del río BioBio, se proyectaron dentro del Golfo de Arauco y externamente a éste, hasta el quiebre de la plataforma continental (**Figura 15**). A 10 m de profundidad, las temperaturas y salinidades se hacen más homogéneas a lo largo de la zona central (**Figura 16**). A 50 m, se observa sectores con mayores salinidades a lo largo de la costa, particularmente sobre la plataforma continental de la VIII región (**Figura 17**) donde aguas más saladas estarían ingresando a la zona costera subsuperficialmente, generando un leve levantamiento de las isopícnas entre los 10 y 35 m de profundidad (**Figura 21**, transectas 27).

Sector Sur. La distribución de temperatura en el área norte del sector sur fue más homogénea que en el sector central y presentó un leve gradiente latitudinal en temperatura hacia el sur (**Figura 18**).

Menores valores de salinidad y densidad en superficie también evidenciaron la influencia de aguas dulces, particularmente en el sector adyacente a la desembocadura del río Valdivia (Corral, 39°50'S) y frente a Puerto Saavedra (38°50'S). A 10 m de profundidad aún se evidencia la influencia de la intrusión de aguas dulces (**Figura 19**). Más profundamente (50m) éstas ya no se presentan siendo las características hidrográficas más homogéneas en toda la zona (**Figura 20**) y no evidenciándose procesos de surgencia en el estrato intermedio como en el sector central, sino que un leve descenso de las isopícnas hacia la costa en este estrato, como se aprecia en las secciones verticales de las transectas más al sur (**Figura 22**).

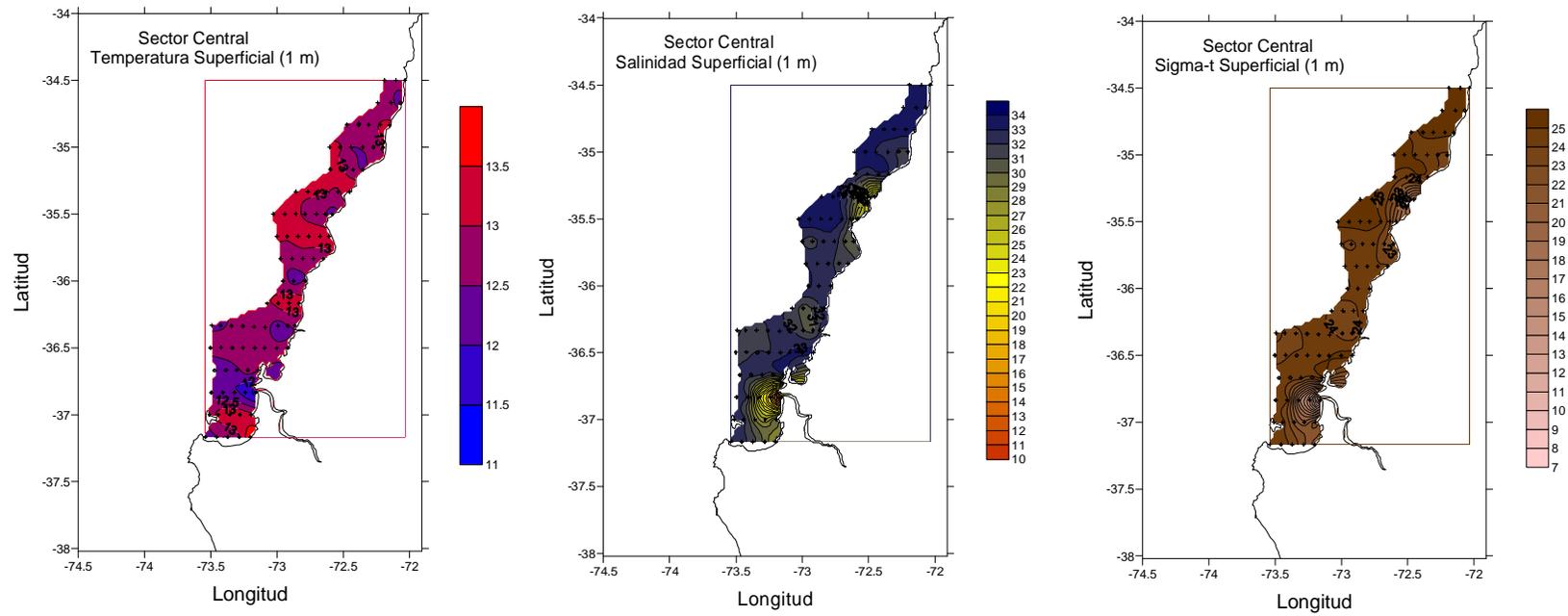


Figura 15. Características hidrográficas: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad y densidad (sigma-t) superficiales (1 m) en el sector central de la zona de estudio en 2008.

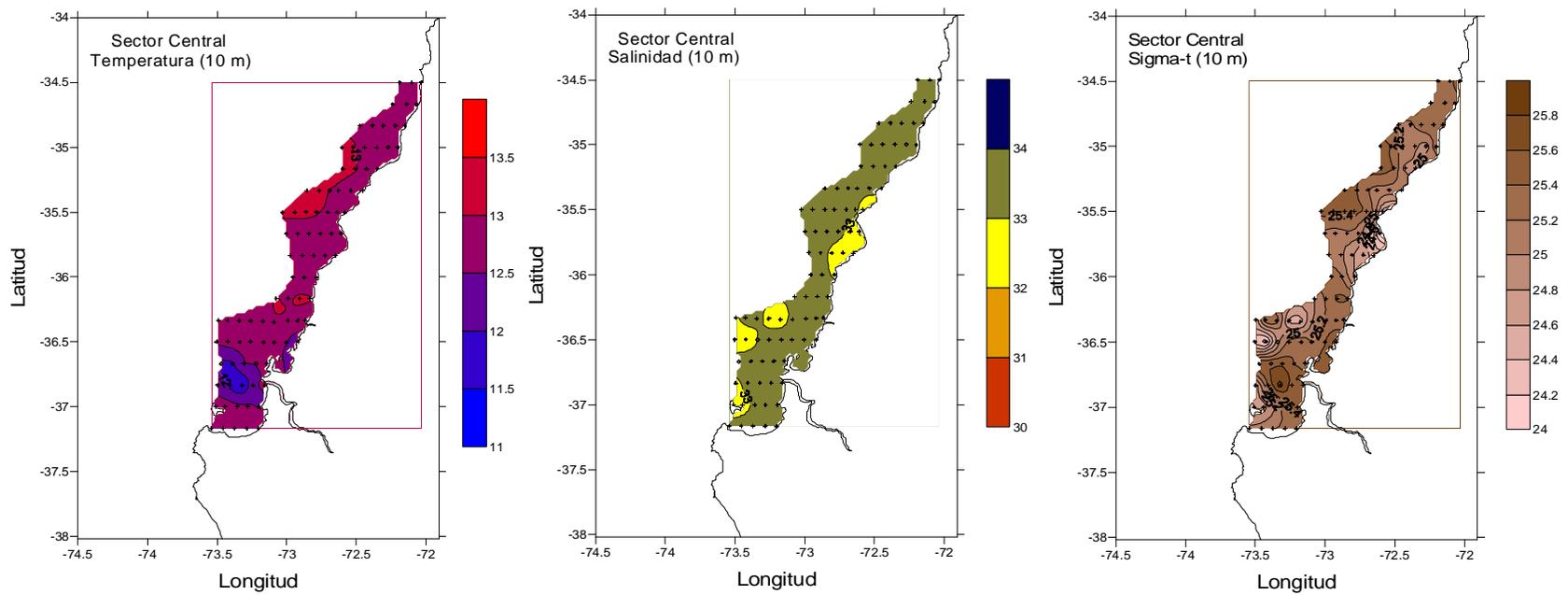


Figura 16. Características hidrográficas: temperatura (°C), salinidad y densidad (sigma-t) a 10 m de profundidad en el sector central de la zona de estudio en 2008.

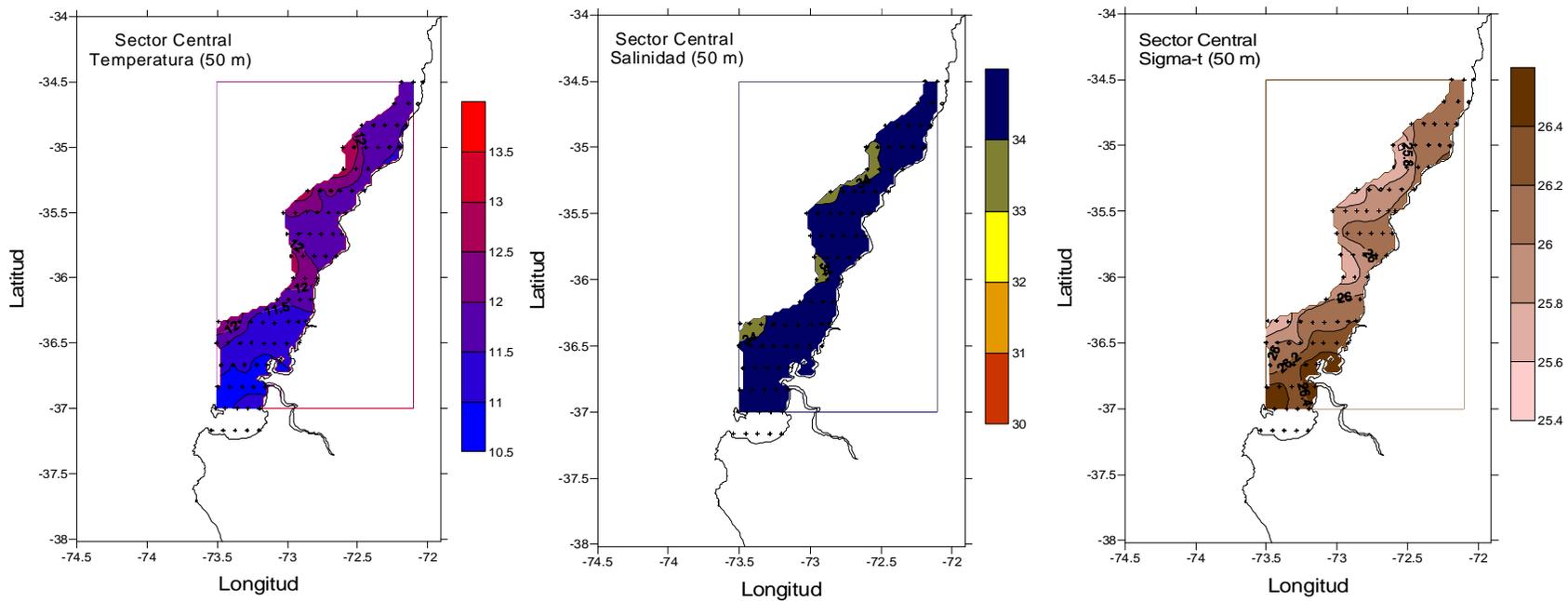


Figura 17. Características hidrográficas: temperatura (°C), salinidad y densidad (sigma-t) a 50 m de profundidad en el sector central de la zona de estudio en 2008.

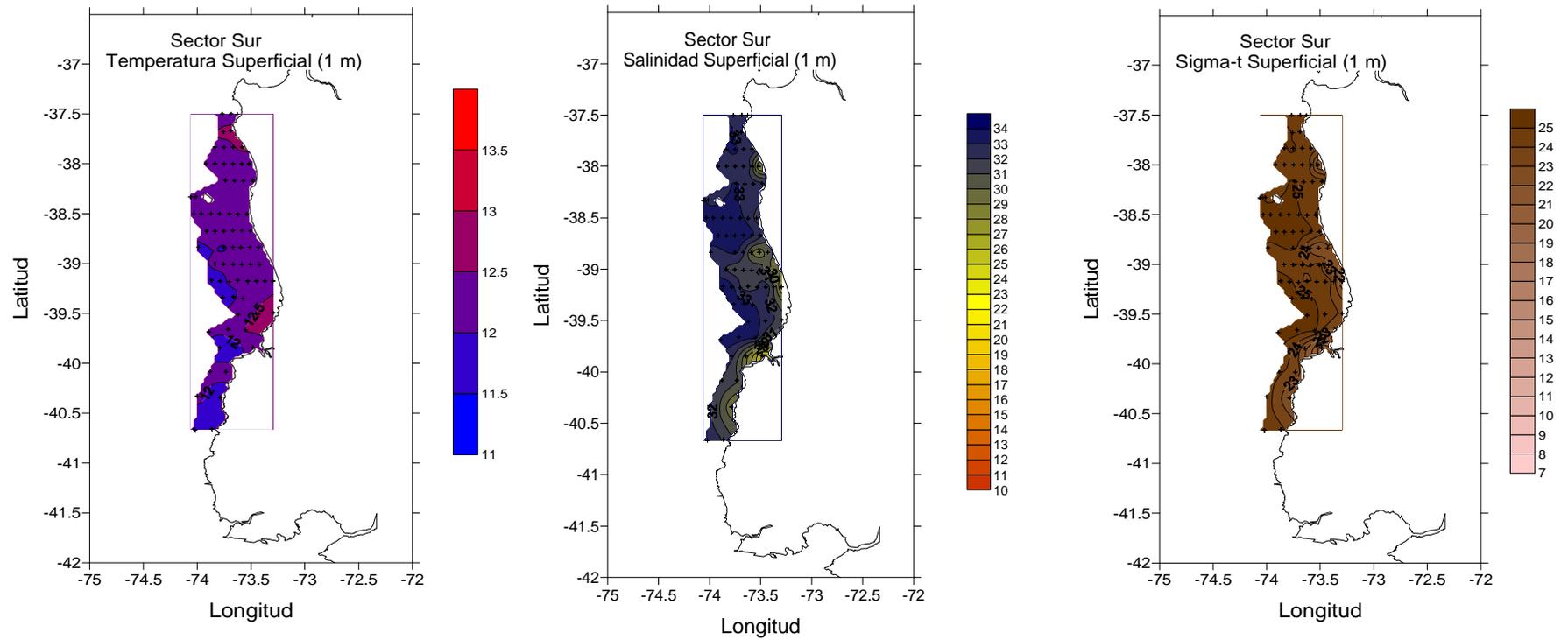


Figura 18. Características hidrográficas: temperatura (°C), salinidad y densidad (sigma-t) superficiales (1 m) en el sector sur de la zona de estudio en 2008.

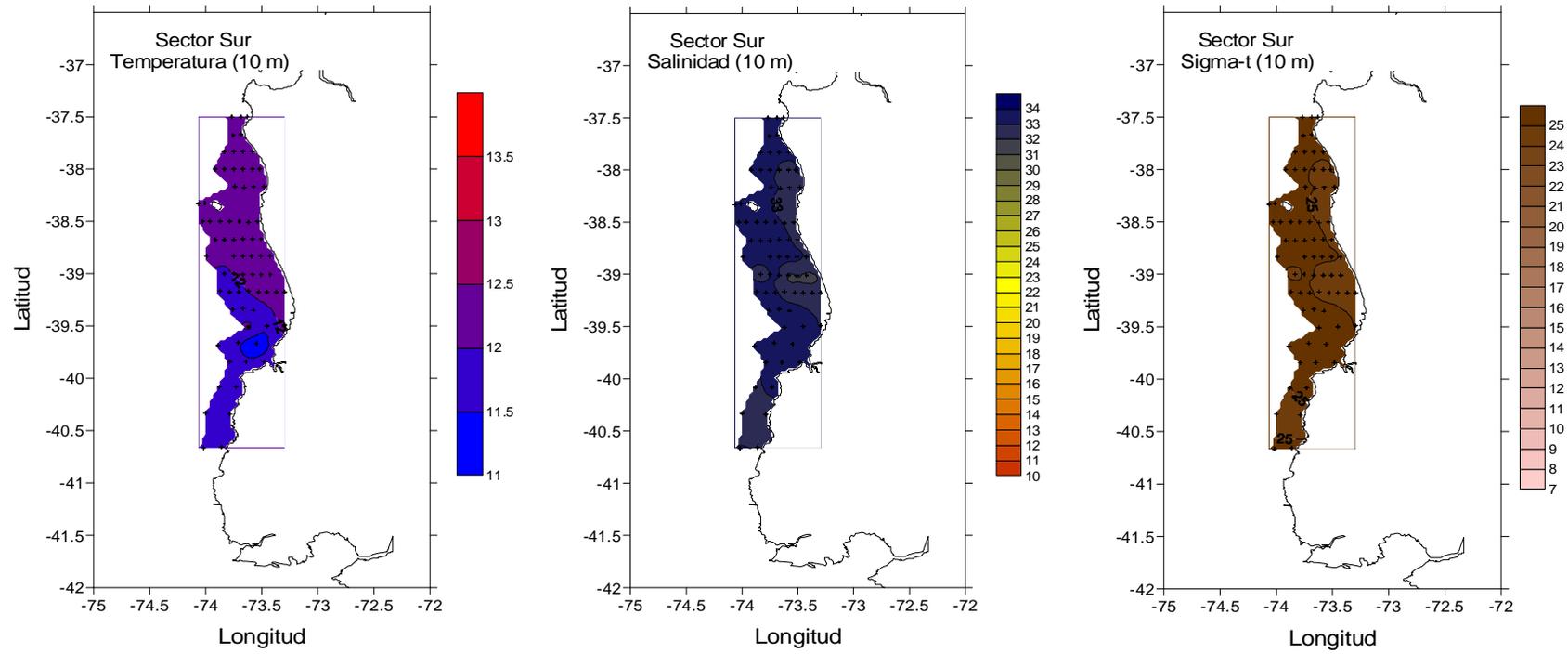


Figura 19. Características hidrográficas: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad y densidad (sigma-t) a 10 m de profundidad en el sector sur de la zona de estudio en 2008.

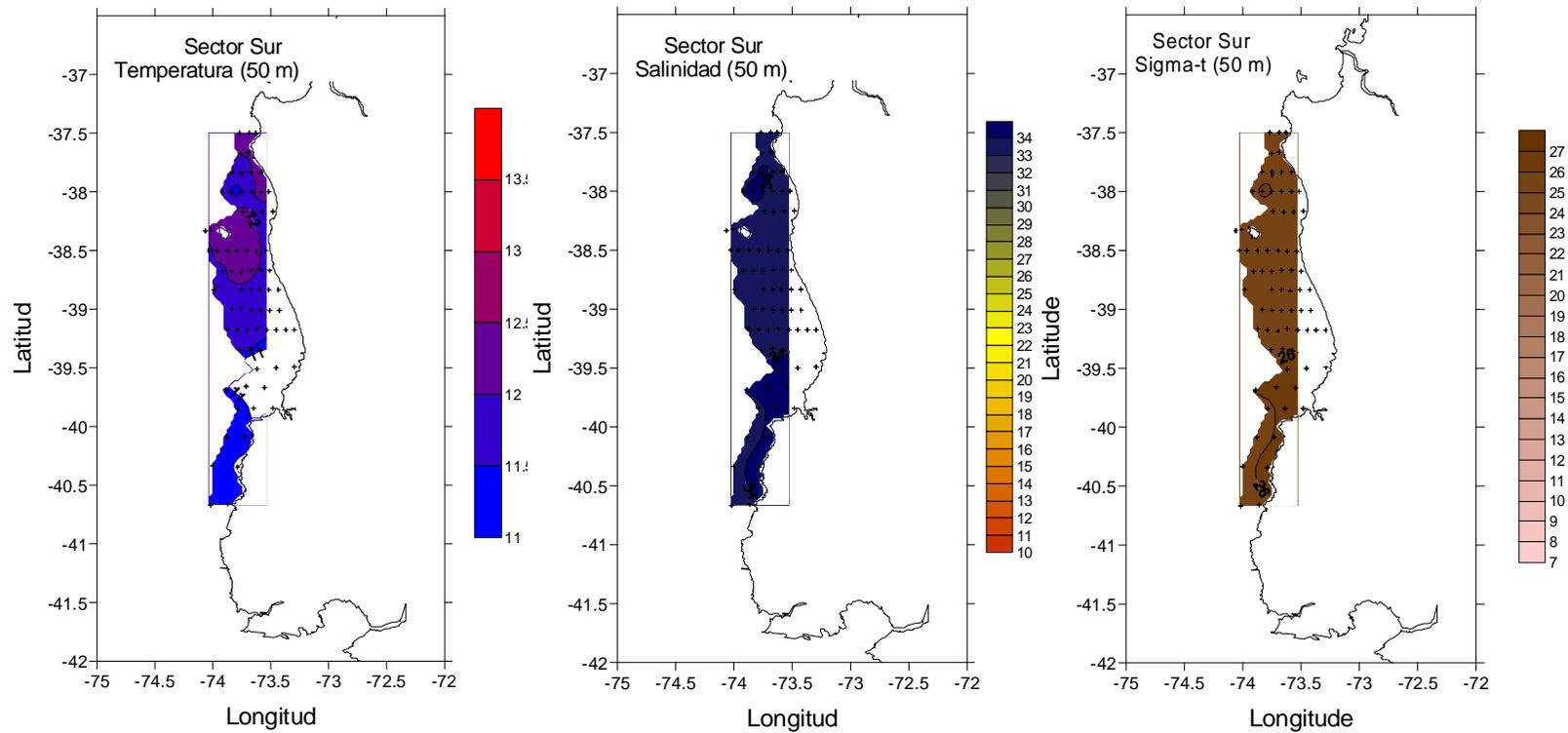


Figura 20. Características hidrográficas: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad y densidad ($\sigma\text{-t}$) a 50m de profundidad en el sector sur de la zona de estudio en 2008. Secciones horizontales aparecen sin color en extremo oriental debido a que las profundidades son menores a 50 m en esa zona.

SECCIONES VERTICALES SECTOR CENTRO

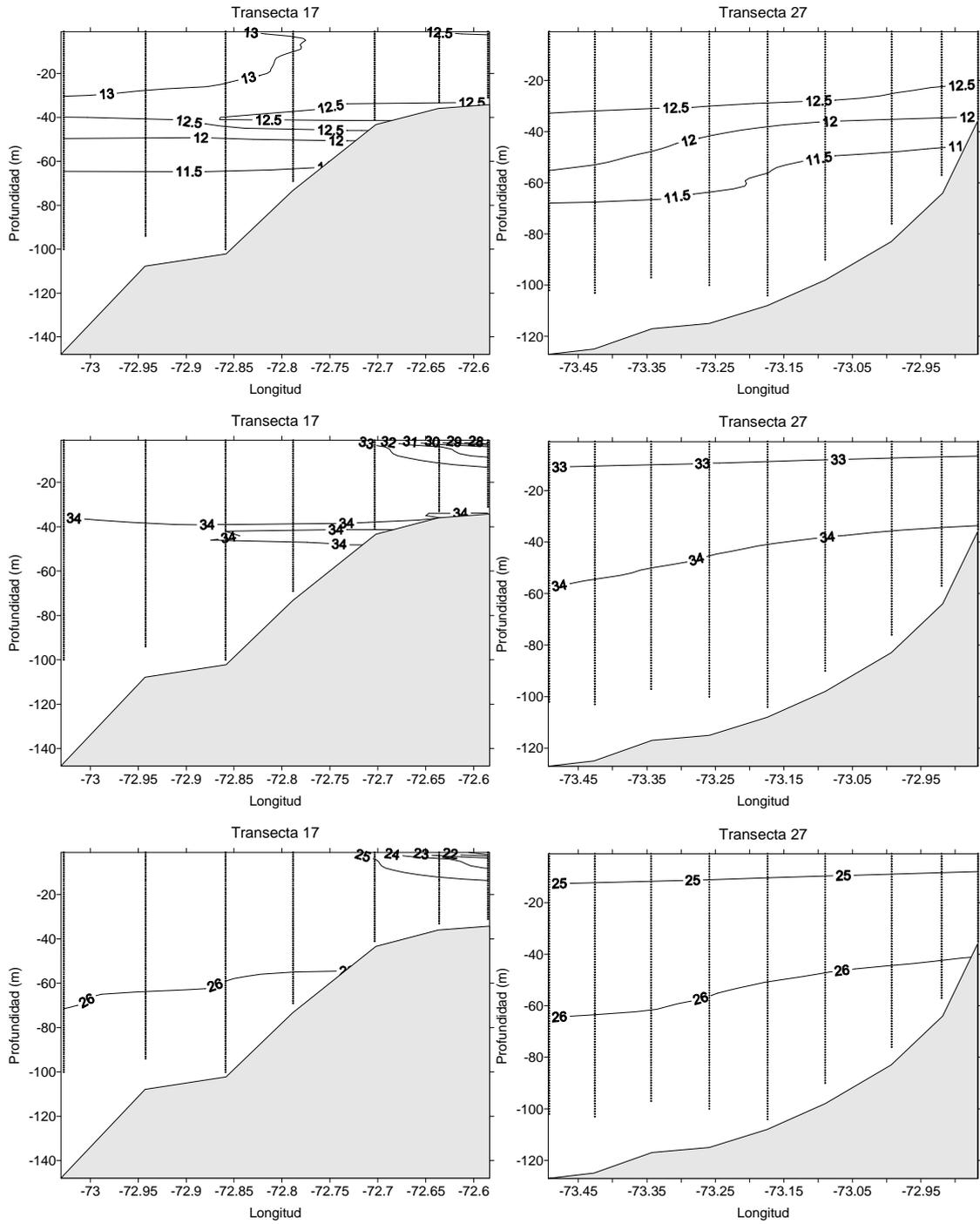


Figura 21. Secciones verticales de temperatura, salinidad y sigma-t en 3 transectas de la zona central en que se encontró huevos en el 2008. Transecta 17 (35.50°S), y Transecta 27 (36.33°S).

SECCIONES VERTICALES SECTOR SUR

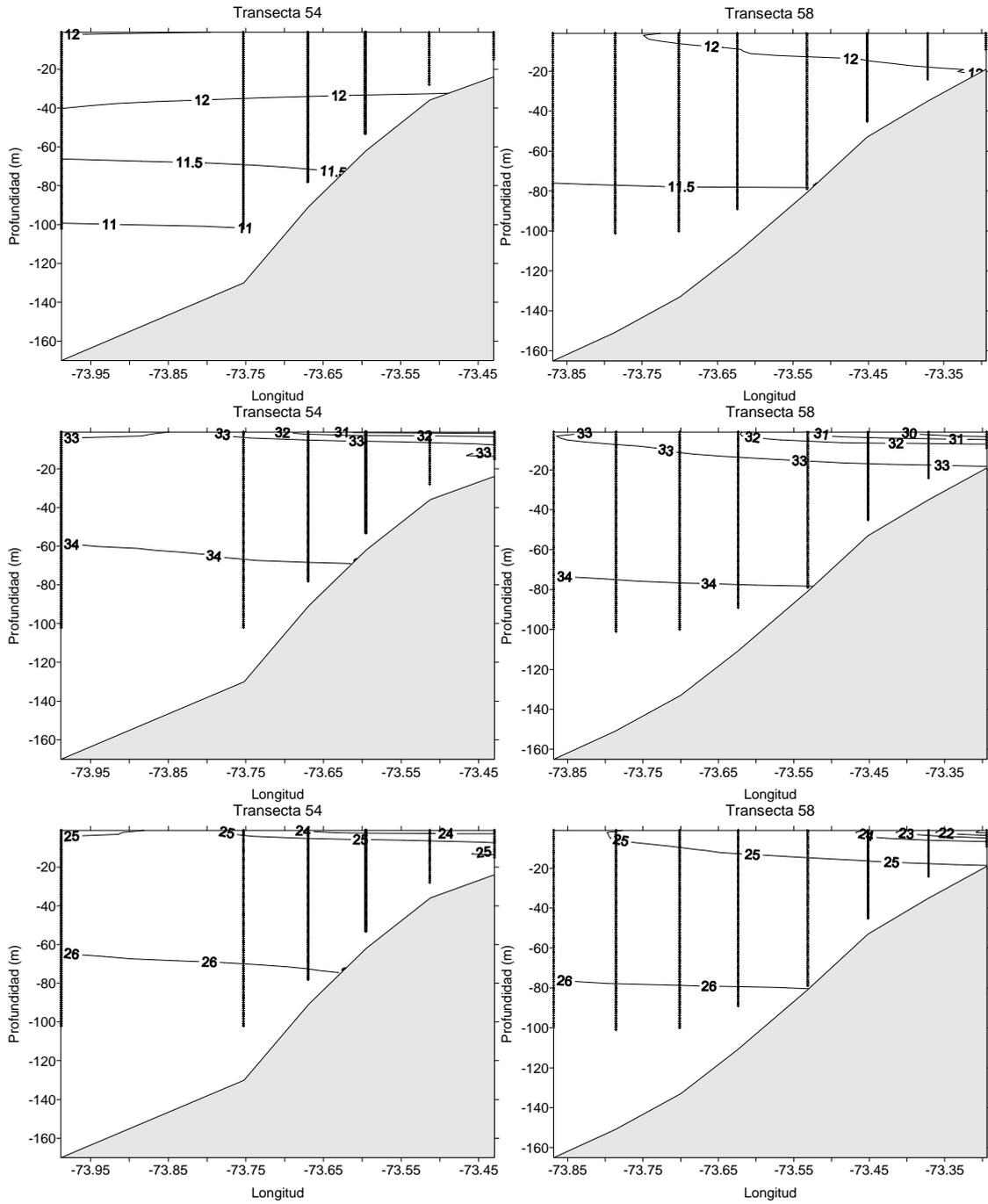


Figura 22. Secciones verticales de temperatura, salinidad y sigma-t en 4 transectas de la zona sur en que se encontró huevos en el 2008. Transecta 54 (38.83°S) y Transecta 58 (39.16°S).

8.5. Condiciones generales

8.5.1. Vientos superficiales satelitales

La dirección del viento responde a un periodo de transición entre invierno y primavera, esto es, alta variabilidad y alternancia entre viento sur y norte. Durante agosto el viento presenta una mayor componente desde el norte y nor-oeste cobrando mayor importancia al sur de los 36°S, mientras que durante septiembre y octubre la componente principal de la dirección del viento es desde el sur y sur-oeste y oeste para toda el área analizada.

En términos generales se podrían caracterizar dos periodos en términos de dirección del viento a reconocer: a) periodo caracterizado principalmente con vientos provenientes desde el norte y nor-oeste característico de la época invernal durante agosto, b) periodo con vientos provenientes del cuadrante sur, sur-oeste y oeste, característicos de la estación de primavera durante septiembre y octubre (**Figura 23**). Por su parte, el índice de surgencia calculado a partir de las series de viento muestran un fuerte incremento de sus valores a partir del mes de septiembre, al mismo tiempo la intensidad y duración de eventos activos de surgencia, evidenciando valores de índice altos presentan una ocurrencia al norte de los 37°00'S con una duración promedio de nueve días y tres días de relajación (**Figura 24**).

8.5.2. Temperatura superficial del mar y clorofila

Para los meses de agosto, septiembre y octubre de 2008 a partir de imágenes diarias de temperatura superficial del mar y clorofila se obtuvo promedios semanales con el fin de caracterizar de buena forma la evolución espacial de las principales estructuras presentes en el área de estudio.

El análisis de las imágenes de TSM (**Figura 25**) y clorofila (**Figura 26**) reveló, en términos generales, dos periodos: a) un primer periodo comprendido entre 01 de agosto y 08 de septiembre, caracterizado por la presencia de aguas comparativamente más frías al sur de los 37°00'S con valores en torno a los 12 °C y valores de 14-15 °C al norte de esta latitud, a su vez la clorofila presenta valores bajos en toda el área de estudio, con máximos relativos en la banda muy cercana a la costa (primeras 15 mn) no superando los 7,5 mg m⁻³, b) un segundo periodo que abarca desde el 10 de septiembre al 28 de octubre el que muestra un incremento de la temperatura alcanzando valores de 14 °C al sur de los 37°00'S y valores más bajos en la banda costera (< 13 °C) que se extienden cerca de 60 mn desde la costa al fin del periodo de estudio. Por su parte la clorofila muestra un fuerte incremento en sus valores (> 15 mg m⁻³) y su cobertura espacial por el sur, llegando a cubrir toda la zona costera (aprox. 30 mn desde la costa) del área de estudio al final del periodo.

Ambos periodos mencionados responden coherentemente con la dinámica asociada a la estacionalidad (aumento de la temperatura en primavera) y meteorología (ascenso del anticiclón del pacifico). Esto es, un incremento de la temperatura atmosférica y oceánica producto de la mayor radiación solar y; el cambio de dirección del viento predominando el forzamiento provenientes desde el cuadrante sur y sur-oeste. Este último, es un importante modulador de los procesos cercanos a la costa como la surgencia, cuya manifestación en la superficie del océano costero es un descenso de la temperatura y un incremento de la concentración de clorofila lo cual queda evidenciado en la caracterización antes mencionada y en el análisis de las series viento realizadas.

8.5.3. Análisis de corrientes superficiales

Para el periodo de estudio (agosto, septiembre y octubre de 2008) se contó con 184 imágenes satelitales secuenciales (dos imágenes diarias) de TSM, generándose 183 imágenes de campos vectoriales advectivos por medio del método de MCC las cuales fueron promediadas mensualmente (**Figura 27**). A partir de los promedios mensuales se seleccionó la banda entre la costa y 27 mn desde cualquier punto de ésta, obteniéndose promedios zonales, tanto para la componente meridional como zonal de las corrientes. Con los promedios de la banda costera y, asumiendo que las corrientes en la columna de agua son coherentes en la capa de mezcla, se estimó el transporte de volumen de agua zonal y meridional dentro de esta banda considerando una profundidad de capa de mezcla promedio en la costa de 20 metros.

El promedio de velocidad advectiva para la banda costera del mes de agosto (**Figura 28**), muestra corrientes con dirección norte nor-este en prácticamente toda la banda promediada con valores que superan los 20 cms^{-1} , sólo registrándose corrientes destacables en dirección nor-oeste centradas en los $38^{\circ}00'$, $37^{\circ}15'$ y $36^{\circ}15'S$, así mismo, el transporte este-oeste para el mismo mes (**Figura 29**), evidencia para el área flujos hacia la costa registrando un promedio de $0,0016 \text{ Sv}$ con un volumen total transportado de $0,19 \text{ Sv}$ en dirección hacia la costa, mientras que el transporte norte-sur (**Figura 30**) presenta una importante componente norte, con valores de $0,0031 \text{ Sv}$ y un flujo neto en dirección norte de $0,37 \text{ Sv}$.

El mes de septiembre (**Figura 28**), presenta alta variabilidad en las corrientes promedio costeras y menos intensas que las del mes de agosto, con valores que no superaron los 15 cms^{-1} , destacándose las corrientes más intensas en dirección hacia la costa en los $39^{\circ}00'$ y $38^{\circ}00'S$, y corrientes costa afuera en los $37^{\circ}15'$ y $35^{\circ}30'S$. En términos de transporte este-oeste, los valores no superaron en promedio los $1,5 \times 10^{-4} \text{ Sv}$ y un transporte neto de volumen de $0,021 \text{ Sv}$ en dirección hacia la costa (**Figura 29**). El transporte norte-sur presenta valores promedio de $3,8 \times 10^{-4} \text{ Sv}$ y un flujo neto en dirección norte de $0,06 \text{ Sv}$, destacándose la predominancia de flujos hacia el sur entre los $39^{\circ}00'$ y $40^{\circ}00'S$ (**Figura 30**).

Durante el mes de octubre se presentan corrientes principalmente costa afuera al sur de los 36°00'S mientras, que al norte de esta latitud, la componente principal es en dirección norte nor-este (hacia la costa), con velocidades promedios que no superaron los 18 cms^{-1} (**Figura 28**). El transporte zonal durante este mes esta caracterizado por una fuerte componente costa afuera (al sur de los 36°00'S), con un valor promedio de $-3,4 \times 10^{-4} \text{ Sv}$ y un flujo neto de $-0,05 \text{ Sv}$ (**Figura 29**) e intensificándose, respecto del mes de septiembre, el transporte hacia el norte con un promedio de $0,01 \text{ Sv}$ y un transporte neto de $0,16 \text{ Sv}$ (**Figura 30**).

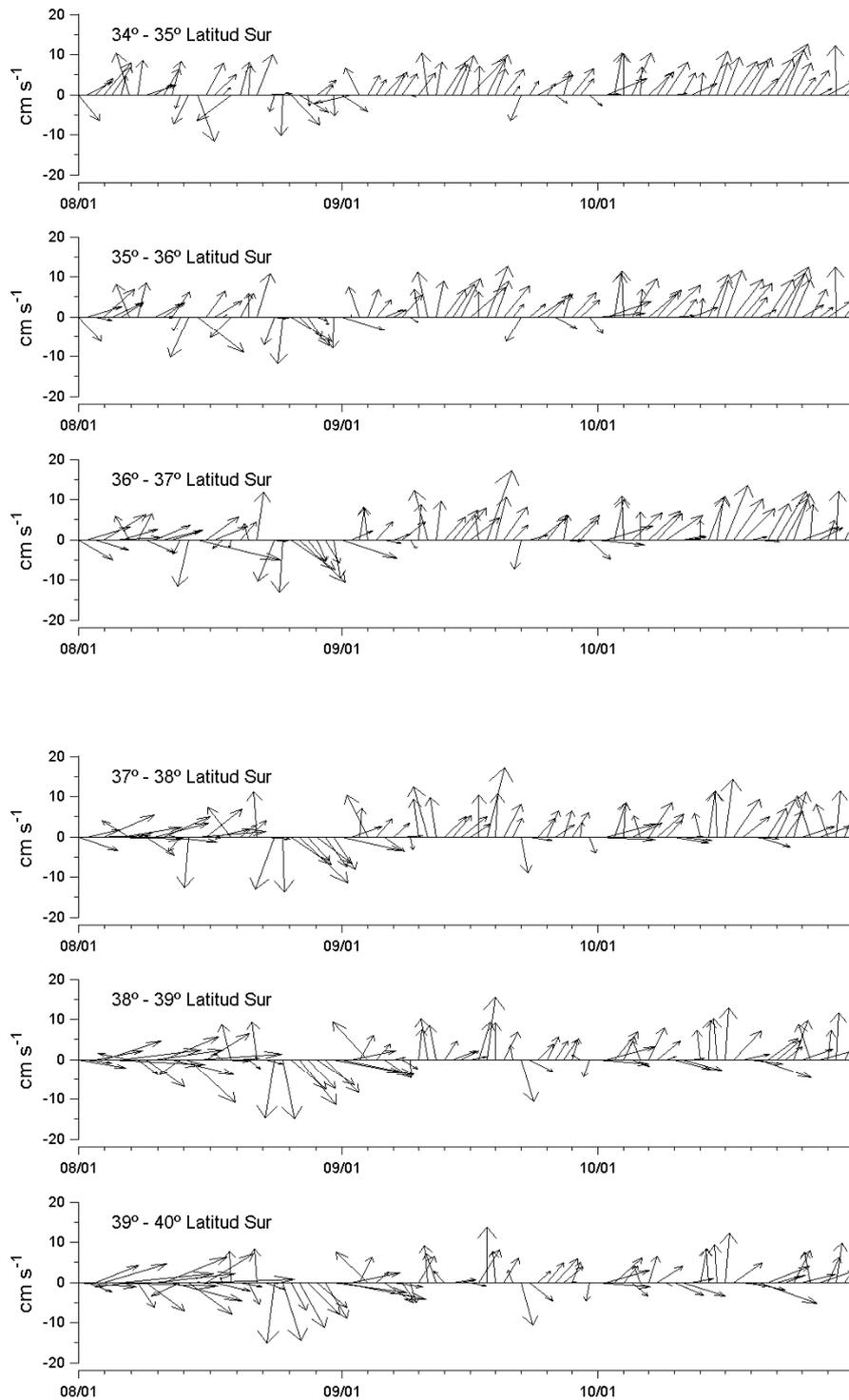


Figura 23. Series de tiempo de magnitud y dirección del viento para el periodo agosto-octubre de 2008.

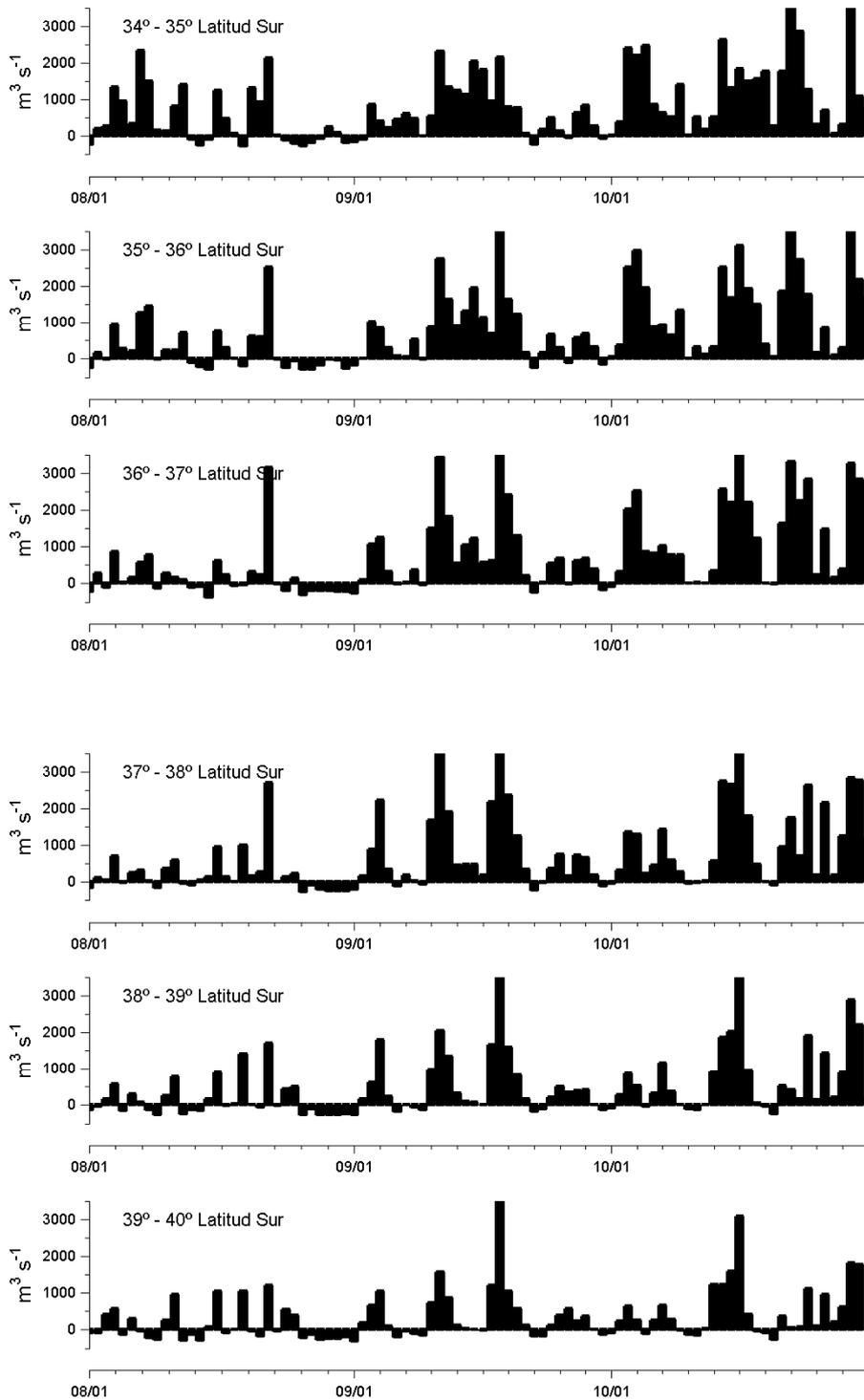


Figura 24. Series de tiempo del índice de surgencia para el periodo agosto-octubre de 2008.

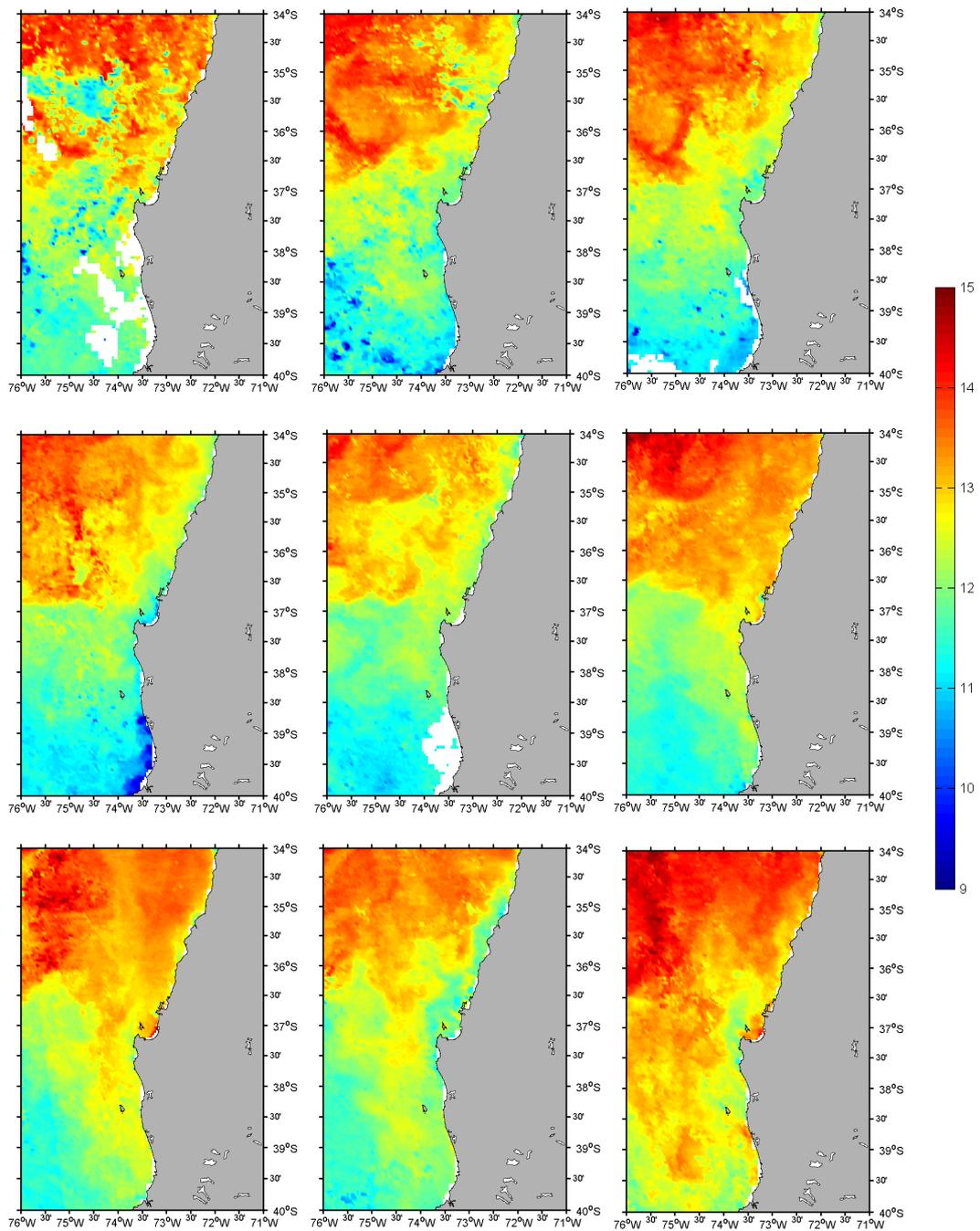


Figura 25. Imágenes satelitales de temperatura superficial del mar (TSM) semanales desde el 01 de agosto hasta el 30 de septiembre de 2008.

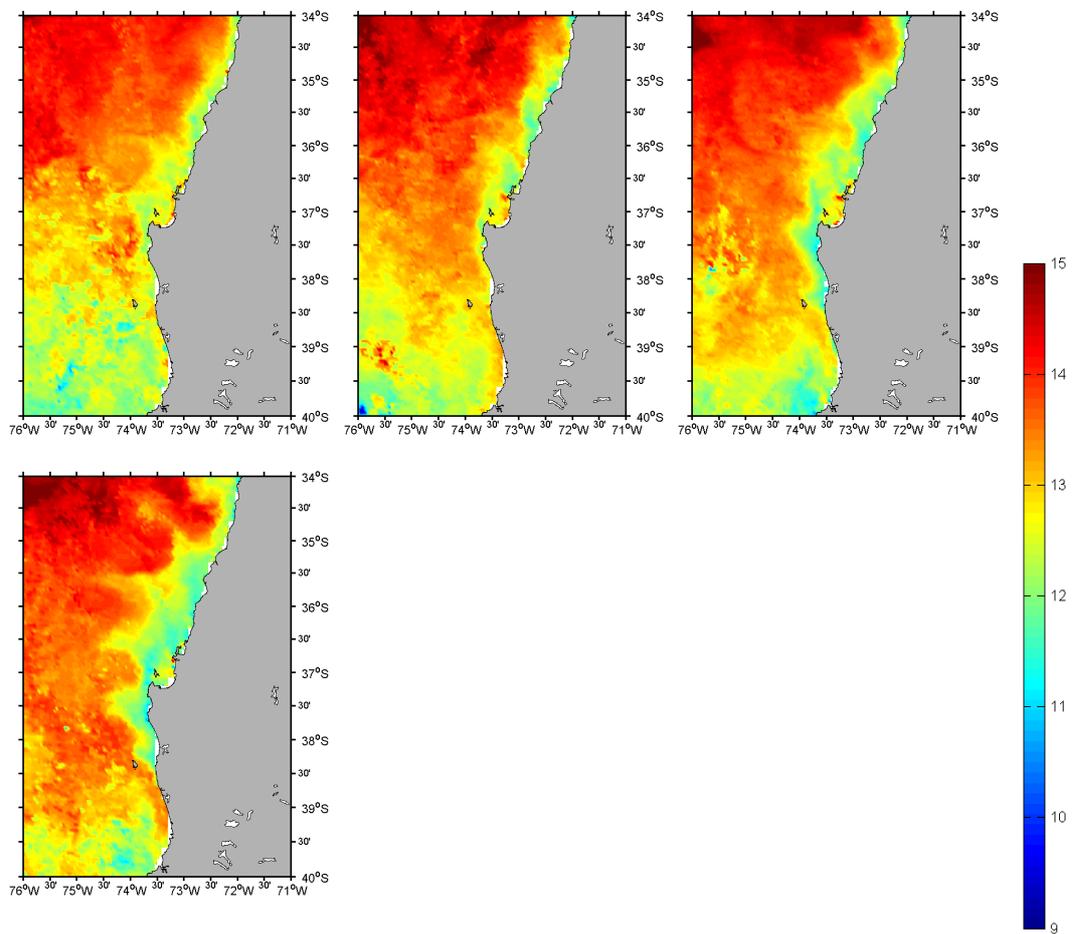


Figura 25 (continuación). Imágenes satelitales de temperatura superficial del mar (TSM) semanales desde el 01 de octubre hasta el 28 de octubre de 2008.

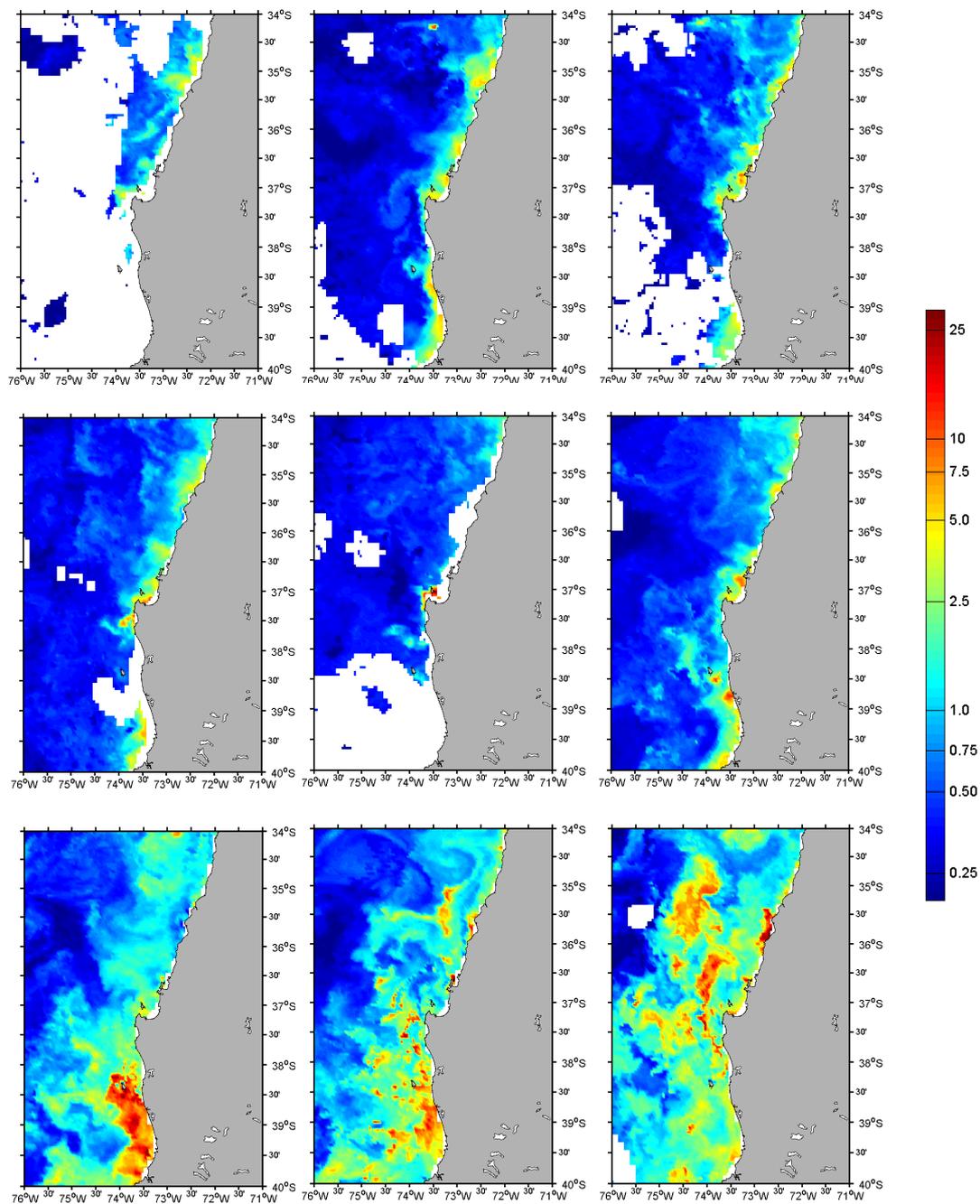


Figura 26. Imágenes satelitales de clorofila semanales desde el 01 de agosto hasta el 30 de septiembre de 2008.

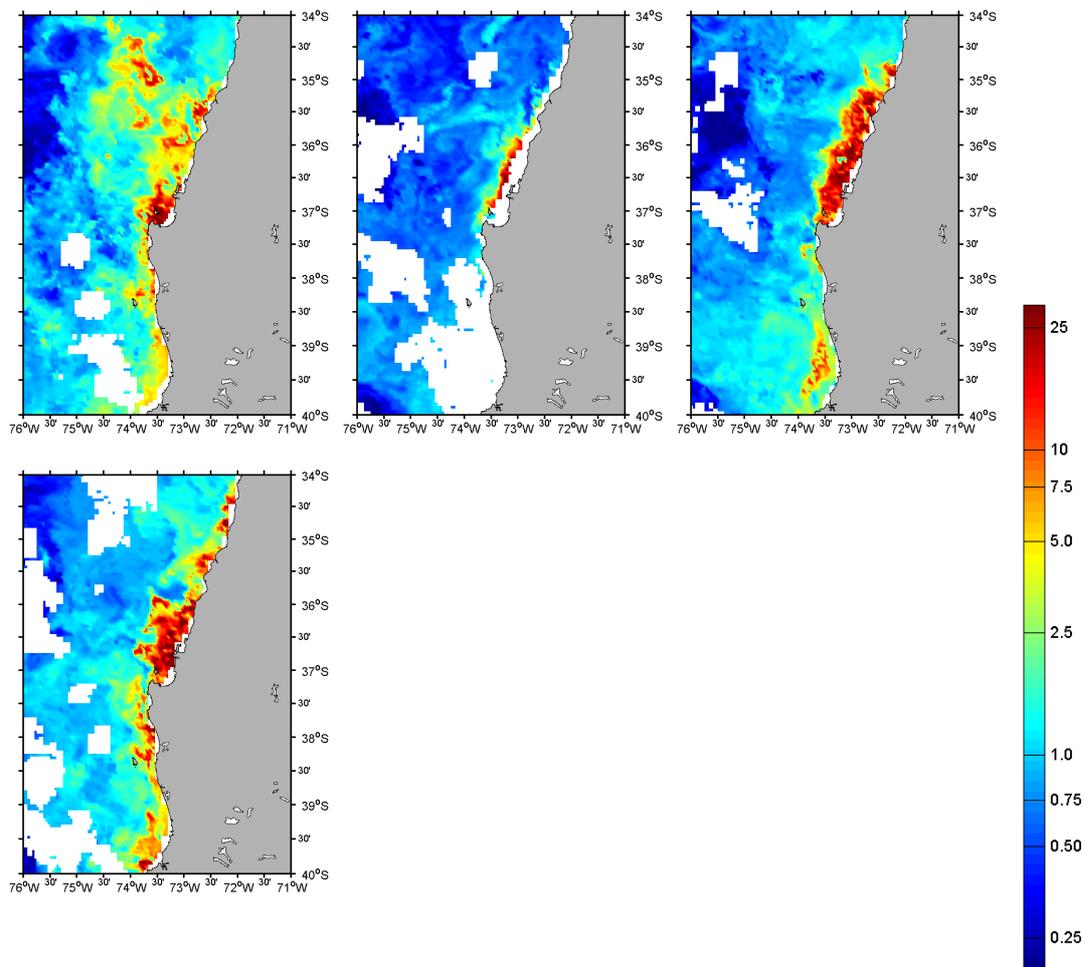


Figura 26 (continuación). Imágenes satelitales de clorofila semanales desde el 01 de octubre hasta el 28 de octubre de 2008.

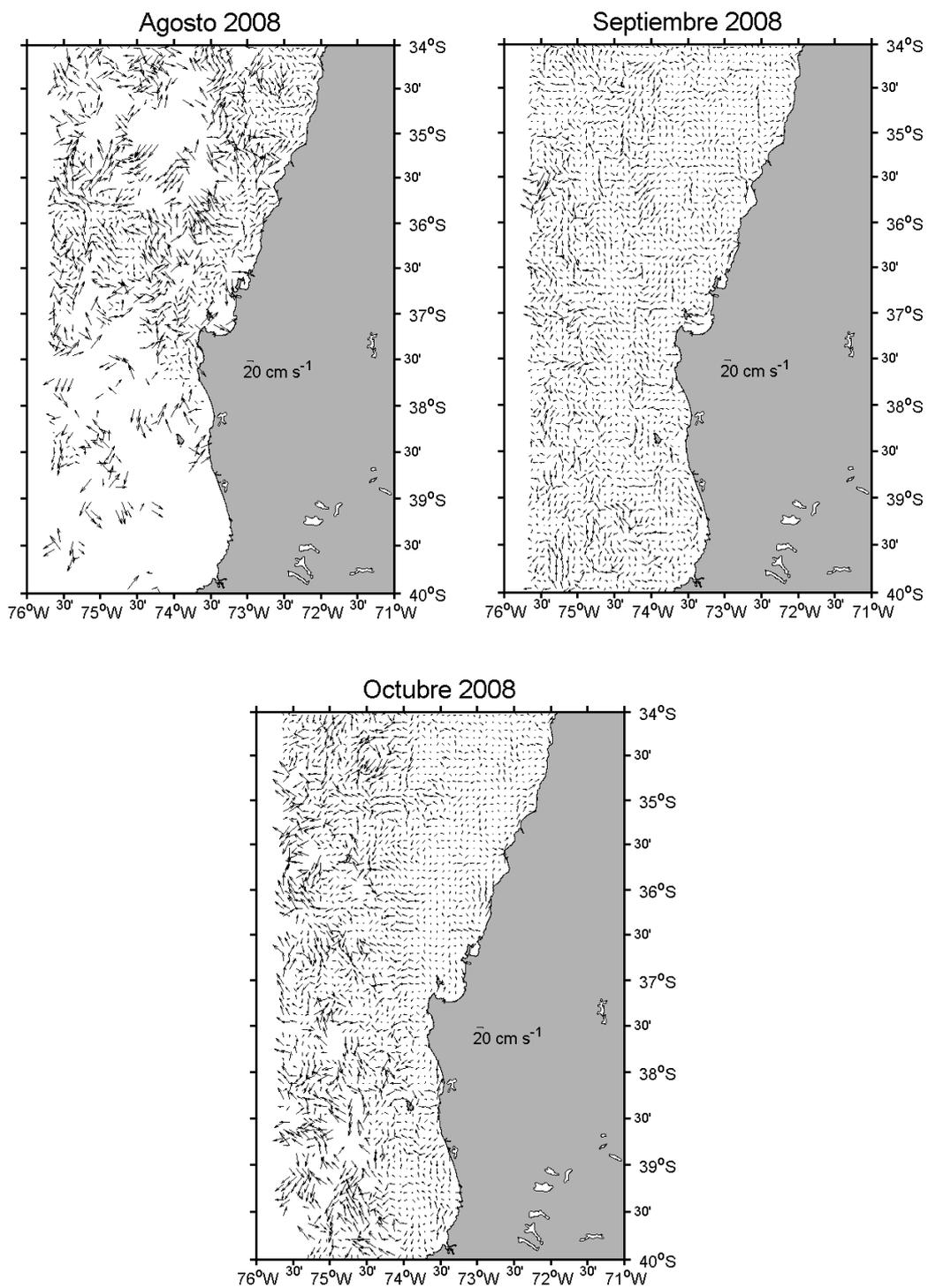


Figura 27. Campo de velocidades advectivas para los meses de agosto, septiembre y octubre de 2008.

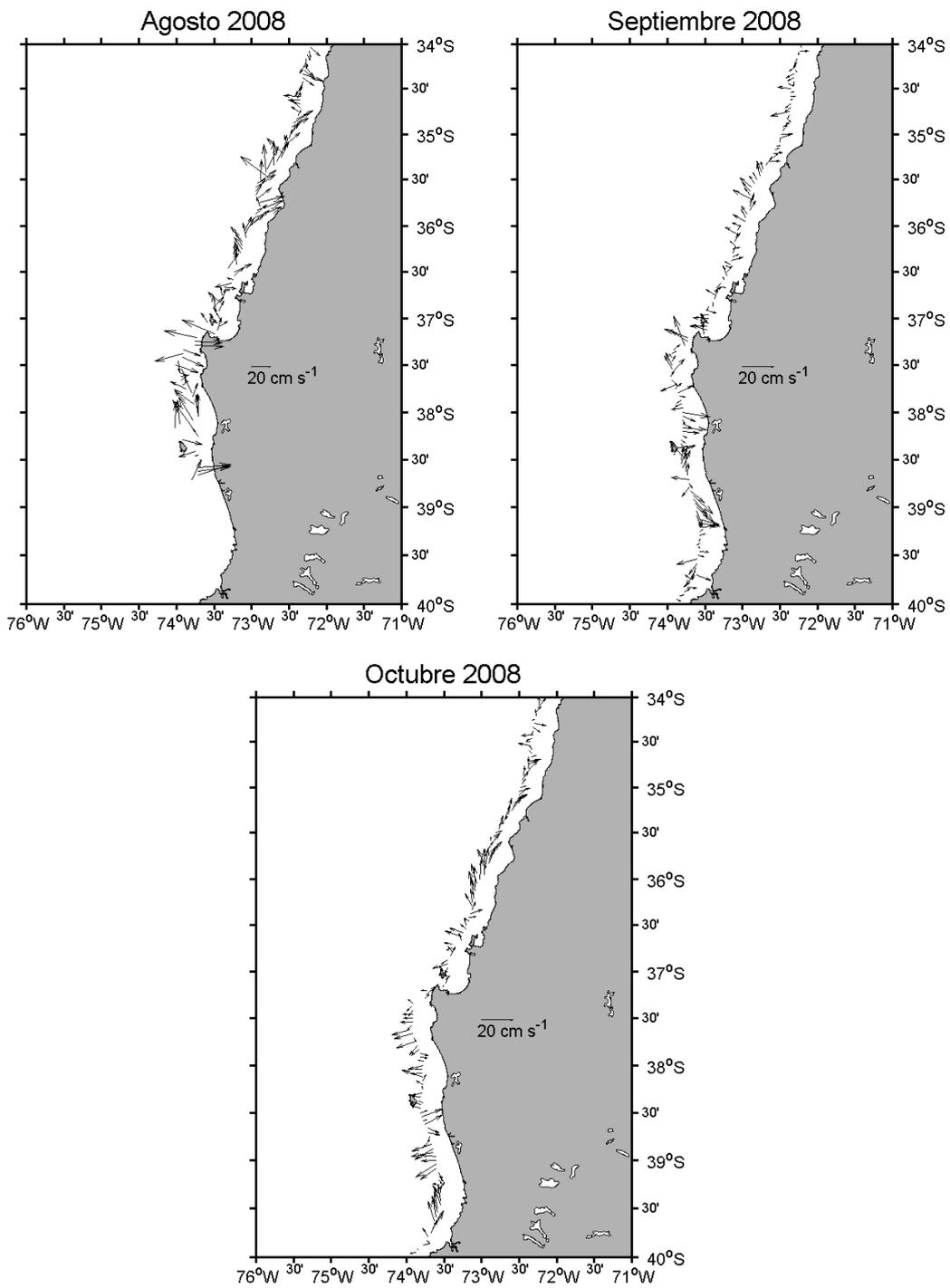


Figura 28. Promedio zonal de corrientes de la banda costera de 27 millas náuticas de velocidades advectivas para los meses de agosto, septiembre y octubre de 2008.

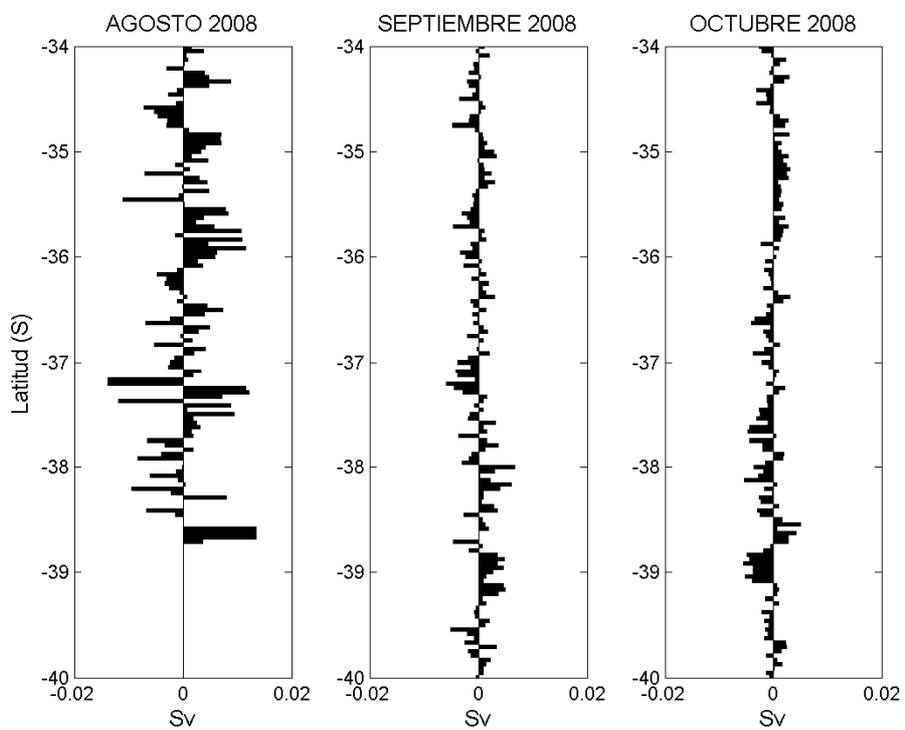


Figura 29. Transporte zonal (este-oeste) de la banda costera de 27 millas náuticas para los meses de agosto, septiembre y octubre de 2008.

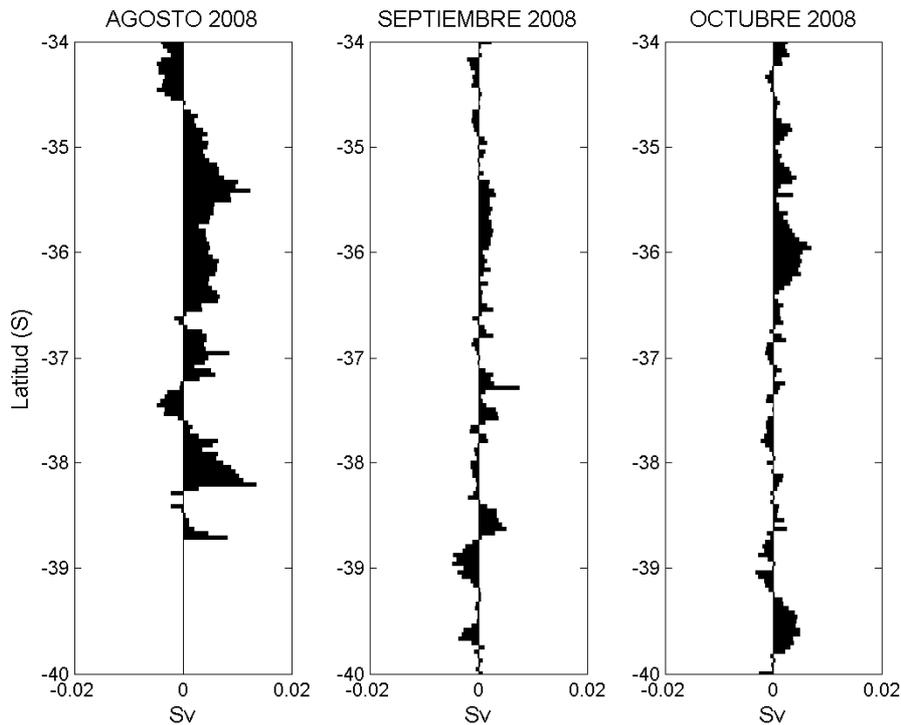


Figura 30. Transporte meridional (norte-sur) de la banda costera de 27 millas náuticas para los meses de agosto, septiembre y octubre de 2008.

8.6. Crucero de adultos

8.6.1. Distribución espacial de los lances de pesca

En la zona centro, el crucero de adultos comenzó el primero de septiembre con lanchas artesanales. Sin embargo, no hubo éxito de pesca mientras se desarrolló el crucero de huevos, lo que obligó a extender el periodo de muestreo hasta el 11 de octubre. Los zarpes de las lanchas artesanales, así como las recaladas fueron debidamente informados al Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA). En cada salida de pesca se recorrió desde Punta Achira hasta la Isla Mocha (**Figura 31**), sin éxito de pesca en términos del número de lances mínimos requeridos. En palabras de los capitanes y sobre la base de la lectura de los sonares, se encontró pescado al interior de la primera milla náutica. Ello implicó un cambio de red para poder operar al interior de primera milla náutica (red bolichera menor a 20 brazas).

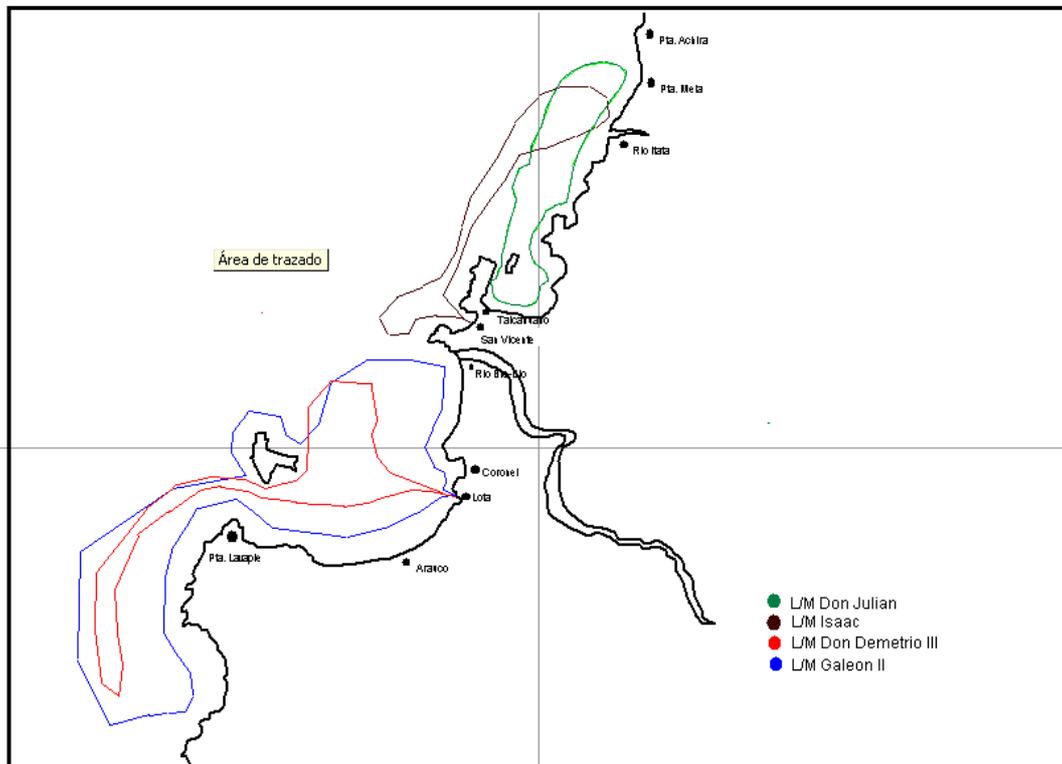


Figura 31. Esquema de la búsqueda de pesca de lanchas artesanales de la VIII Región, sin resultados de pesca (Septiembre de 2008).

Los lances realizados sin pesca se muestran en la **Figura 32**. En el caso de la zona centro, dentro del Golfo de Arauco, se realizó un lance de pesca que resultó ser 100% sierra, con tamaño menor a 40 cm de longitud total y con una captura de 200 kg. En la zona sur, hay cuatro lances realizados sin pesca, esto debido a problemas operacionales de la lancha (rompimiento de red).

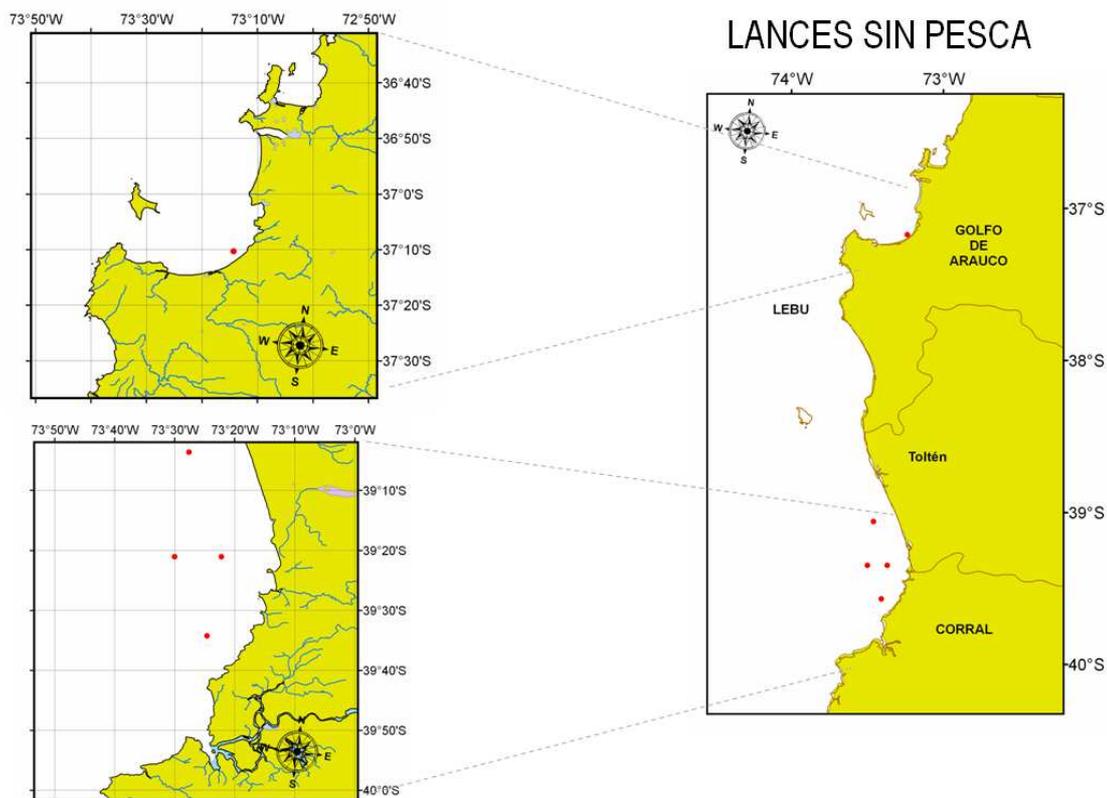


Figura 32. Lances de pesca realizados y que resultaron sin pesca en las zonas centro y sur, 2008.

En la zona centro, el número de lances efectivos realizados de sardina común fueron 2 (**Figura 33**), y todo el material se utilizó para el análisis histológico. En la zona sur, se realizó 31 lances efectivos de pesca ($n = 31$). En el caso de la anchoveta, el número de lances efectivos realizados muestra que este recurso presentó una menor disponibilidad en las zonas de pesca (**Figura 34**). En la zona centro se realizó solamente 1 lance y en la zona sur 11 lances de anchoveta.

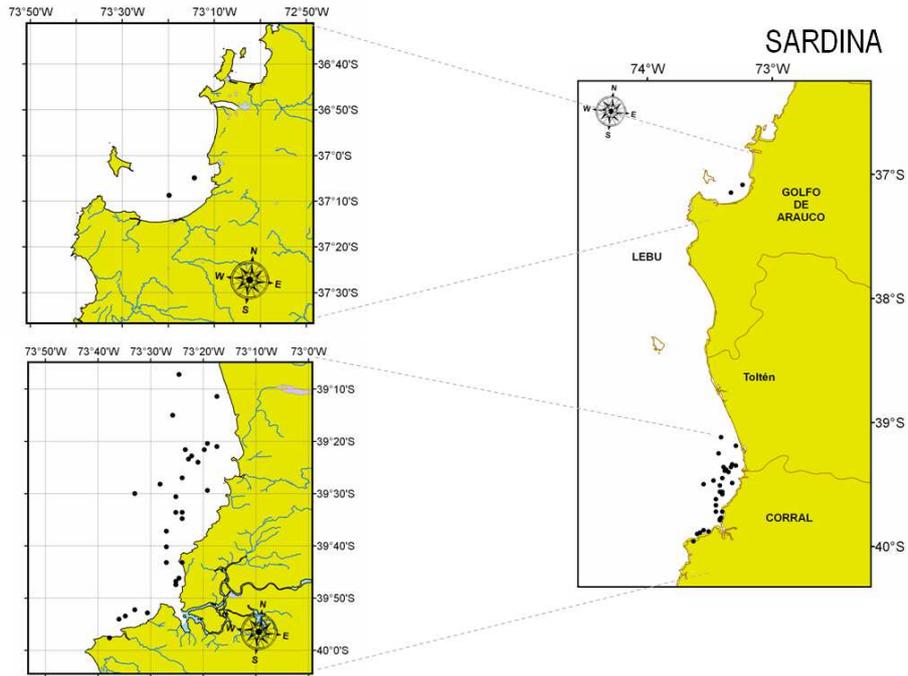


Figura 33. Lances de pesca efectivos de sardina común realizados en las zonas centro y sur, 2008.

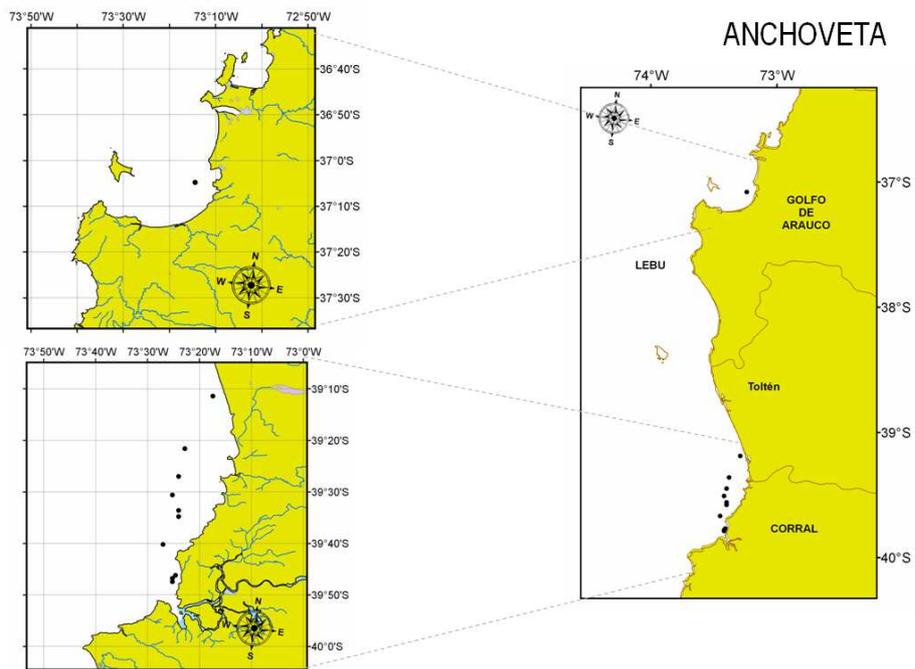


Figura 34. Lances de pesca efectivos de anchoveta realizados en las zonas centro y sur, 2008.

8.6.2. Frecuencia de tamaños

En la zona centro, no se pudo contar con muestras de frecuencia de tallas colectadas a bordo. En la zona sur, en los 31 lances efectivos de sardina común se analizó 2148 individuos, de los cuales 29,7% fueron machos, 47,6% hembras y 22,7% fueron individuos indeterminados, con una longitud promedio de 9,9 cm LT y 93,2% de todos los individuos se encontraban bajo la talla de madurez sexual de 11 cm (**Figura 35** y **Tabla 15**). En el caso de la anchoveta, hubo muy baja disponibilidad, realizándose solo 10 lances de pesca. Se cuenta con 1231 individuos (44,8 % son machos; 40,7% hembras y 15% fueron indeterminados). La longitud promedio fue de 10,6 cm, con 85,4% de los individuos bajo la talla de madurez sexual (< 12 cm; **Figura 35**, **Tabla 15**).

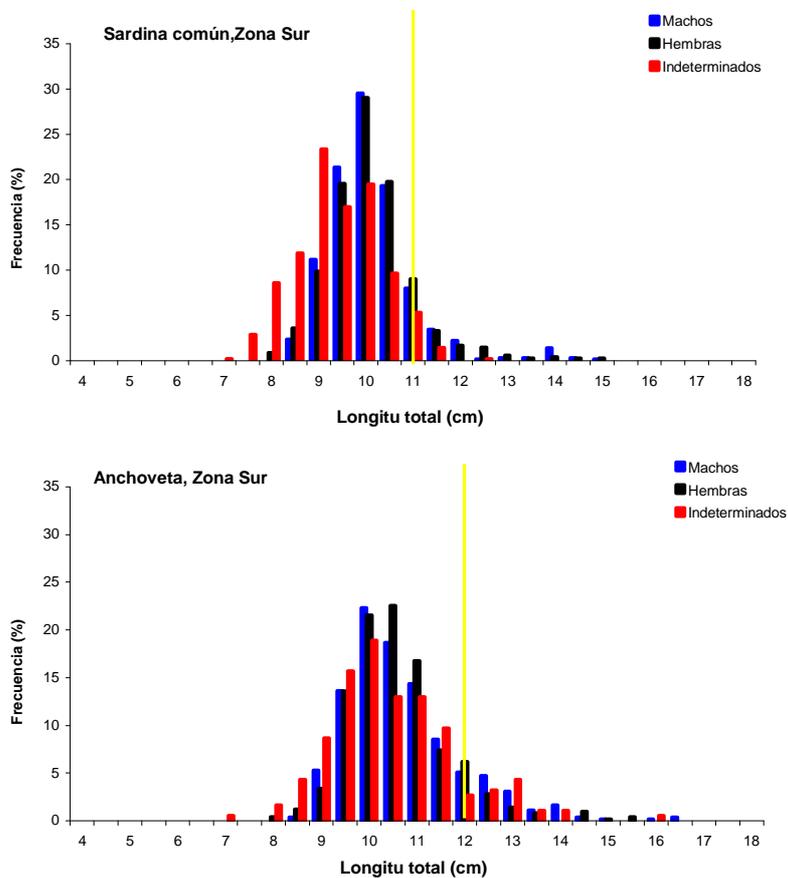


Figura 35. Frecuencia de tallas de sardina común y anchoveta de la zona sur. La línea vertical amarilla indica la talla media de madurez como referencia.

Tabla 15. Resumen de frecuencia de tallas de sardina común y anchoveta en la zona sur.

Zona Sur		
	Sardina común	Anchoveta
LT (cm)	9,9	10,6
Moda	10	10
LT min	7	7
LT max	15	16,5
n	2148	1231

8.7. Producción diaria de huevos

Debido a que en la zona centro no se detectó abundancia de huevos que permitiera determinar la producción diaria de huevos, los parámetros del GLM que fueron estimados a partir de la curva de mortalidad de huevos para cada especie se resumen para la zona sur en la **Tabla 16**, según los dos procedimientos de determinación de la edad. Se observa que en el caso de la anchoveta, los parámetros fueron significativos y la pendiente asociada con la edad fue siempre negativa. En el caso de la sardina común, solamente en la zona centro se encontró una pendiente no significativa.

Los coeficientes permiten estimar la producción diaria de huevos y tasa de mortalidad diaria de huevos (**Tabla 17**). Dichas estimaciones están referidas al área de desove (A_1), mientras que la estimación estratificada considera el área de estudio que incluye tanto el área positiva como negativa. Al respecto, el método de asignación de edad basado en el modelo multinomial fue más preciso que el método convencional. No obstante, las estimaciones de biomasa se realizarán con ambas estimaciones para comparar el desempeño interanual. La tasa de mortalidad diaria de los huevos de anchoveta fluctuó entre 0,35 y 0,37 d^{-1} , mientras que en el caso de la sardina común la tasa de mortalidad diaria no fue significativa, y muy baja con ambos métodos de estimación.

Tabla 16. Coeficientes del modelo lineal generalizado, familia binomial negativa y enlace log. El intercepto representa el logaritmo de la producción diaria de huevos (huevos/m²) y la pendiente a la tasa de mortalidad por hora (h⁻¹).

a) anchoveta

Datación con Lo		Estimado	Error Std.	Valor z	Pr(> z)	n	AIC
Sur	Intercepto	6.27549	0.39505	15.885	<2e-16	260	1177.7
	Pendiente	-0.01558	0.00917	-1.699	0.0893		
Datación con Multinomial		Estimado	Std. Error	Valor Z	Pr(> z)	n	AIC
Sur	Intercepto	6.546482	0.342781	19.098	<2e-16	285	1529.9
	Pendiente	-0.014598	0.006974	-2.093	0.0363		

b) sardina común

Datación con Lo		Estimado	Error Std.	Valor Z	Pr(> z)	n	AIC
Sur	Intercepto	5.665863	0.538919	10,51	<2e-16	170	769,85
	Pendiente	0.002588	0.012396	0,21	0,84		
Datación con Multinomial		Estimado	Error Std.	Valor Z	Pr(> z)	n	AIC
Sur	Intercepto	6.053954	0.530518	11,41	<2e-16	137	765,17
	Pendiente	-0.003096	0.0138	-0,22	0,82		

Tabla 17. Estimaciones de la producción diaria de huevos (P_0) y tasa de mortalidad diaria (Z) para la anchoveta y sardina común utilizando GLM con familia binomial negativa y enlace log en el área de desove (A_1) de cada estrato geográfico. El coeficiente de variación se muestra entre paréntesis, así como la estimación estratificada de la producción diaria de huevo en el área de estudio.

	Anchoveta		Sardina común	
	Central	Sur	Central	Sur
Area de estudio (A , km ²)	15341	13571	15341	13571
Area de desove, A_1 (km ²)		6800	-	4255
a) Datación con Lo:				
P_0 (huevo/0,05 m ² /día)	-	26,6 (0,395)	-	14,4 (0,539)
Z (día ⁻¹)	-	-0,374 (0,589)	-	0,062 (4,79)
P_0 (huevo/m ² /día)	-	266,3 (0,560)	-	90,6 (0,965)
b) Datación multinomial:				
P_0 (huevo/0,05 m ² /día)	-	34,84(0,343)	-	21,3 (0,53)
Z (día ⁻¹)	-	-0,350 (0,478)	-	-0,074 (4,46)
P_0 (huevo/m ² /día)	-	349,2 (0,486)	-	133,5 (0,95)

8.8. Proporción de estadios de madurez sexual microscópicos y fracción diaria de hembras desovantes

La proporción de estadios de madurez microscópicos se resumen en la **Tabla 18**, para ambas especies y por estrato geográfico. En la anchoveta, el mayor porcentaje de ejemplares maduros correspondieron al estadio Vitelado e Inmaduro. Hembras inmaduras son definidas como aquellos ovarios sin atresia y sólo ovocitos inmaduros o vesiculosos, aunque algunos ovarios inmaduros pueden contener atresia α de ovocitos no vitelados. Mientras que hembras maduras fueron clasificadas como activas por la presencia de ovocitos con vitelos como FPO, o postreproductivas (postbreeding) porque son incapaces de desovar nuevamente dentro de la estación y son identificadas por la presencia de atresia β en ovarios con ovocitos no vitelados y sin FPO (Macewicz *et al.*, 1996; Lo *et al.*, 2005).

En el caso de la sardina, se analizó un total de 994 hembras distribuidas en 30 lances de pesca. Del total de lances, 6 lances fueron de la zona centro (178 hembras) y 24 lances en la zona sur (816 hembras). En la zona sur, el mayor porcentaje de las hembras se encontraban inactivas sexualmente (97,2%); estas ultimas, definidas como aquellos ovarios sin atresia y sólo ovocitos inmaduros o vesiculosos, estando dentro de esta clasificación las hembras que comprenderían el estado I (Virginal) y II (Inmaduro). Las hembras maduras (ovarios con presencia de ovocitos con vítelo) correspondientes a los estadios del III al IX, alcanzaron solo un 2,8% en el conteo general, solo fue posible encontrar estos estadios en la zona centro (**Tabla 18**).

Tabla 18. Fracción de estadios de madurez sexual microscópicos de anchoveta y sardina común durante el período de estudio del 2008.

EMS	Anchoveta				Sardina			
	Centro		Sur		Centro		Sur	
	f	%	f	%	f	%	f	%
Virginal, I	-	-	0	0,0	0	0,0	23	2,8
Inmaduro, II	-	-	138	35,9	0	0,0	770	94,4
Parcialmente vitelado, III	-	-	8	2,1	1	0,6	5	0,6
Vitelado, IV	-	-	165	43,0	85	47,8	11	1,3
En hidratación, V	-	-	13	3,4	15	8,4	0	0,0
Hidratado, VI	-	-	0	0,0	6	3,4	1	0,1
En desove, VII	-	-	0	0,0	1	0,6	0	0,0
Post-desovante VIII	-	-	28	7,3	65	36,5	0	0,0
Desovado, IX	-	-	32	8,3	5	2,8	6	0,7
Total	-	-	384	100	178	100	816	100

Con el objeto de estimar la fracción desovante, se consideró el total de lances asignados a la zona sur, toda vez que las muestras de la embarcación de la zona centro provenían de zonas de pesca cercanas a la Isla Mocha. En el contexto de la clasificación de los FPO, la fracción de hembras desovantes de día 1 fueron estimadas solamente con los primeros cuatro estadios, ya que representan la degeneración de las estructuras de las hembras desovantes dentro las primeras 24 horas. Los estadios V al VII corresponderían al segundo día después del desove, pero aún se tiene incertidumbre respecto de su duración exacta.

En anchoveta, la fracción desovante promedio se estimó en 0,06 para la zona sur sobre la base de 11 lances y 35 hembras promedio por lance, pero con una muy baja precisión (CV = 0,898) (**Tabla 19a**). En la sardina común, la fracción desovante promedio fue de 0,05 (CV = 0,573) en la zona sur (**Tabla 19b**)

Tabla 19. Resumen de los parámetros reproductivos de los ejemplares adultos de anchoveta y sardina común, por estrato geográfico.

a) Anchoveta	2008			
	Centro	CV	Sur	CV
Fracción desovante, S	-	-	0,06	0,898
Peso promedio, W (g)	-	-	14,42	0,201
Proporción de hembras, R	-	-	0,50	0,000
Fecundidad media, F	-	-	5559	0,099
Fecundidad relativa, F/W			385,4	
Fecundidad específica diaria, DSF			11,5	
Número de lances, n			11	
Número de hembras, m			385	
Hembras promedio por lance, m			35	

b) Sardina	2008			
	Centro	CV	Sur	CV
Fracción desovante, S	-	-	0,05	0,573
Peso promedio, W (g)	-	-	11,80	0,120
Proporción de hembras, R	-	-	0,50	0,000
Fecundidad media, F	-	-	5586,6	0,102
Fecundidad relativa, F/W			473,4	
Fecundidad específica diaria, DSF			11,2	
Número de lances, n			30	
Número de hembras, m			990	
Hembras promedio por lance, m			33	

8.9. Fecundidad parcial y fecundidad media poblacional

Los resultados de la regresión de la fecundidad parcial en función del peso corporal del periodo 2002-2007, se muestran en la **Tabla 20**. No existen diferencias entre las rectas de la zona centro y sur (test t, $P < 0,05$), por lo que se utilizó la ecuación global (**Figura 36**) para estimar la fecundidad promedio en cada zona y así aumentar la precisión del estimado de fecundidad media poblacional. En anchoveta, la fecundidad media poblacional en la zona sur fue de 5559 ovocitos ($CV = 0,099$); y en el caso de la sardina común, fue de 5587 ovocitos (**Tabla 19**).

Tabla 20. Regresión lineal entre la fecundidad parcial y el peso corporal, periodo 2002-2007.

Parámetro	Anchoveta	Sardina común
Intercepto (a)	-367.10	620,32
Pendiente (b)	412,97	434,81
S_a	347,34	199,88
S_b	17,69	11,05
Error típico (S_{yx})	2014,73	1770,82
n	438	424
r^2	0,555	0,786
$P(b = 0)$	<0,01	<0,01

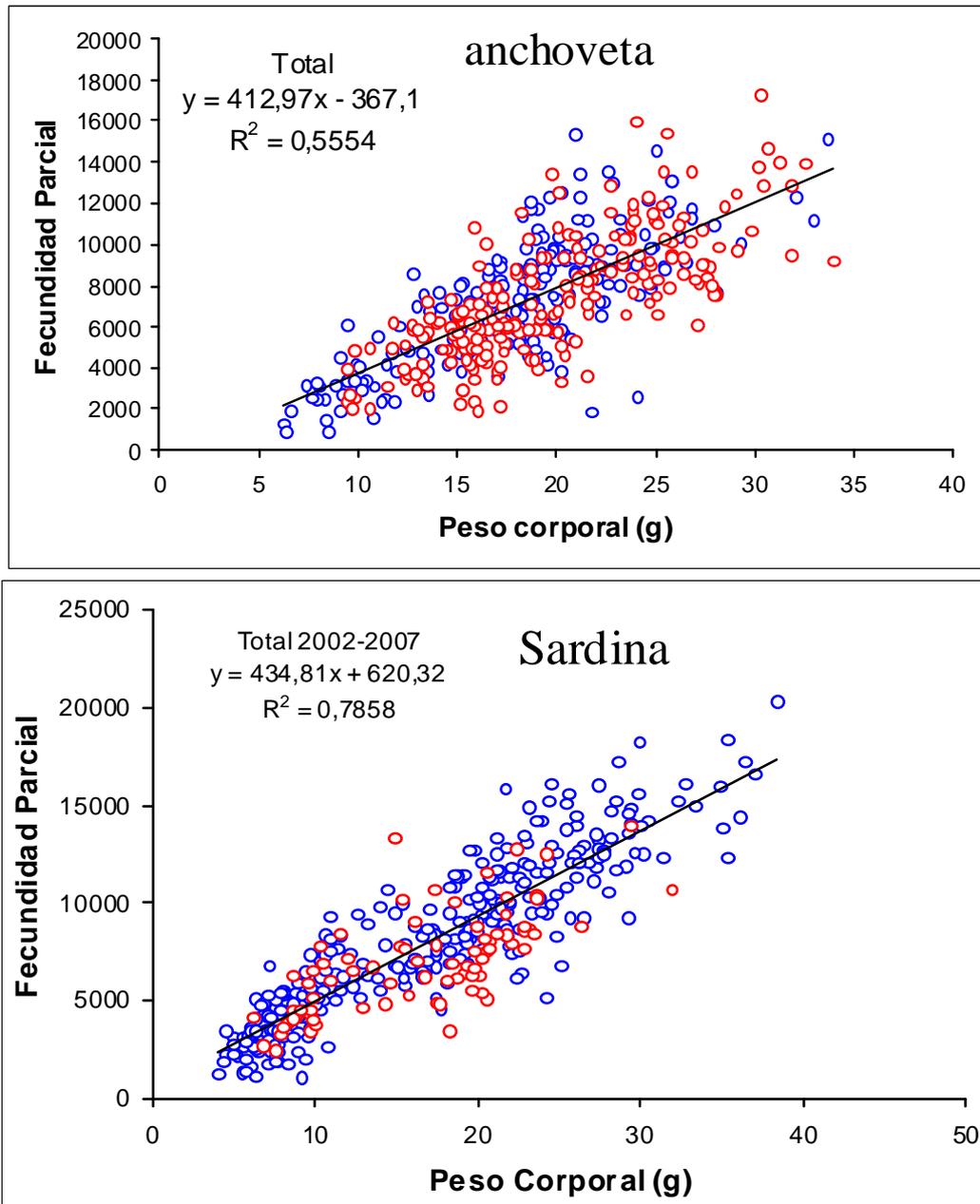


Figura 36. Relación entre la fecundidad parcial y el peso corporal de anchoveta y sardina común (azul = zona sur, rojo = zona centro).

8.10. Proporción sexual y peso promedio de hembras maduras

La muestra aleatoria de especímenes de anchoveta y sardina común se caracterizó por la alta incidencia de ejemplares juveniles inmaduros, razón por la cual la determinación de la proporción sexual se realizó cuidadosamente examinando las gónadas bajo lupa estereoscópica. En anchoveta, la proporción de hembras (en peso) por lance fue de 0,452 (CV = 0,079) en la zona sur. En la sardina común, la proporción de hembras por lance fue de 0,54 (CV = 0,031). No obstante, debido a que una fracción importante quedó definida como indeterminado, se prefirió utilizar una proporción de 1:1 para ambas especies en la estimación de la biomasa desovante.

El peso promedio de las hembras maduras de anchoveta fue de 14,4 g en la zona sur (CV = 0,201), y en la sardina común fue de 11,8 g (CV = 0,120) (**Tabla 19**).

8.11. Biomasa del stock desovante

La biomasa del stock desovante que aquí se comunica se sustenta solamente en la producción diaria de huevos del sector sur, ya que en el sector centro no estuvo presente el stock desovante. La evaluación del stock desovante se realizó considerando los dos métodos de datación. El nuevo método de datación (multinomial) fue más preciso, aunque las estimaciones del 2008 poseen alto grado de incertidumbre dado el alto coeficiente de variación de la producción diaria de huevos y de la fracción diaria de hembras desovantes. Los estimadores puntuales permiten señalar que la biomasa del stock desovante fue de 411 mil toneladas para la anchoveta y de 161 mil toneladas para la sardina común, en septiembre de 2008 (**Tabla 21**).

Tabla 21. Parámetros del Método de la Producción Diaria de Huevo y estimación de la biomasa del stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona sur (Septiembre 2008), según dos métodos de datación de huevos (convencional y multinomial). El coeficiente de variación se muestra en paréntesis para las estimaciones de biomasa.

Parámetros	Anchoveta	Sardina común
Fracción desovante, S	0,060	0,047
Peso promedio de hembras maduras, W (g)	14,42	11,80
Proporción sexual, R (fracción de hembras)	0,50	0,50
Fecundidad media, F (huevos por hembra)	5559	5587
Fecundidad relativa, RF^a (huevos por g)	385,4	473,4
Fecundidad específica, DSF^b (huevos por g)	11,4	29
Area de estudio, A (km ²)	13571	13571
a) Datación convencional:		
Producción diaria de huevos, P_0 (huevo/m ² /día)	266,6	90,3
Biomasa desovante, B (t)	313432 (1,050)	109162 (1,115)
b) Datación multinomial:		
Producción diaria de huevos, P_0 (huevo/m ² /día)	349,1	133,6
Biomasa desovante, B (t)	410525 (1,012)	161468 (1,102)

^a $RF = F/W$

^b $DSF = SFR/W$

8.12. Distribución espacial de huevos asociada a variables oceanográficas

8.12.1. Análisis cualitativos

a) Sobreposición de mapas de distribución

El primer tipo de análisis gráfico consistió en la sobreposición de los mapas de distribución de huevos de anchoveta y sardina común en una escala horizontal con los mapas de distribución de las variables oceanográficas. Las distribuciones de huevos de ambas especies sobre las secciones horizontales de temperatura y salinidad a 1 m de profundidad se muestran en las **Figuras 37** y **38**. En ambas áreas se observa que los máximos de abundancia de huevos de anchoveta no coinciden aguas de alguna temperatura en particular. Al analizar la sobreposición de los huevos con las salinidades a 1 m de profundidad, se observa que los pocos huevos colectados en la zona central estarían en sectores con menores salinidad (ceranos a la plumas de los ríos Biobío e Itata pero no en la zona adyacente al río Maule sino que al sur de éste. Los huevos de sardina común, por su escasa abundancia, no se puede asociar a las características de un área en particular. En la zona sur, ambas especies comparten sus áreas de mayor abundancia, ubicándose en un rango de temperaturas y salinidades semejantes, más estrecho que

en la zona central, pero que no puede asociarse claramente a alguna estructura oceanográfica debido a que en la zona ocupada se encuentran Aguas Subantárticas Superficiales (ASAS) modificadas (Salinidades < 33 psu) tanto de la plataforma continental como la presencia de una pluma de aguas con menor salinidad (i.e. frente a Puerto Saavedra, salinidades <31 psu).

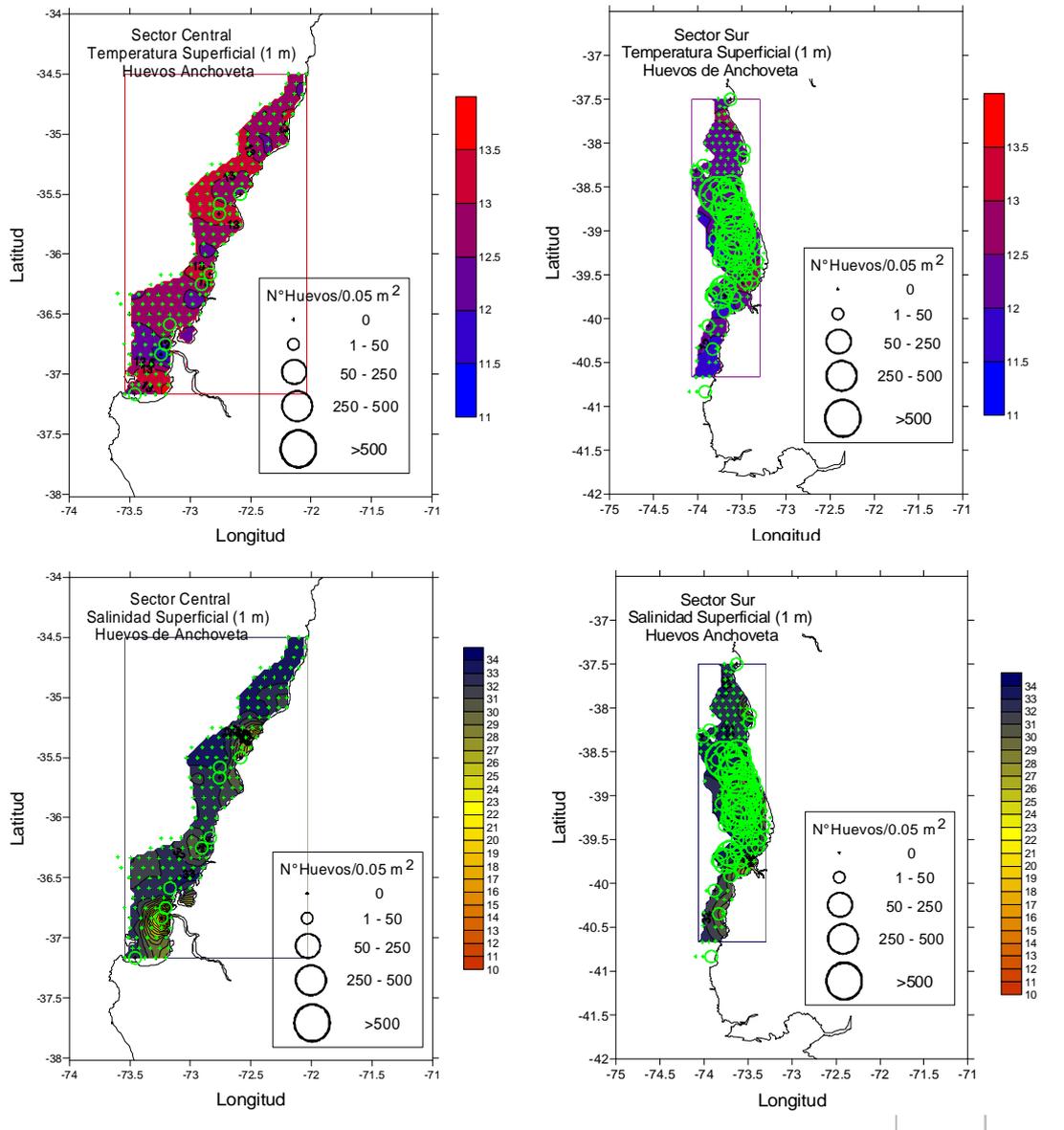


Figura 37. Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta sobre secciones horizontales de temperatura y salinidad a 1 m de profundidad en las zonas centro y sur.

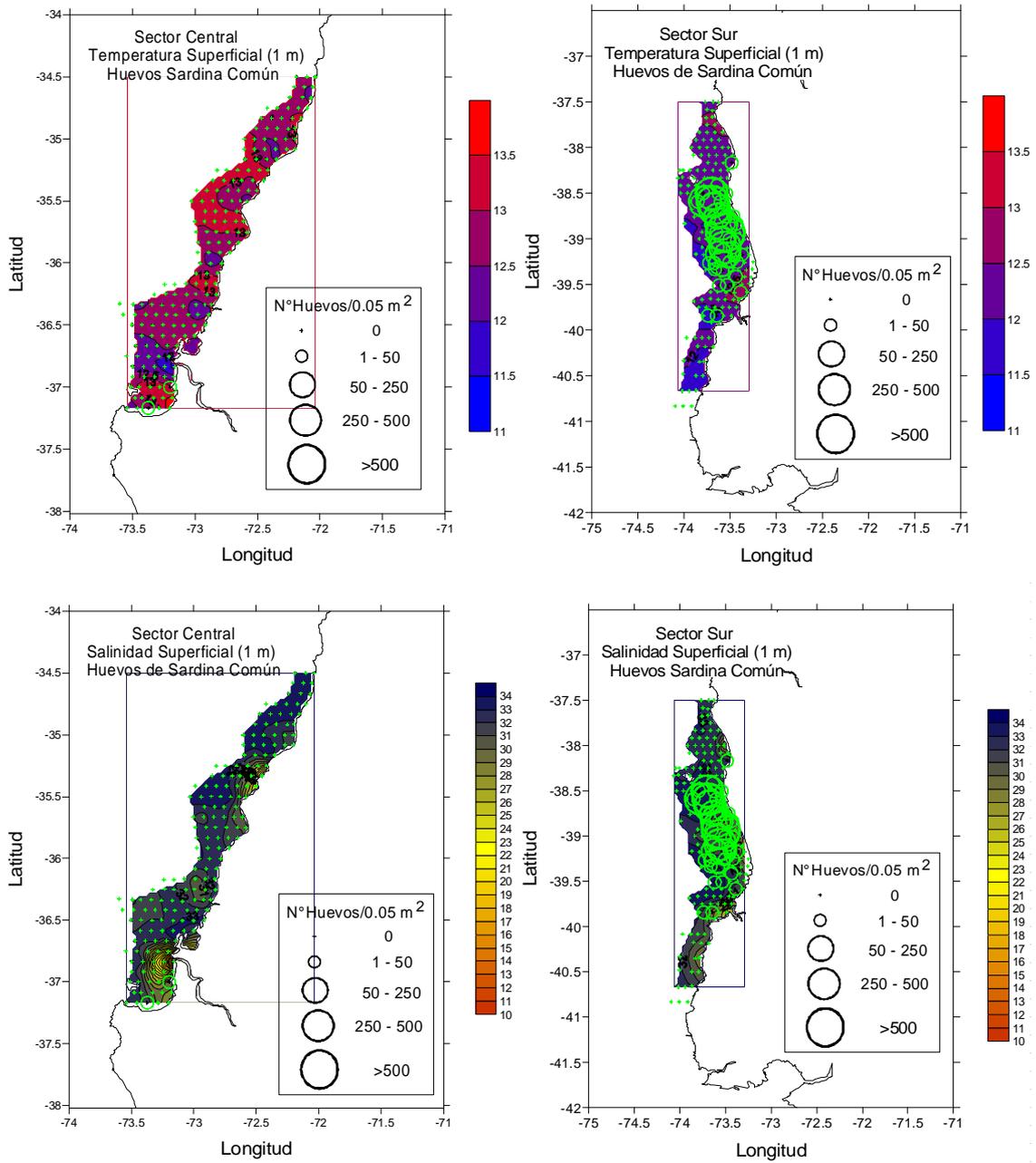


Figura 38. Sobreposición de abundancia de huevos de sardina común sobre secciones horizontales de temperatura y salinidad a 1 m de profundidad en las zonas centro y sur.

b) Diagrama T-S y abundancia de huevos

El segundo tipo de análisis gráfico consistió en el desarrollo de diagramas T-S con datos de hidrografía obtenidos a 1 y 10 m de profundidad en los cuales se sobrepuso una representación escalada de la abundancia por estación de huevos de anchoveta y sardina común, siguiendo la metodología de Checkley *et al.* (2000). En la **Figura 39** se muestra este tipo de diagrama para los huevos de ambas especies para las zonas centro (círculos en rojo) y sur (círculos en azul). Ambas especies tienden a ocurrir en rangos similares de temperatura (anchoveta: 10,5-13,5 °C; sardina común: 11-14 °C), pero diferentes en salinidad (anchoveta: 18-34 psu; sardina común: 29-34 psu), siendo más amplio el rango en anchoveta, particularmente en la zona central.

Comparando entre zonas a una misma profundidad se puede observar que los rangos entre los cuales ocurren los huevos variaron entre las zonas norte (símbolos rojos) y sur (símbolos azules). Esta comparación de rangos de salinidad y temperatura entre zonas, sin embargo, debe tomarse con cautela dado el bajo número de estaciones positiva con huevos en la zona central. En anchoveta, por ejemplo, se observa que las temperaturas del agua 1 m de profundidad en que ocurrieron huevos en la zona central fueron más bajas y con menores valores de salinidad que en la zona sur. En sardina común, alternativamente, se observa que a 1 m de profundidad, el agua en que ocurrieron huevos en la zona central fue más cálida que en el sur, pero del mismo rango de salinidades en ambos sectores, patrón que se repite a 10 m de profundidad en ambas zonas.

Comparando con el 2007 (temperaturas más bajas y aguas más saladas), los rangos no coincidieron ni tampoco las variaciones entre zonas. Durante el 2007, se observó que las mayores abundancias de huevos de ambas especies habrían ocurrido a menores temperaturas y menores salinidades en el sector sur.

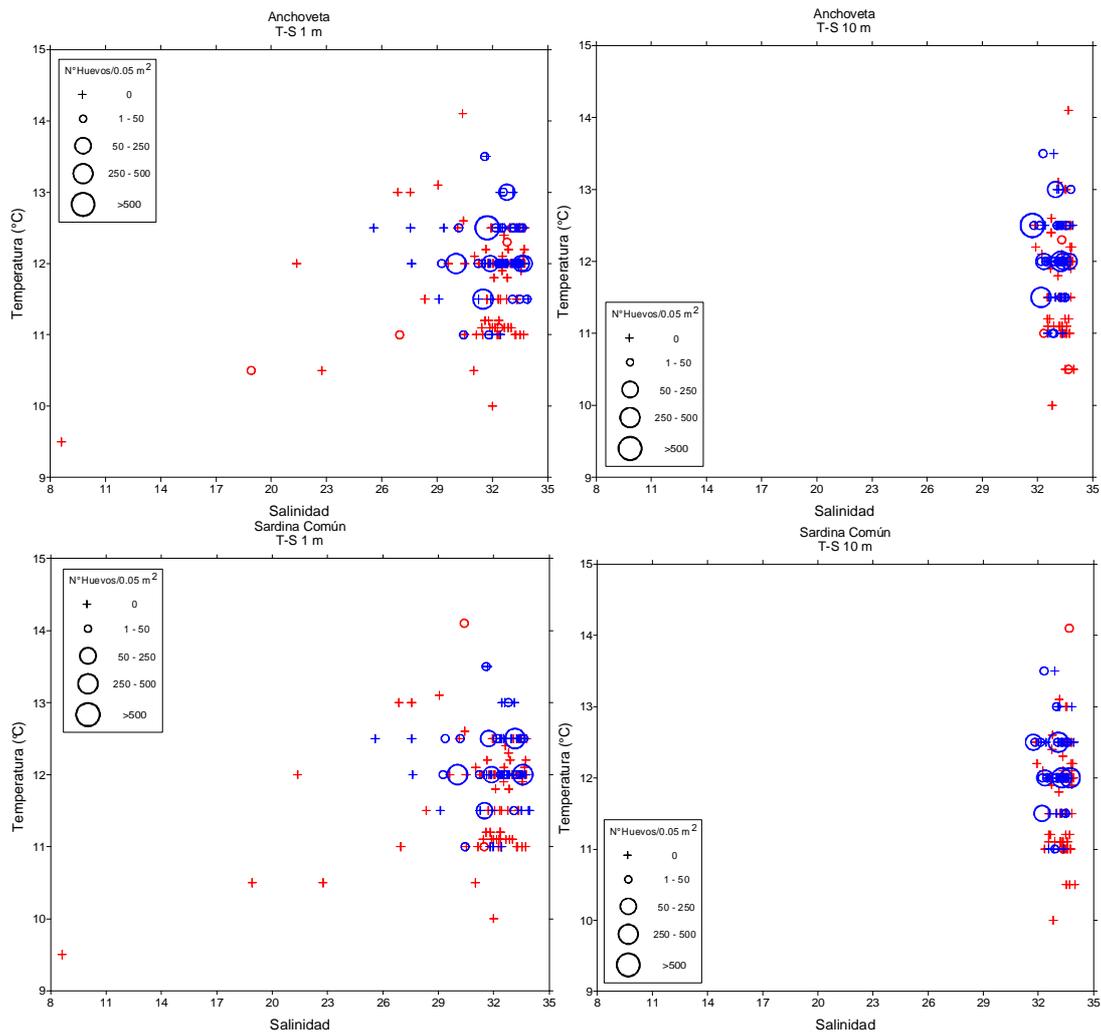


Figura 39. Diagramas TS en que a la data de Temperatura y Salinidad a 1 y 10 m de profundidad de cada estación, se sobrepuso una representación escalada de la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común. Los círculos en rojo corresponden a abundancia de huevos en estaciones de la zona central y, en azul, a la zona sur.

c) Modelos para la densidad de huevos

El análisis espacial de la densidad de huevos de anchoveta y sardina común consideró como covariables explicativas a la temperatura superficial del mar (TSM) y la profundidad de fondo. Estas variables necesitan ser modeladas con el objeto de ser utilizadas en una grilla de predicción cuando los modelos seleccionados consideran explícitamente a estas variables. Los resultados del análisis espacial de la temperatura y profundidad se resumen en la **Tabla 22**.

Tabla 22. Resumen de los modelos GAM utilizados para la temperatura superficial del mar y la profundidad de fondo.

Variable	Crucero	Zona	n	Suavizador Spline	R ² (adj)	Deviance Explicada (%)
TSM	2008	Sur	165	s(x,y, k=55)	0.376	45.9
Profundidad	2002-2007	Sur	844	s(x,y, k=281)	0.870	90.1

Los modelos utilizados para relacionar la densidad total de huevos de anchoveta y sardina común se resumen en la **Tabla 23**. Se observa que el proceso isotrópico dependiente conjuntamente de la interacción latitud-longitud logró por lo general la más baja devianza explicada en el caso de la sardina común. Solo en el caso de la anchoveta, el modelo que incluye la temperatura y la profundidad de fondo, la devianza explicada mejoró notablemente así como el puntaje de la validación cruzada general (GCV). De este modo en el sector sur, tanto la temperatura como la profundidad de fondo explicaron la densidad de huevos en el área de desove de anchoveta, mientras que en la sardina común solo la localidad (**Figura 40**).

Tabla 23. Resumen de los modelos aplicados (GAM) para la densidad de huevos de anchoveta y sardina común (huevos /m²) en función de la longitud (x), latitud (y), temperatura y profundidad de fondo para el año 2008. Las variables Temperatura (TSM) y Profundidad (Depth) fueron estandarizadas respecto de la latitud geográfica con el objeto de trabajar con un proceso isotrópico.

Especie	Zona	Grados Libertad inicial	Suavizador spline elegido	R2 (adj)	Deviance Explicada (%)	GCV
Anchoveta	Sur	165	s(x,y, k=12)	0,410	62,7	72,78
		165	s(x,y,k=12)+s(TSM,k=12)	0,390	63,6	71,88
		165	s(x,y,k=12)+s(Depth,k=12)	0,550	70,5	59,86
		165	s(x,y,k=12)+s(TSM,k=12)+s(Depth,k=12)	0,560	74,8	51,73
Sardina	Sur	165	s(x,y, k=13)	0.800	88,9	12.514
		165	s(x,y, k=13)+ s(TSM, k=13)	0,569	80,1	21.560
		165	s(x,y, k=13)+ s(Depth, k=13)	0,662	83,7	17.848
		165	s(x,y, k=13)+ s(TSM, k=13)+ s(Depth, k=13)	0,574	78,5	23.856

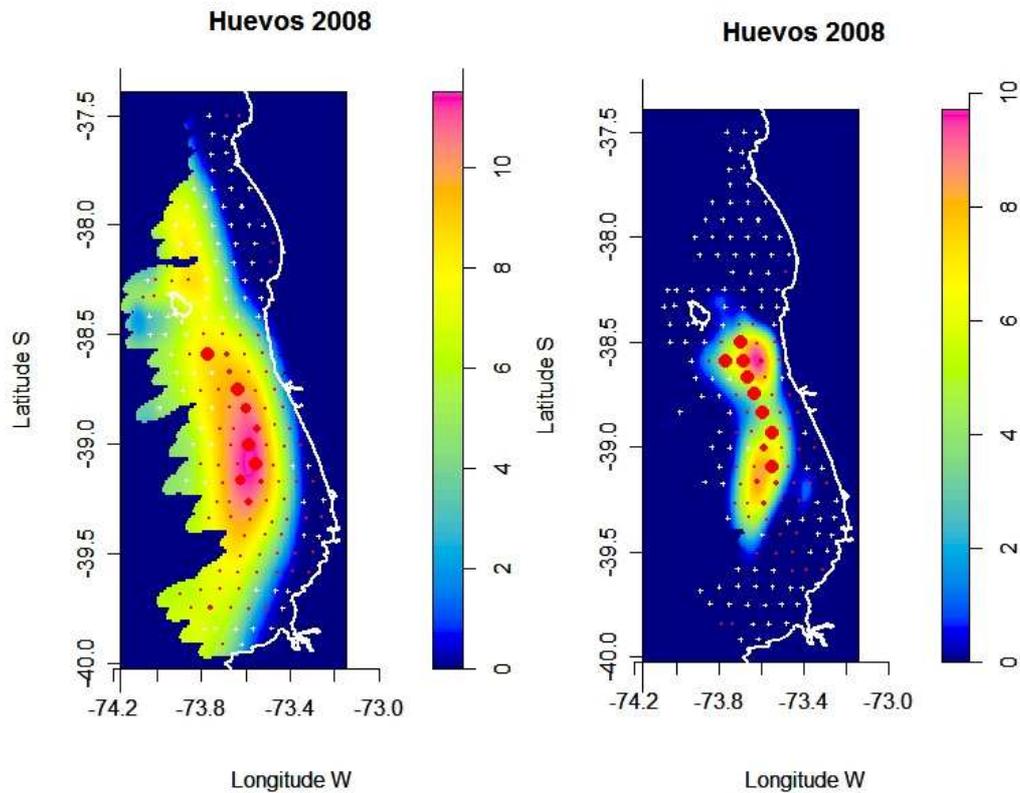


Figura 40. Predicciones de la densidad de huevos de anchoveta (izquierda) y sardina común (derecha) con los modelos GAM seleccionados en la zona sur, año 2008. La escala corresponde al logaritmo de la densidad, y se ha superpuesto una escala relativa de la densidad observada (puntos rojos) y las estaciones negativas (cruces).

c) Modelos para la producción diaria de huevos

En el caso de la producción diaria de huevos, se utilizó el modelo multinomial para generar la datación, y se usó GAM para modelar la sobrevivencia de las cohortes diarias de huevos. Los modelos seleccionados de acuerdo con la devianza explicada y validación cruzada se indican en la **Tabla 24**. En general, se encuentra que los mejores modelos para la producción diaria de huevos de anchoveta incluyen la temperatura superficial del mar y la profundidad de fondo, mientras que para la sardina común se encontró que la profundidad de fondo explica la distribución de la producción diaria de huevos (**Figura 41**).

Tabla 24. Resumen de los modelos aplicados (GAM) para la Producción diaria de huevos de anchoveta y sardina común (huevos /m²) en función de la longitud (x), latitud (y), temperatura y profundidad de fondo para el año 2008 en el sector sur. Las variables Temperatura (TSM) y Profundidad (Depth) fueron estandarizadas respecto de la latitud geográfica con el objeto de trabajar con un proceso isotrópico.

Especie	Zona	Grados Libertad inicial	Suavizador spline elegido	R2 (adj)	Deviance Explicada (%)	GCV
Anchoveta	Sur	184	$s(x,y, k=12)$	0,240	51,4	28,65
		184	$s(x,y,k=12)+s(TSM,k=12)$	0,220	51,3	29,16
		184	$s(x,y,k=12)+s(Depth,k=12)$	0,040	20,2	46,52
		184	$s(x,y,k=12)+s(TSM,k=12)+s(Depth,k=12)$	0,320	61,1	23,25
Sardina	Sur	409	$s(x,y, k=13)$	0,578	79,2	7,941
		409	$s(x,y, k=13)+ s(TSM, k=13)$	0,774	87,1	5,289
		409	$s(x,y, k=13)+ s(Depth, k=13)$	0,664	81,8	7,089
		409	$s(x,y, k=13)+ s(TSM, k=13)+ s(Depth, k=13)$	0,628	82,5	6,818

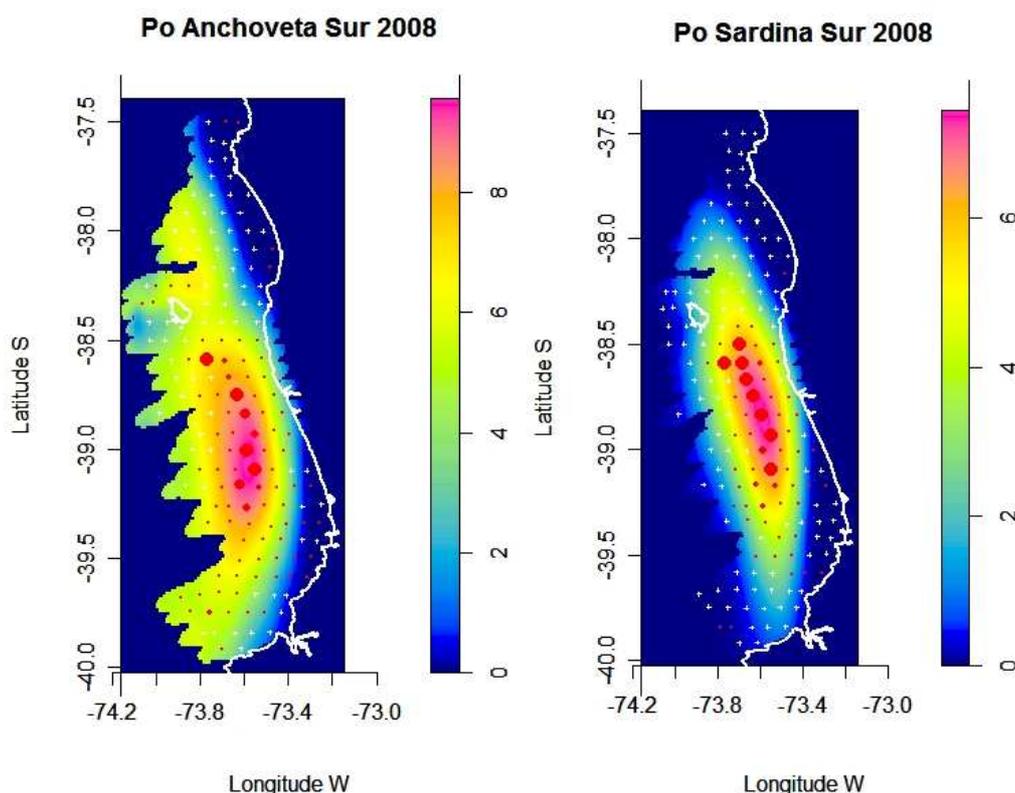


Figura 41. Predicciones de la producción diaria de huevos de anchoveta (izquierda) y sardina común (derecha) con los modelos GAM seleccionados, año 2008. La escala corresponde al logaritmo de las estimaciones, y se ha superpuesto una escala relativa de la densidad observada (puntos rojos) y las estaciones negativas (cruces).

8.13. 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 y 2005, la producción total de huevos realizada se evaluó con una grilla menos intensa, como fuera recomendado en los talleres de discusión (Cubillos *et al.* 2006). Sin embargo, los resultados del Proyecto FIP 2006-38 “Mejoramiento del Método de Producción de Huevos aplicado en peces pelágicos pequeños” (Claramunt *et al.* 2007a) se recomendó que en la zona centro-sur se realizaran transectas cada 5 millas náuticas y estaciones cada 4 millas náuticas cubriendo la plataforma continental desde la costa hasta el límite occidental del veril de 200 m de profundidad. Esta recomendación fue adoptada en el 2007 y 2008.

Una comparación cualitativa de los cinco cruceros de evaluación con el MPDH se presenta en la **Figura 42 y 43**, en términos de la grilla de muestreo y la distribución espacial de las estaciones positivas. Se observa en general, 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.

En ambas especies se identifica el sector sur, esto es entre 38°20'S y 40°S como la principal área de desove. Esta área presenta la mayor abundancia de huevos durante el pico de desove principal y que ha sido evaluado regularmente entre agosto y septiembre de cada año. En la zona norte, la abundancia de huevos de sardina común ha sido variable interanualmente, y virtualmente ausente en el 2004 y 2005. No obstante, para ambas especies se identifica al Golfo de Arauco y la desembocadura del Río Itata, y Constitución, como los núcleos de desove de mayor importancia en este estrato geográfico.

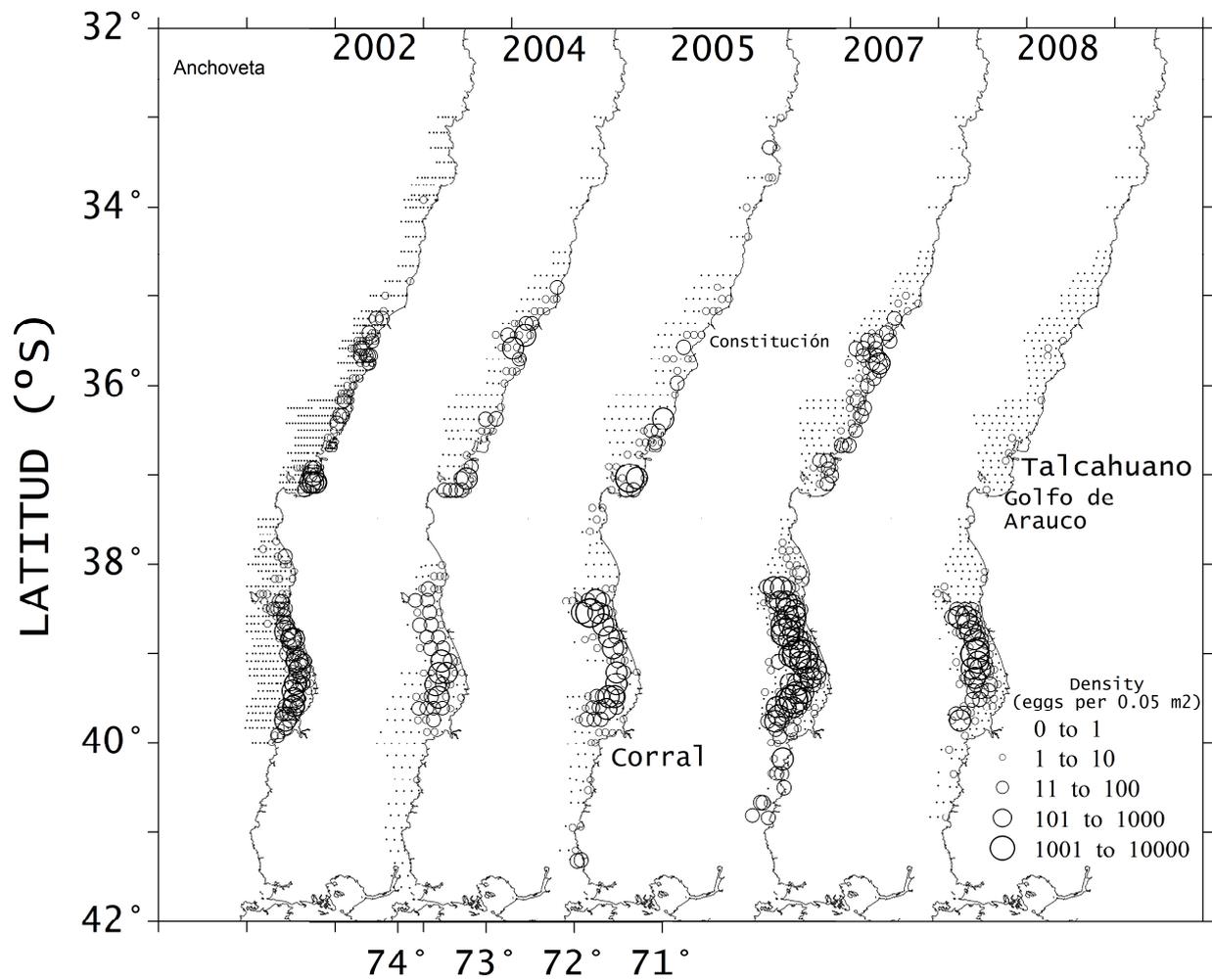


Figura 42. Distribución de la abundancia huevos de anchoveta (huevos por 0,05 m²) en la zona centro-sur de Chile.

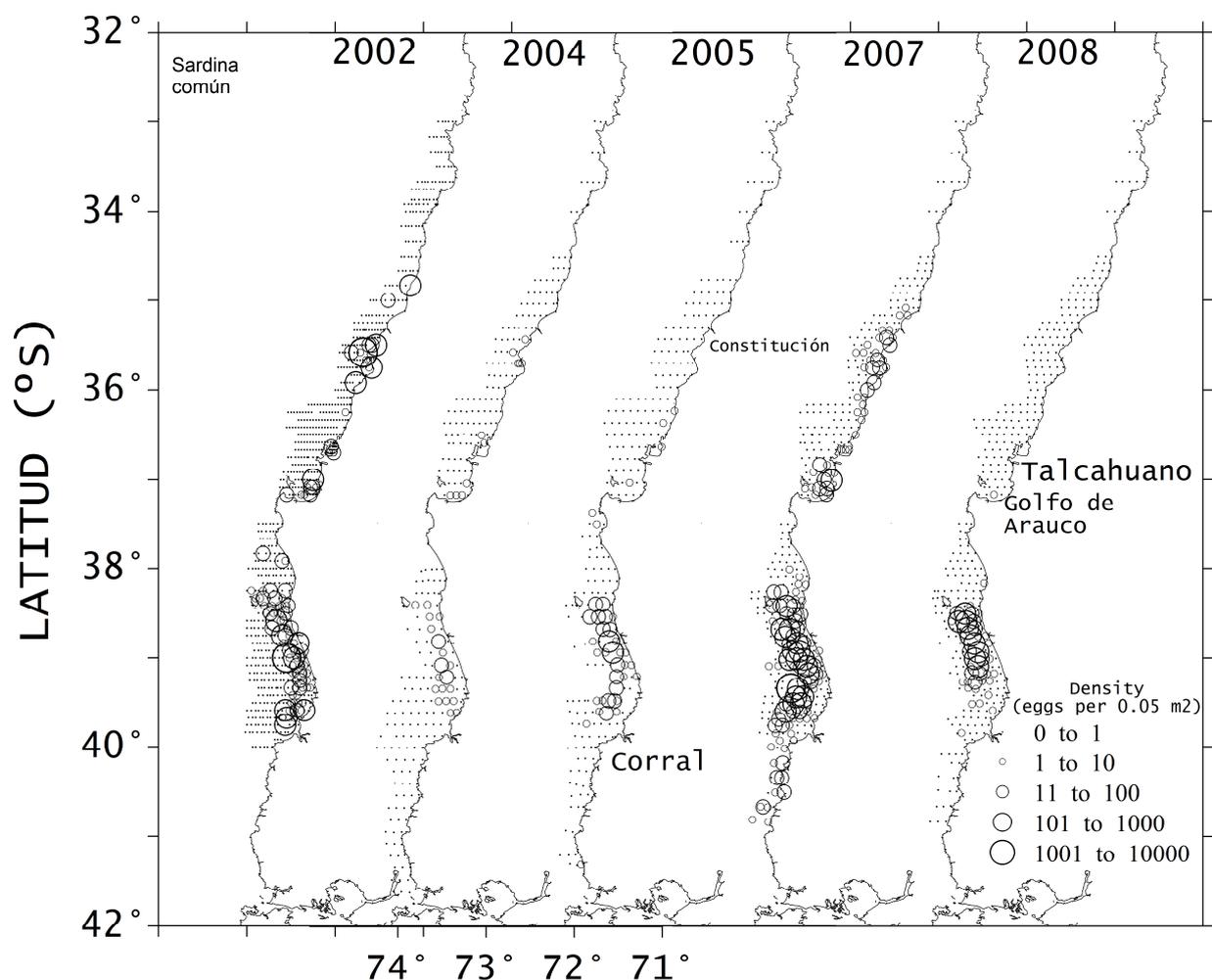


Figura 43. Distribución de la abundancia huevos de sardina común (huevos por 0,05 m²) en la zona centro-sur de Chile.

La producción diaria de huevos (P_0), estimada según dos procedimientos de datación (Lo y multinomial), revela las mismas tendencias en el caso de la anchoveta. Esto es, una disminución de la producción diaria en el sector centro desde el año 2005 y una tendencia alcista en la producción de huevos en el sector sur, la que se interrumpe en el 2008 (**Figura 44**). En la sardina común, se observa un recuperación en el 2007 respecto del 2004 y 2005 en la zona centro, como también en el sector sur; y vuelve a declinar el 2008 (**Figura 45**).

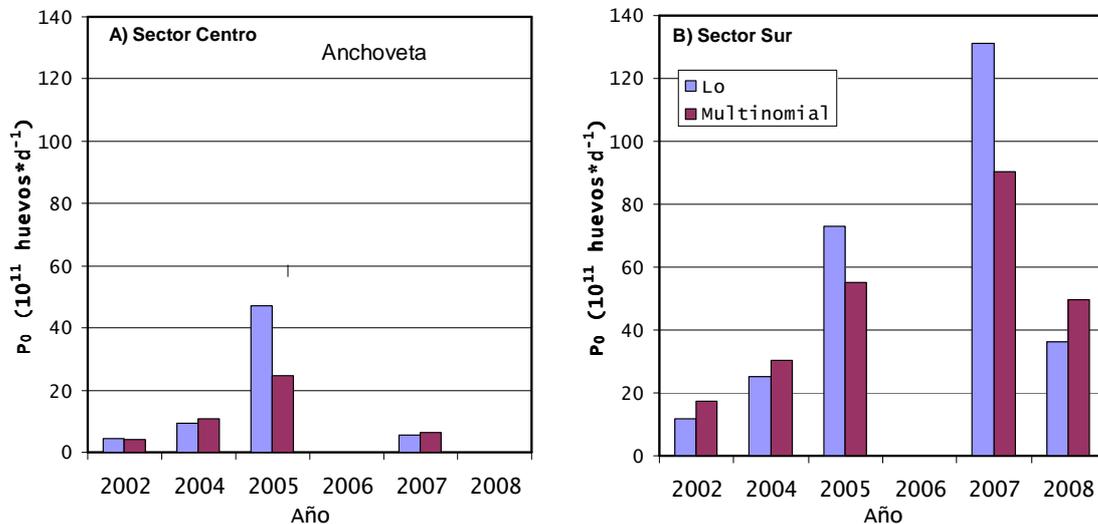


Figura 44. Comparación de la producción diaria de huevos en el área de estudio, según dos métodos de estimación para la anchoqueta entre 2002 y 2008.

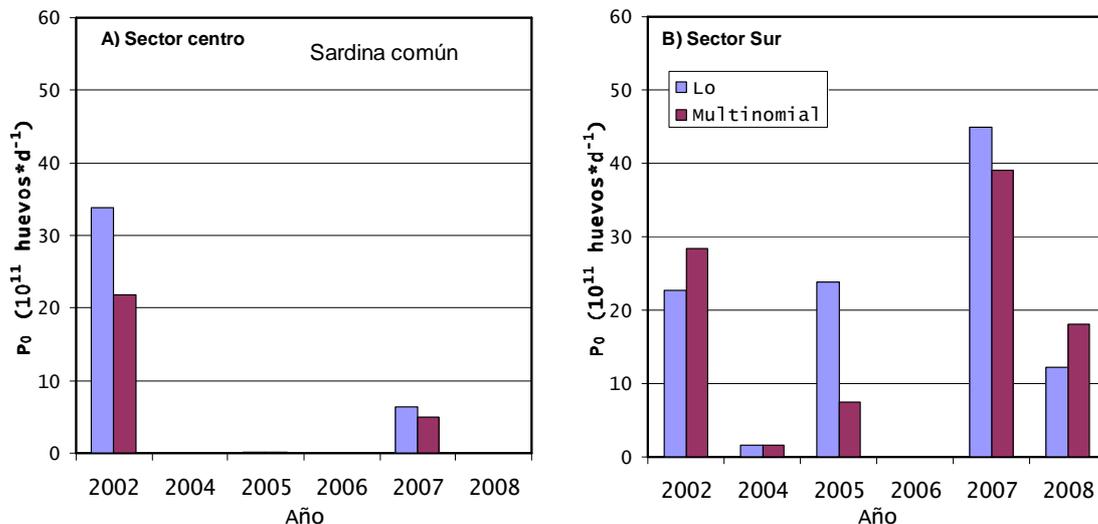


Figura 45. Comparación de la producción diaria de huevos en el área de estudio, según tres métodos de estimación para la sardina común entre 2002 y 2008.

Al considerar la evaluación de la biomasa del stock desovante de anchoqueta y sardina común, en la **Figura 46** se compara la serie histórica que cubre cinco cruceros. En estas estimaciones se ha descartado la zona norte, que siempre ha sido de carácter exploratorio, y también la zona al sur de los 40°S. Estos criterios han permitido estandarizar la evaluación de la biomasa desovante, y compararla en el tiempo. Se

observa que la mayor biomasa desovante de sardina común fue estimada en el 2002, la más baja en el 2004, y un incremento desde el 2005 al 2007, para estabilizarse en niveles similares el 2008. En el caso de la anchoveta, se observó un incremento desde el 2002 al 2005, una disminución en el 2007 y un incremento en el 2008 respecto del año anterior.

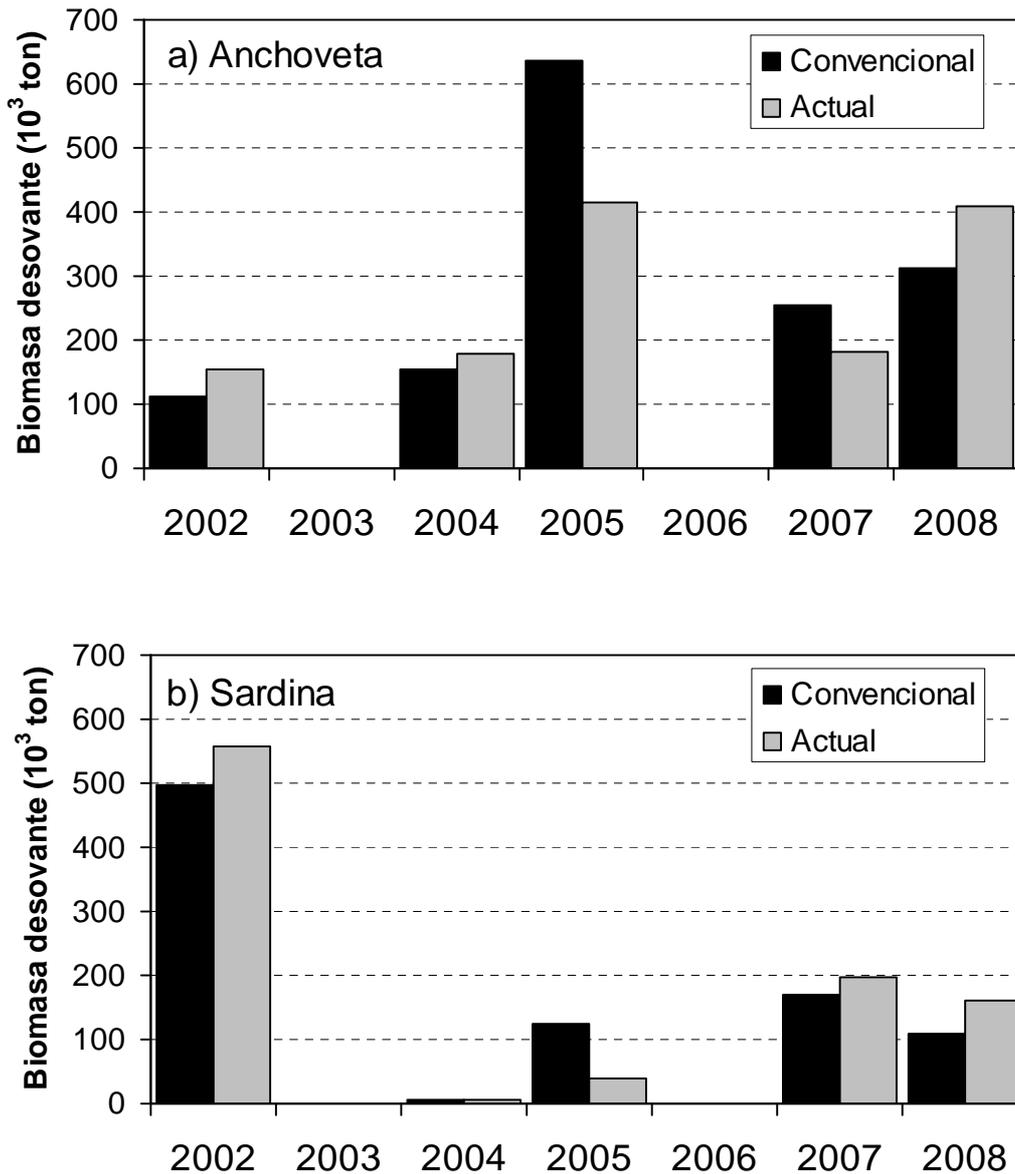


Figura 46. Comparación del stock desovante de anchoveta y sardina común mediante el MPDH, según dos métodos de datación de huevos: convencional (procedimiento de Lo) y actual (procedimiento multinomial).

9 Análisis de los resultados

La estructura de tamaños en las capturas de ambos recursos demuestra que en el 2008 estuvieron sustentadas por la fracción más pequeña de la población, específicamente en la sardina común que presentó tamaños promedio que fluctuaron entre 8,1 y 12 cm en la Región del Bío-Bío, y con 95% de los ejemplares capturados tenían un tamaño inferior a la talla de primera madurez sexual de 11 cm. En cambio, en la Región de Los Ríos, la estructura de tamaños de sardina común se caracterizó por la presencia de dos longitudes modales. El dominio de la fracción juvenil podría explicarse por la concomitancia de un buen reclutamiento y a la vez una fuerte extracción sobre la fracción adulta en el 2007. En efecto, durante el 2007, los tamaños promedios de sardina fluctuaron entre 10,4 y 13,3 cm en la Región del Bío-Bío y entre 12,1 y 14,1 cm en la Región de los Lagos (**Tabla 25**).

Tabla 25. Resumen de distribución de frecuencias de tamaño durante el monitoreo reproductivo en la zona centro y sur, VIII y XIV Regiones (LT se refiere a la longitud total), año 2007.

a) Sardina Común

VIII Región											
LT (cm)	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio	13,3	12,6	12,9	11,7	10,4	12,4	13,3	13,6	13,9	11,5	11,8
Moda	10,0	10,0	10,5	10,0	9,0	9,0	12,0	13,0	13,0	6,5	5,0
LT min	5,5	5,5	6,5	7,0	7,0	8,0	6,5	6,5	5,5	5,0	4,5
Lt max	17,0	16,5	18,0	16,0	14,5	17,5	17,4	17,0	17,0	16,5	16,5
n	90	1183	238	478	554	437	455	1272	1691	601	350

b) Anchoqueta

VIII Región											
LT (cm)	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio	15,9	15,6	15,2	14,9	13,5	13,2	13,5	14,4	14,0	13,9	
Moda	16,0	13,0	13,5	13,5	11,0	11,0	12,0	12,5	14,0	14,0	
LT min	7,0	7,0	6,5	6,5	6,5	6,5	8,0	8,0	9,0	10,0	
Lt max	19,0	19,0	18,5	18,5	18,5	18,5	17,5	18,0	18,0	17,5	
n	562	981	627	1000	1115	580	393	1390	1761	964	

a) Sardina Común

X Región											
LT (cm)	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio	12,8	13,1	12,3	14,1	12,8	12,4	12,1	13,2	12,9	13,8	13,5
Moda	12,0	12,0	13,5	13,0	12,5	12,5	13,5	14,5	14,0	14,5	14,0
LT min	8,5	7,0	8,5	9,0	9,5	8,5	10,5	11,0	10,5	11,5	12,0
Lt max	16,0	16,5	17,5	18,5	15,0	15,5	16,0	17,5	17,5	16,5	16,0
n	84	367	31	197	100	149	185	50	227	197	480

b) Anchoqueta

VIII Región											
LT (cm)	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio	13,2	14,5	13,5	15,2	15,6	15,0	15,1	16,2	15,7	13,9	14,3
Moda	12,0	14,5	13,0	15,5	15,0	13,0	16,0	16,0	16,0	15,5	14,0
LT min	9,5	8,5	9,5	10,5	9,5	9,0	12,0	11,5	12,0	11,0	12,0
Lt max	17,5	18,5	18,5	18,5	19,0	18,0	18,5	19,0	19,0	19,0	17,0
n	155	317	34	50	191	250	45	218	120	50	127

Desde el punto de vista de la dinámica del índice gonadosomático (IGS), sólo en agosto se observó un incremento leve en ambas especies en ambas regiones por sobre el umbral de $IGS = 4$, razón por la cual se inició el crucero de huevos y adultos en la zona centro y sur. Posteriormente se verificó que se incrementó en septiembre, aunque con una muestra pequeña. Se puede señalar que el IGS se incrementó desde fines de agosto y en las hembras de mayor tamaño, y es altamente factible que dicho comportamiento esté alterado por la estructura de tamaños en la sardina común. Los indicadores microscópicos básicamente no son de ayuda en tiempo real, y solamente se utilizan para confirmar la decisión adoptada. Sin embargo, las muestras obtenidas entre agosto y septiembre (tanto en la zona centro como sur del área de estudio) corresponde a ejemplares virginales e inmaduros.

El crucero de adultos no fue exitoso en la zona centro, ya que hubo una muy baja disponibilidad y accesibilidad de ambos recursos. Según la experiencia de los pescadores, el recurso estuvo presente en zonas protegidas al interior de la primera milla náutica. No obstante, el cambio de redes para operar en dicha zona no arrojó resultados satisfactorios para completar el número de lances mínimos requeridos. En la zona sur, en cambio, se pudo completar los lances de pesca de sardina común los cuales confirmaron la dominancia de ejemplares juveniles en la población (9,9 cm y 93,2% bajo la talla de madurez sexual). Similar fue el caso de la anchoveta, el cual presentó una muy baja disponibilidad durante el crucero. En consecuencia, la baja disponibilidad de ambas especies en la zona centro impuso una limitación importante para estimar los parámetros reproductivos, y de aquí la evaluación del stock desovante. No obstante, la mayor producción diaria de huevos -y por ende la mayor biomasa desovante- se encontró en la zona sur. En este contexto, la evaluación del stock desovante de ambas especies se sustenta en el área de desove de la zona sur, entre el sur de la Isla Mocha y los $39^{\circ}20'S$.

En la zona centro, el desove no se observó a pesar de las pocas estaciones positivas. Confirmó esto la ausencia de pesca, a pesar de la amplia búsqueda de zonas de pesca que se realizó. 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. Esto se verifica en los resultados de los modelos GAM. No obstante, se considera que el desove es esencialmente costero y consistente interanualmente en la zona sur (ver Castro *et al.* 1997, Castillo *et al.* 2002a, 2002b, 2003, 2004, Cubillos *et al.* 2003, Bernal *et al.* 2004). En la zona centro en cambio, se observa una tendencia a la baja en la presencia y abundancia de huevos de ambas especies, la que es interrumpida solamente en el 2007.

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 (Castillo-Jordán *et al.* 2007), tal y como se confirma con los resultados de los modelos GAM.

El crucero 2008, tanto de huevos como de adultos, se desarrolló bajo condiciones meteorológicas cambiantes que se caracterizan por la intensificación de vientos del sur y suroeste que promueven eventos de surgencia moderados. En efecto, el índice de surgencia mostró un incremento a partir del mes de septiembre, con una duración promedio de nueve días y tres días de relajación. El hábitat de desove se caracterizó por la presencia de aguas más frías al sur de los 37°00'S en agosto, a su vez la clorofila presentó valores bajos en toda el área de estudio, con máximos relativos en la banda muy cercana a la costa. En septiembre y octubre, la surgencia comenzó a ser más intensa, con un incremento de la temperatura. Por su parte la clorofila muestra un fuerte incremento en sus valores y su cobertura espacial por el sur, llegando a cubrir toda la zona costera (aprox. 30 millas náuticas desde la costa) del área de estudio al final del periodo. El campo de velocidades advectivas, y transporte, mostró que durante agosto de 2008 las corrientes advectivas presentaron dirección nor-este al norte de 37°S, con un transporte este-oeste principalmente hacia la costa. En septiembre, hubo una mayor variabilidad en las corrientes advectivas con dirección hacia la costa entre los 38° y 39°S, y corrientes fuera de la costa entre los 35°30'S y 37°30'S. Estas características ambientales podrían explicar la ausencia de desove en la zona central en septiembre de 2008, y la retención/concentración en la zona sur.

En la zona centro, no fue posible estimar la producción diaria de huevos debido a la baja abundancia, tanto en anchoveta como en sardina común. En la zona sur se observó un incremento exponencial en la producción diaria de huevos de anchoveta desde el 2002 al 2007, con una disminución importante en el 2008. En la sardina común, en el 2008 se observó una producción diaria de huevos disminuida respecto de la registrada en el 2007. Los resultados confirman que la zona sur representa el área de desove más importante de anchoveta y sardina común, y se podría clasificar como un sitio de desove recurrente. El sector centro, en cambio, puede ser un sitio de desove ocasional que puede ser importante en algunos años, en particular cuando los juveniles que se desarrollan en la región pueden contribuir al desove al alcanzar la primera madurez sexual al término del primer año; esto es, a los 11 cm en la sardina común y a los 12 cm en la anchoveta.

Dentro de los parámetros reproductivos, la fecundidad media poblacional de las hembras maduras fue estimada con un modelo que representa una condición promedio del periodo 2002-2007. Si bien es un procedimiento que puede ser utilizado en la ausencia de datos, es necesario realizar un estudio que permita analizar los cambios interanuales en la fecundidad parcial de estas especies. Asimismo, si bien es cierto se pudo determinar el sexo a una gran cantidad de individuos (con la ayuda de una lupa estereoscópica), es factible que el error de observación pueda producir algún sesgo que en estos momentos no es factible cuantificar. Por esta razón se prefirió utilizar una razón de 1:1 para la proporción sexual, supuesto que parece ser mejor que los datos que contenían una fracción importante de ejemplares indeterminados y que deben ser descartados.

En el caso de la fracción diaria de hembras desovantes, por primera vez se estimó en forma muy imprecisa. Esto fue así debido a la estructura del stock y la baja incidencia de ejemplares activos. Debido al bajo número de lances, no se pudo construir la distribución horaria de los estadios ováricos y FPO. En *Engraulis ringens* de la zona norte de Chile, se pudo identificar dos cohortes diarias de desove a partir de la degeneración de las estructuras de los folículos postovulatorio (FPO) en el tiempo, asumiendo que el máximo desove ocurre a las 23:00 horas, es así que los primeros cuatro estadios de FPO inciden dentro las primeras 24 horas después del desove, mientras que los estadios FPO V al VII corresponderían al segundo día después del desove, sin embargo, estos últimos cuatro estadios de FPO todavía se desconoce su duración exacta (Claramunt *et al.* 2007a). Por lo tanto, para comprender el proceso degenerativo en el tiempo es necesario contar con una colección de muestras que comprendan un ciclo diario completo, lo cual no se cumple en el stock de la zona centro-sur de Chile ya que estas provienen principalmente de capturas de pesca artesanal, lo que restringe la disponibilidad de muestra solo a las horas que operan dichas embarcaciones, siendo altamente recomendable complementar nuestros resultados con una mayor frecuencia de muestreos nocturnos (Claramunt *et al.* 2007a). Es por esto que en el presente estudio, la estimación de la fracción diaria de hembras desovantes se realizó en base a los primeros cuatro estadios de FPO, de acuerdo a los criterios utilizados en la zona norte de Chile. Debido al bajo número de lances no fue posible hacer estimaciones por zonas, por lo que para el área total resultan una la fracción desovante fue de 0,060 con un coeficiente de variación de 90%. Es necesario resaltar el alto grado de prevalencia de atresia (Alfa, Beta y Gama) en las hembras, llegando a un 23,7%, que se da en todo el rango de tallas (**Figura 47**). La alta proporción de ejemplares inmaduros durante el año 2008 unido a un alto porcentaje de ejemplares en atresia, podría haber afectado el desarrollo de la estación reproductiva, o bien que algún factor ambiental haya alterado el proceso reproductivo.

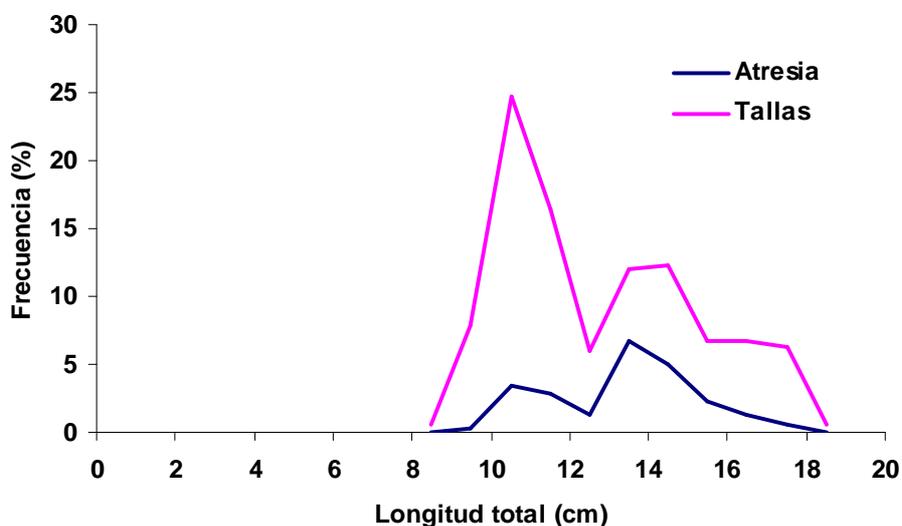


Figura 47. Frecuencia de tallas y de atresia (%) en hembras de anchoveta, 2008.

La presencia de hembras inmaduras con gran cantidad e atresias, indica el culmine de la época reproductiva (Hunter & Macewicz, 1985). En otras palabras, estas características indican que las hembras se encuentran en condición post-reproductiva (postbreeding) porque son incapaces de desovar nuevamente dentro de la estación, y son identificadas por la presencia de atresia β en ovarios con ovocitos no vitelados y sin FPO (Macewicz *et al.*, 1996; Lo *et al.*, 2005). En la sardina común, las hembras se encontraban sexualmente activas con relativamente bajo índice de atresias (3,7% de las hembras).

La evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común se realizó según dos métodos de datación de huevos: a) el método convencional, según el modelo de Lo (1985); y b) el método multinomial (Bernal *et al.* 2008). A su vez, se modeló la expresión espacial de la producción diaria de huevos con GAM, observándose la potencialidad de la técnica en el sentido de llevar las estimaciones a la componente espacial. De los métodos de datación, el nuevo modelo basado en la asignación de edad basada en la probabilidad de observar un estadio en el mar a una hora dada después del desove resultó en los estimados con mayor precisión, situación similar a la encontrada el 2007.

10 CONCLUSIONES

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

- El área de desove realizado de sardina común y anchoveta ocurrió en la zona sur, entre el sur de la isla Mocha y 39°30'S. El stock desovante estuvo ausente en la zona centro, comprendida entre 34°30'S y el Golfo de Arauco (37°10'S).
- La producción diaria de huevos fue estimada en 349,2 huevos/m²/día para la anchoveta (CV = 46,8 %) y 135,5 huevos/m²/día para la sardina común (CV = 95%).
- La fracción diaria de hembras desovantes se estimó utilizando la hembras con folículos postovulatorios de día 1, fluctuando entre 0,06 (CV = 89,8%) y 0,05 (CV = 57,1%) para anchoveta y sardina común, respectivamente.
- La fecundidad media poblacional fue estimada en 5559 ovocitos (CV = 9,9%) en la anchoveta, y en 5587 ovocitos (CV = 10,2%) en la sardina común.
- El peso promedio de las hembras maduras fue estimado en 14,4 g en anchoveta, y en 11,8 g en la sardina común.
- El área de desove fue más extensa en la anchoveta, con 6800 km² en la zona sur. En la sardina común, el área de desove fue de 4255 km² en la zona sur.
- La biomasa desovante de anchoveta fue evaluada en 410.525 t, y la de sardina común en 161.468 t.

11 REFERENCIAS

- Alday, A., Uriarte, A., Santos, M., Martín, I., Martínez de Murguía, A., Motos, L. 2008.** Degeneration of postovulatory follicles of the Bay of Biscay anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.). *Scientia Marina* 72(3), 565-575.
- 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.
- Arcos, D.F., Navarro, N., 1986.** Análisis de un índice de surgencia para la zona de Talcahuano, Chile (Lat. 37° S). *Invest. Pesq. (Chile)*, 33:91-98.
- 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.
- Bernal M, Ibaibarriaga L, Lago de Lanzós A, Lonergan ME, Hernández C, Franco C, Rasines I, Valdés L, Borchers DL (2008)** Using multinomial models to analyse data from Iberian sardine egg incubation experiments: a comparison with traditional techniques. *ICES Journal of Marine Science* 65: 51-59
- 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.
- 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.
- Castillo, 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.
- Castillo-Jordán, C., Cubillos, L.A., Paramo, J. 2007.** The spawning spatial structure of two co-occurring small pelagic fish off central southern Chile in 2005. *Aquatic Living Resources* 20, 77-84.
- Castro, L., R.Roa, D.Figueroa, H.Arancibia, M. Sobarzo, R.Quiñones & M Retamal. 1997.** Áreas de desove de anchoveta y sardina común. 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.
- 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.
- 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., Cubillos, L., Braun, M., Serra, R., Canales, M., Sánchez, J., Flores, A., Moreno, P., Riquelme, K., Castillo, C., Valero, C. 2007a.** Mejoramiento del método de producción de huevos aplicado a pelágicos pequeños en Chile. *Informes Técnicos FIP – IT/2006-38*, 214 p.
- Claramunt G, Serra R, Castro LR, Cubillos L (2007b)** Is the spawning frequency dependent on female size? Empirical evidence in *Sardinops sagax* and *Engraulis ringens* off northern Chile. *Fisheries Research* 85: 248-257
- Cochran, W.G. 1980.** Técnicas de muestreo. Compañía Editorial Continental S.A. de C.V. México.
- 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., 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., 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.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.
- 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. 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., 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., Castro, L., Claramunt, G., Oyarzún, C. 2006.** Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2005. Informe Final FIP 2005-02.
- Cubillos, L.A., Ruiz, P., Claramunt, G., Gacitúa, S., Núñez, S., Castro, L.R., Riquelme, K., Alarcón, C., Oyarzún, C., y Sepúlveda, A., 2007.** Spawning, daily egg production, and spawning stock biomass estimation for common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) off central southern Chile in 2002. Fisheries Research 86: 228-240.
- 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.
- Emery, W. J., A. C. Thomas, M. J. Collins, W. R. Crawford & D. L. Mackas, 1986,** An Objective Method for Computing Advective Surface Velocities from Sequential Infrared Satellite Images, Journal of Geophysical Research., 91, C11, 12,865-12,878, Nov.15.
- Fitzhugh, G.R., Hettler, W.F., 1995.** Temperature influence on postovulatory follicle degeneration in Atlantic menhaden, *Brevoortia tyrannus*. Fish. Bull. 93, 568-572.
- Ganias, K., Somarakis, S., Machias, A., Theodorou, A.J., 2003.** Evaluation of spawning frequency in a Mediterranean sardine population (*Sardina pilchardus sardina*). Mar. Biol. 142, 1169-1179.
- Ganias, K. 2008.** Ephemeral spawning aggregations in the Mediterranean sardine, *Sardina pilchardus*: a comparison with other multiple-spawning clupeoids. Mar Biol (2008) 155:293–301

- 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.
- Hornik, 2002.** The R FAQ, <http://www.gnu.org/copyleft/gpl.html>
- 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. 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.
- Hunter, J. R. y 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., 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., 1993.** Ichthyoplankton methods for estimating fish biomass introduction and terminology. *Bulletin of Marine Science* 53, 723-727.
- Hunter, J., Lo, N.C.-H. 1997.** The daily egg production method of biomass estimation: some problems and potential improvements. *Oceanografika* 2, 41-69.
- Ihaka, R, and Gentleman, R. 1996.** R: a language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphics Statistics*, 5(3):299-314.
- 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.
- 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 NCH, Macewicz BJ, Griffith DA (2005)** Spawning biomass of Pacific sardine (*Sardinops sagax*), from 1994-2004 off California. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports* 46: 93-112
- 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.

- Macewicz BJ, Castro-González JJ, Cotero-Altamirano CE, Hunter JR (1996)** Adult reproductive parameters of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) during 1994. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports 37: 140-151
- Marcotte, D. 1991.** Cokrigage with MATLAB. Computers & Geosciences. 17(9): 1265-1280.
- 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.
- Navarro, E., Schneider, W. and Letelier, J. 2004.** Estimation of onshore-offshore transport off central Chile by means of Maximum Cross-Correlation using satellite derived SST. Gayana : 68 (2): 427-431.
- Navarro, Eduardo, Schneider, Wolfgang y Letelier, Jaime. 2006.** Estimación de transporte costa-océano frente a Chile centro-sur por medio del Método de Máxima Correlación Cruzada Sobre Imágenes SST. XVII Congreso de Ciencias del Mar. Iquique, Chile.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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., 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.

- 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. Informes Técnicos FIP – IT/97-04, 199 p.
- Smith, P. E.; W. Flerx and R. P. Hewitt. 1985.** The CalCOFI vertical egg tow (CalVET) net. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. 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.
- 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.
- 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.
- Tarifeño E, Carmona M, Llanos-Rivera A, Castro LR (2008)** Temperature effects on the anchoveta *Engraulis ringens* egg development: do latitudinal differences occur? Environmental Biology of Fishes 81: 387-395
- Venables, W.N., Ripley, B.D., 2002.** Modern Applied Statistics with S, 4th ed. Springer-Verlag, New York.
- 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

El Taller de Discusión de Resultados del Proyecto FIP 2008-09, se realizó el día 25 de marzo de 2009 en la Sala Minera Escondida del Edificio El Biólogo Marino, Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción. El Taller tuvo por objetivo presentar y discutir la aplicación del método de producción diaria de huevos en anchoveta y sardina común, según los resultados obtenidos durante la máxima actividad reproductiva del 2008.

Programa de Trabajo

El Taller se desarrolló sobre la base de una presentación única, a saber:

9:30 – 10:30 hrs: Evaluación del Stock Desovante de Anchoveta y Sardina común en la zona centro-sur de Chile, año 2008. Presentada por Luis Cubillos, Jefe de Proyecto.

10:45 – 11:30 hrs: Discusión

Recomendaciones del Taller

a) Sobre la situación del recurso:

Se discutió sobre la situación de ambos recursos, y en particular la situación de sardina común. Se establece que el B/I Abate Molina evaluó acústicamente una biomasa de sardina común cercana a los 4 millones de toneladas en enero de 2008, de las cuales cerca de 2 millones de toneladas representaba la fracción adulta en el sector sur. Si las capturas fueron cercanas a 700 mil ton, ¿cómo se explica la reducción tan drástica de la biomasa desovante? Así como la ausencia del stock desovante de la zona centro.

Se argumentó que dentro del año ocurren cambios espaciales importantes en la disponibilidad de ambos recursos, que puede afectar la vulnerabilidad a la pesca. Si se considera que la principal área de desove, recurrente y persistente, se localiza en la zona sur, y se acepta la hipótesis de que los peces adultos migran a la misma zona para desovar (“Homing Behavior”), entonces es factible que el stock adulto se haya refugiado en el sur, frente a las costas de la IX Región.

Por otra parte, en el crucero de evaluación acústica de enero de 2009, se evaluó una biomasa adulta cercana a las 264 mil toneladas de sardina común, y aproximadamente 42 mil toneladas de anchoveta entre la IX y XIV Regiones. En el caso de la sardina común, dicha evaluación es bastante consistente con la magnitud del stock desovante. Se destaca que el método acústico calcula la biomasa adulta como la fracción mayor a la talla media de primera madurez, mientras que el MPDH evalúa la biomasa que estaba desovando por día.

Para conocer la situación del recurso es necesario integrar las evaluaciones acústicas y la biomasa desovante en un modelo de dinámica que permita evaluar el estado de situación del recurso.

b) Sobre la estimación de la producción de huevos:

La biomasa desovante del 2008 se sustentó en la producción diaria de huevos de la zona sur. ¿Cómo se integra el área de desove de la zona centro?

El diseño de crucero está orientado a la evaluación independiente de cada estrato geográfico contemplado. La obtención de P_0 se estima para cada región con absoluta independencia. Según la estratificación contemplada (zona centro y sur), el estimado total y su varianza se deben considerar independientes, y por lo tanto la biomasa se debe estimar por separado para cada región, y después sumar la contribución de cada zona. En el caso de 2008, la biomasa desovante se sustentó en la producción de huevos del sector sur ya que en el sector centro estuvo ausente, lo que implica que $P_0 = 0$, y la varianza de este estimado también es igual a cero.

c) Sobre las condiciones ambientales

Se consultó sobre las condiciones ambientales en el área de desove, en el sentido de cambios anómalos que podrían haber determinado la ausencia del stock desovante en la zona centro como también la alteración en la estructura demográfica del stock que se caracterizó por la alta presencia de juveniles e inmaduros. Si bien el estudio registra las condiciones oceanográficas y meteorológicas antes, durante, y después del crucero, a la fecha no se ha realizado un estudio con valor predictivo que permita establecer si los cambios de abundancia o distribución se deben ya sea al efecto del viento, la tsm, o la pluviosidad, o cualquier otra variable ambiental.

Participantes

- Sandra Cahuin, UdeC
- Marcia Neira, INPESCA
- Evelin Sanhueza, IINPESCA
- Lorena Rozas, UdeC
- Germán Vásquez, UdeC
- Milton Pedraza, UdeC
- Claudio Gatica, Inpesca
- Claudio Castillo, UdeC
- Samuel Soto, UdeC
- Jorge Torres H., Sernapesca
- María Inés Muñoz, UdeC
- María José Zuñiga, UdeC
- Patricia Ruiz, INPESCA
- José Acevedo, Subsecretaría de Pesca
- Leonardo Castro, UdeC

- Carolina Alarcón Muñoz, UdeC
- Eduardo Navarro, UCSC
- Luis Cubillos, UdeC

PROYECTO DEL FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA - FIP N° 2008-09
 "EVALUACION DEL STOCK DESOVANTE DE ANCHOVETA
 Y SARDINA COMUN EN LA ZONA CENTRO SUR, AÑO 2008"

TALLER DE RESULTADOS

	NOMBRE	INSTITUCION
1	Carolina Alarcón U.	UDEC
2	Harcia Neira	Impesca
3	Evelin Sanhueza Aguilera	IMPESCA
4	Lorena Rojas Uddelmann	UDEC
5	Georgina Viquez	UDEC
6	Milton Pedraza	UDEC
7	Chadío Gótilo Jordán	EPOMAR / Univ. de Concepción
8	Samuel Soto	UDEC
9	JOSÉ TORRES HERRERA	SEANA PESCA TALCAHUANO
10	Maria Inés Muñoz L.	UdeC.
11	María José Zúñiga	UDEZ
12	Patricia Ruiz O.	Impesca.
13	José M. Acaredo V.	SSP.
14	Luis Cubillos	UdeC
15	Carolina Alarcón	UdeC.
16	EDUARDO NAVARRO	UCSC
17	Luis Cubillos	UDEC
18		
19		
20		
21		

13 Horas Hombre del equipo de trabajo

Nombre	HH
Luis Cubillos S.	280
Leonardo Castro C.	230
Ciro Oyarzún G.	230
Alejandra Llanos R.	166
Eduardo Navarro	180
Milton Pedraza G.	295
Claudio Castillo J.	295
Santiago Gacitúa	-
Gustavo Aedo	-
Christian Valero B.	285
Samuel Soto M.	490
María Muñoz L.	490
Raúl Lara L.	240
Claudia Suárez R.	240
Germán Vásquez	240
N.N.1	240
N.N.2	240
N.N.3	240
N.N.4	240
N.N.5	240
N.N.6	240
Gabriel Claramunt Q.	173
José Sánchez R.	100
Andrés Flores I.	185
Paola Moreno	185

14 Base de Datos

La base de datos que contiene toda la información básica que se obtuvo durante la ejecución del Proyecto FIP 2008-09 “Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur, año 2008”, se encuentra almacenada en:

FIP2008-09 CD-1: Disco compacto conteniendo la base de datos, según lo solicitado en las bases administrativas y especiales, con la siguiente estructura y descripción de los archivos:

RUTA	ARCH	DESCRIPCIO
Base de datos_FIP2008-09	EGGAN08.dbf	CRUCERO DE HUEVOS DE ANCHOVETA
	EGGSC08.dbf	CRUCERO DE HUEVOS DE SARDINA
	FECUNDO07.dbf	FECUNDIDAD PARCIAL
	HMADAN08.dbf	HEMBRAS MADURAS DE ANCHOVETA
	HMADSC08.dbf	HEMBRAS MADURAS DE SARDINA
	PSEXAN08.dbf	PROPORCION SEXUAL EN PESO ANCHOVETA
	PSEXSC08.dbf	PROPORCION SEXUAL EN PESO SARDINA
	Descriptor_ EGGAN08.xls	Descriptor de los campos
	Descriptor_ EGGSC08 .xls	Descriptor de los campos
	Descriptor_ HMADAN08.xls	Descriptor de los campos
	Descriptor_ HMADSC08.xls	Descriptor de los campos
	Descriptor_ PSEXAN08.xls	Descriptor de los campos
	Descriptor_ PSEXSC08.xls	Descriptor de los campos