



**INFORME
FINAL**

**Proyecto FIP
N° 2006-06**

**Evaluación del
stock
desovante de
anchoveta
en la I y II
Regiones,
año 2006**



**JULIO
2007**



INFORME FINAL

PROYECTO
FIP N° 2006-06

**Evaluación del stock
desovante de anchoveta
en la I y II Regiones,
año 2006**

• Julio, 2007 •



REQUIRENTE

FONDO DE INVESTIGACIÓN PESQUERA, FIP
Presidente del Consejo:
JORGE CHOCAIR SANTIBAÑEZ

EJECUTOR

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP

Jefe División Investigación Pesquera:
MAURICIO BRAUN ALEGRÍA

Director Ejecutivo (I):
MAURICIO BRAUN ALEGRÍA



JEFE DE PROYECTO

MAURICIO BRAUN ALEGRÍA

AUTORES

MAURICIO BRAUN A.
GABRIEL CLARAMUNT Q.
VIVIAN VALENZUELA C.
HERNÁN REYES R.
MILENA PIZARRO R.
JUAN SAAVEDRA N.
PAOLA MORENO
CARLOS GASPAR



I. RESUMEN EJECUTIVO

Se informa la totalidad de las actividades realizadas en el marco del proyecto FIP 2006-06 “Evaluación del stock desovante de anchoveta en la I y II regiones, año 2006”, para dar cumplimiento a los objetivos planteados en los términos básicos de referencia. Este proyecto fue licitado al Instituto de Fomento Pesquero por el Consejo de Investigación Pesquera para el año 2006 en la zona norte de Chile, como parte de las necesidades de investigación y la posterior adopción de medidas de administración de las pesquerías, cuyo principal objetivo es la conservación de los recursos hidrobiológicos, considerando tanto aspectos biológicos, pesqueros, económicos y sociales. Es así, que para el año 2006, se requirió desarrollar una línea de investigación orientada a cuantificar mediante la aplicación del Método de Producción de Huevos, la biomasa desovante de anchoveta entre Arica ($18^{\circ}25'S$) y Carrizalillo ($26^{\circ}03'S$).

Para desarrollar el plan de actividades, se comenzó con planificar la fecha de inicio del crucero para la recolección de muestras de huevos y de adultos de anchoveta, el que se efectuó durante la época de máxima actividad reproductiva, lo que se determinó mediante el monitoreo de la actividad de desove de la especie, recolectando muestras de la captura comercial efectuada en los puertos de la I y II regiones durante el año 2006 y que se enmarcan dentro del Proyecto: “Investigación Situación Pesquería Pelágica Zona Norte, año 2006”. Estas muestras de ovarios fueron analizadas mediante técnicas macroscópicas (variaciones del índice gonadosomático - **IGS**) y microscópicas (índice de actividad de desove - **IAD**, e Índice de atresia ovárica - **IAO**).

El seguimiento del **IGS** desde enero hasta diciembre de 2006, se realizó mediante el análisis de 13.291 hembras, cifra 43% menor respecto a lo medido



en el año 2005 en igual fecha. Durante el mes de febrero el **IGS**, indicó un descenso de la actividad reproductiva de la anchoveta, mes donde se registró un valor porcentual del **IGS** de un 4,6%, llegando a cifras mínimas en otoño durante los meses de marzo (3,8%) y abril (3,7%). A partir del mes de mayo, el **IGS** exhibió un leve repunte (4,5%), en junio se observó claramente la reactivación de la actividad reproductiva, con un **IGS** igual a 5,2%, actividad que se intensificó a finales de julio, con desoves importantes en agosto y septiembre, meses donde el **IGS** presentó sus máximos 7,4% y 6,7%, respectivamente. Posteriormente, en octubre la actividad reproductiva de la especie comenzó gradualmente a disminuir (**IGS** = 6,4%), manteniéndose durante noviembre y diciembre en un **IGS** igual a 6,0%.

De acuerdo a esta información, se definió la fecha de inicio del crucero, el que tomó lugar para el módulo huevos a bordo del PAM "Eperva 64" perteneciente a la Empresa Pesquera Corpesca S.A., operando entre el 14 de agosto y el 07 de septiembre de 2006, abarcando la zona comprendida entre Arica (18°25'S) y Carrizalillo (26°03'S), desde la costa hasta una distancia máxima de 80 mn, realizando un total de 47 transectas perpendiculares a la costa, equidistantes entre sí cada 10 millas.

Para la recolección de los adultos el crucero se realizó a bordo de los barcos cerqueros industriales Tornado, Audaz, Relámpago y Claudia Alejandra, perteneciendo los tres primeros a Corpesca y el último a la Compañía Pesquera Camanchaca S. A. Participó además en la recolección de adultos la embarcación artesanal Petrohué II, la que cubrió la zona comprendida dentro de las primeras 5 mn de la primera región. A cada embarcación cerquera se le asignó una determinada zona de operación, la que se extendió desde las 5 mn hasta una distancia máxima de 80 mn de la costa.



Las embarcaciones cerqueras operaron entre el 21 de agosto y el 08 de septiembre de 2006, ambas fechas inclusive, efectuando un total de 115 lances de pesca, de los cuales 42 fueron positivos, capturando ejemplares de anchoveta.

Las embarcaciones pesqueras participantes en esta pesca de investigación fueron asignadas previo sorteo ante notario, de acuerdo a una nómina de armadores inscritos con antelación.

Durante la ejecución del crucero, se registró información referente a la distribución y abundancia de huevos de anchoveta, las condiciones oceanográficas asociadas al crucero de huevos, la estimación de la proporción sexual en peso y el peso promedio de las hembras maduras de esta especie, la producción diaria de huevos, la proporción de estadios de madurez sexual microscópicos, fracción diaria de hembras desovantes, fecundidad parcial, fecundidad media poblacional, biomasa del stock desovante y finalmente se concluye con la realización de un análisis asociado entre la distribución espacial de huevos de anchoveta y las variables oceanográficas, empleando además para ello información de proyectos anteriores. A continuación se sintetiza cada una de estas actividades:

En el módulo de huevos, el total de estaciones zooplanctónicas recolectadas mediante la red CalVET fue de 799, número que corresponde a la totalidad de las estaciones programadas, de las que se obtuvieron 223 registros positivos, con un total de 11.812 huevos/ 0,05 m², valor que representa una disminución de un 31% con respecto a lo registrado en igual período del año 2005. La media de huevos por estación positiva en invierno de 2006 alcanzó a 53 ejemplares, con una desviación estándar de 202,2, lo que refleja una menor dispersión a diferencia del año anterior.



Especialmente los huevos de anchoveta estuvieron distribuidos entre Arica y Tal-Tal y desde la primera hasta las 80 mn. El mayor número de estaciones positivas se presentó entre Arica y el norte de Tocopilla, observándose desde esta última localidad hasta Tal – Tal, focos más aislados y menos frecuentes.

Los mayores centros de desove se verificaron frente a punta Chucumata (20°30'S), punta Patache (20°50'S), punta Yeves (22°50'S), punta Chacaya (23°00'S) y bahía Nuestra Señora (25°10'S), focos que albergaron un promedio comprendido entre 100 y 431 huevos/0,05 m². Con respecto a la distancia de la costa, la mayor abundancia promedio de huevos de anchoveta, se detectó en la línea de estaciones de 1 mn y secundariamente en la de 30 mn.

La información oceanográfica indicó valores de anomalía negativos y significativos en salinidad superficial que se registraron en el sector oceánico frente a Tocopilla, los que se originaron debido al efecto combinado de mezcla superficial y transporte de agua de surgencia desde la costa, proveniente de la península de Mejillones. La intensidad de esta surgencia es consistente por la distribución vertical de temperatura y salinidad. Las anomalías de salinidad significativas frente a punta Tres Picos, corresponden a condiciones de transporte de aguas de surgencia de baja salinidad desde la costa hacia el sector oceánico. Por lo tanto, las condiciones de salinidad bajo el promedio histórico se consideran normales debido a que son producidas por procesos locales.

En la vertical, se observaron núcleos de anomalías de salinidad y temperatura, no significativas, centrados en profundidades promedio de 50 a 75 m. Cabe señalar que esta capa de agua, es la que presenta la mayor variabilidad vertical. No obstante lo anterior, se observó un núcleo de anomalías positivas y significativas entre los 50 y 100 m de profundidad en el sector oceánico frente a bahía Moreno.



Este núcleo se asoció a la presencia disminuida de agua Subantártica y al ascenso de un núcleo de agua Ecuatorial Subsuperficial.

Las condiciones oceanográficas superficiales observadas durante el crucero, señalan que la zona norte se encuentra bajo condiciones de temperatura superficial del mar, consideradas dentro de los rangos normales.

La clorofila-*a* presentó concentraciones categorizadas de moderadas a altas, muy cercanas a la costa en una franja discontinua de valores productivos ($> 1 \mu\text{g/L}$) a lo largo de la zona de estudio, los focos de concentraciones más importantes se localizaron en el sector comprendido entre punta Lobos y punta Copaca. Los feopigmentos, indicaron un buen estado fisiológico de las células fitoplanctónicas.

De los 42 lances de pesca efectivos realizados por las embarcaciones cerqueras, se midieron en total 5.204 anchovetas.

La proporción de hembras en peso para el total de lances analizados presentó un promedio de 0,45, una varianza igual a 0,00048 y un coeficiente de variación de 4,9%.

El peso promedio de las 35 primeras hembras maduras obtenidas en los 42 lances efectivos, fue de 22,4 gramos, con una varianza de 0,50 y un coeficiente de variación de 3,1%.

El recuento de huevos por estadio de desarrollo reveló mayor representatividad numérica del estadio III, donde a partir de este se produjo una paulatina disminución numérica de los demás estadios.



La producción diaria total de huevos en el área de desove se estimó en 30,81 huevos/0,05 m² y la tasa diaria de mortalidad instantánea de los huevos fue de 0,67 día.

En relación a la determinación de la frecuencia del desove (estimación de los estadios de madurez microscópicos), el porcentaje de hembras con folículos post-ovulatorios (FPO) de día 1 de edad varió de 0 a 57% y el de hembras con folículos post-ovulatorios (FPO) de día 2 fluctuó de 0 a 40%.

La fracción desovante con FPO de día 1 fue de 0,279 y con FPO de día 2 fue de 0,13, pero al combinar los datos de hembras con folículos postovulatorios de día 1+2, se estimó una fracción diaria de hembras desovantes de 20,3% con una varianza de 0,00011.

La fecundidad parcial promedio en función del peso corporal varió de 5.288 a 18.839 ovocitos por hembra y la fecundidad media poblacional fue de 12.087 ovocitos, con una varianza de 396.067.

La biomasa del stock desovante de anchoveta estimada durante el período principal de desove fue de 615.734 toneladas, con una varianza de 1.50331E+11.

El análisis visual del patrón de distribución de los huevos indicó que en general poseen una cobertura geográfica costera y que las mayores agregaciones se encuentran en las primeras millas de la costa, a su vez, las mayores concentraciones tienden a ubicarse en los bordes internos de gradientes térmicos y salinos. De manera general, en la zona de estudio se apreciaron dos sectores donde se observan registros de huevos de manera recurrente, el primero está localizado en los alrededores del puerto de Arica y tiene una baja



extensión espacial, el segundo núcleo se ubicó en las proximidades de punta Lobos y es el foco principal en términos espaciales y temporales. Se destaca que en el período invernal, la distribución espacial de los huevos se incrementa notablemente, apreciándose grandes concentraciones. Por otra parte, el invierno es la época de desove principal y de mayor abundancia del ictioplancton. A su vez se menciona que la desembocadura del río Loa en las cercanías de punta Lobos, es un sector de alta producción biológica y que frente a la desembocadura de este río, se han encontrado históricamente concentraciones relevantes de huevos y larvas de ***Engraulis ringens***.

En relación a los rangos de distribución preferencial de los huevos de anchoveta respecto de la temperatura, se concluye que los huevos de esta especie se distribuyen vinculados a ciertos rangos característicos. Así se observó que los huevos de anchoveta, se distribuyeron en el rango comprendido entre 14-18°C, con una preferencia por el rango 16-17°C. En el caso de las salinidades, se observa que los huevos se localizan en el estrato 34,5-35,2 psu, con una nítida preferencia por el rango 34,8-35,0 psu. Del análisis visual de los centros de gravedad (CG), se aprecia que en general éstos se ubican en las primeras 20 mn de la costa, a excepción de los últimos años (2004-2006), lo que es coincidente con lo mencionado anteriormente en el sentido de que los focos más importantes de huevos de la especie se ubicaron en las primeras millas de la costa. También se destaca que en el año 1997, debido a la influencia del evento ENOS, el CG se desplazó hacia el sur, en este sentido otros autores también mencionan un desplazamiento hacia el sur cuando la zona de estudio se ve influenciada por el evento ENOS.



II. ÍNDICE GENERAL

	Página
I. RESUMEN EJECUTIVO.....	1
II. ÍNDICE GENERAL	8
III. ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS y ANEXOS	10
IV. OBJETIVOS	17
1. Objetivo general.....	17
2. Objetivos específicos.....	17
V. ANTECEDENTES GENERALES	18
VI. DESARROLLO METODOLÓGICO	25
1. Zona de estudio	25
2. Monitoreo reproductivo que fundamentó el inicio y término del cruceo	26
3. Metodología por objetivo específico	34
3.1 Objetivo específico 2.1	34
3.2 Objetivo específico 2.2	41
3.3 Objetivo específico 2.3	50
3.4 Objetivo específico 2.4	57
3.5 Objetivo específico 2.5	64
3.6 Objetivo específico 2.6	68
3.7 Objetivo específico 2.7	71
3.8 Objetivo específico 2.8	73
VII. RESULTADOS	79
1. Monitoreo reproductivo que fundamenta el inicio del cruceo	79
2. Objetivo específico 2.1	81
3. Objetivo específico 2.2	84
4. Objetivo específico 2.3	99
5. Objetivo específico 2.4	101



6. Objetivo específico 2.5	102
7. Objetivo específico 2.6	103
8. Objetivo específico 2.7	105
9. Objetivo específico 2.8	105
VIII. DISCUSIÓN	117
IX. CONCLUSIONES	132
X. BASE DATOS	136
1. Datos oceanográficos y meteorológicos	136
2. Archivo Base datos adultos 2006.xls	139
3. Archivo Base datos Po.xls	140
4. Clorofila-a	141
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	142

FIGURAS

TABLAS

ANEXOS

- Anexo 1.** Certificados de calibración del CTD Sea BIRD modelo 19 Serie 2249.
- Anexo 2.** Criterios para la descripción de las condiciones oceanográficas en la zona de estudio.
- Anexo 3.** Personal participante por actividad (HH).
- Anexo 4.** Criterios para la delimitación del área de desove en la aplicación del MPDH para la estimación de la biomasa desovante de anchoveta en la zona norte de Chile.
- Anexo 5.** Taller Metodológico Aplicaciones MPH Zona Norte de Chile.
- Anexo 6.** Base de datos, Informe final y Resumen ejecutivo FIP N° 2006-06 (en CD)



III. ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS y ANEXOS

FIGURAS

- Figura 1.** Posición geográfica de las estaciones bio-oceanográficas. Crucero MPH 486(3)06 EP - Invierno 2006.
- Figura 2.** Evolución mensual del índice gonadosomático de la anchoveta en la I y II Región, años 1987 – 2006.
- Figura 3.** Evolución semanal del índice gonadosomático de la anchoveta en la I y II Región, año 2006.
- Figura 4.** Evolución mensual de los índices de actividad de desove (IAD) y atresia ovárica (IAO) (3 de julio al 22 de octubre de 2006).
- Figura 5.** Evolución semanal de los índices de actividad de desove (IAD) y atresia ovárica (IAO) (3 de julio al 22 de octubre de 2006).
- Figura 6.** Distribución geográfica de las estaciones planctónicas con presencia y ausencia de huevos de anchoveta. Crucero MPH 486(3)06 EP - Invierno 2006.
- Figura 7.** Distribución y abundancia de huevos de Anchoveta. Crucero MPH - Invierno 2006.
- Figura 8.** Distribución de la abundancia promedio de huevos de anchoveta por transecta, con respecto a la latitud (a) y a la distancia de la costa (b). Crucero MPH - Invierno 2006.
- Figura 9.** Distribución espacial y abundancia de huevos de anchoveta. Cruceros MPH Inviernos 1992 - 2006.
- Figura 10.** Dirección e intensidad del viento (m/s) (a) e índice de surgencia promedio de las observaciones en las primeras 30 mn por grado de latitud (b) e índice de turbulencia promedio costero y oceánico por grado de latitud (c) del viento predominante medido en las estaciones oceanográficas. Crucero MPH – Invierno 2006.



- Figura 11.** Serie de tiempo del Índice de surgencia (**IS**) instantáneo (línea delgada) y el promedio diario del **IS** (línea gruesa) obtenido con el viento registrado cada 3 horas en los aeropuertos de a) Antofagasta (Cerro Moreno) y b) Iquique (Diego Aracena) entre el 10 de Agosto y 10 de Septiembre de 2006. Se indican sobre el gráfico el número de la transecta realizada durante el desarrollo del crucero.
- Figura 12.** Distribución superficial de a) temperatura ($^{\circ}\text{C}$), b) anomalía de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), c) salinidad (psu) y d) anomalía de salinidad (psu). Crucero MPH - Invierno 2006.
- Figura 13.** Distribución semanal de la TSM satelital en la zona norte de Chile, agosto 2006.
- Figura 14.** Distribución semanal de la TSM satelital en la zona norte de Chile, septiembre 2006.
- Figura 15.** Distribución de a) temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y b) salinidad (psu) en el nivel de 50 m de profundidad, c) diferencia térmica ($^{\circ}\text{C}$) y d) diferencia de salinidad (psu) entre superficie y el nivel de 50 m. Crucero MPH - Invierno 2006.
- Figura 16.** Distribución superficial de a) profundidad de la isoterma de 15°C (m), b) anomalía de profundidad de la isoterma 15°C (m) y c) Anomalía geopotencial de superficie referida a 500 (db). Crucero MPH - Invierno 2006.
- Figura 17.** Espesor de la capa de mezcla (m) (a), espesor de la termoclina (m) (b) y temperatura base de la termoclina ($^{\circ}\text{C}$) (c). Crucero MPH - Invierno 2006.
- Figura 18.** Profundidad de la base de la termoclina (m) (a), gradiente de temperatura promedio de la termoclina ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$) (b), máximo gradiente de temperatura en la termoclina ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$) (c) y profundidad del máximo gradiente de temperatura en la termoclina (m) (d). Crucero MPH - Invierno 2006.



- Figura 19.** Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en las transectas Arica ($18^{\circ}25'S$) (T1), punta Junín ($19^{\circ}40'S$) (T9), punta Lobos ($21^{\circ}00'S$) (T17), punta Copaca ($22^{\circ}20'S$) (T25), Bahía Moreno ($23^{\circ}40'S$) (T33) y rada Paposo ($25^{\circ}00'S$) (T41). Crucero MPH - Invierno 2006.
- Figura 20.** Distribución vertical de salinidad (psu) en las transectas Arica ($18^{\circ}25'S$) (T1), punta Junín ($19^{\circ}40'S$) (T9), punta Lobos ($21^{\circ}00'S$) (T17), punta Copaca ($22^{\circ}20'S$) (T25), Bahía Moreno ($23^{\circ}40'S$) (T33) y Rada Paposo ($25^{\circ}00'S$) (T41). Crucero MPH - Invierno 2006.
- Figura 21.** Anomalía vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y salinidad (psu) en las transectas: de Arica ($18^{\circ}25'S$) (T1), punta Lobos ($21^{\circ}00'S$) (T17) y Bahía Moreno ($23^{\circ}40'S$) (T33). Crucero MPH - Invierno 2006.
- Figura 22.** Distribución de a) clorofila a superficial ($\mu\text{g/L}$), b) feopigmento superficial ($\mu\text{g/L}$) c) clorofila integrada (mg/m^2) y d) feopigmentos integrados (mg/m^2) Crucero MPH - Invierno 2006.
- Figura 23.** Distribución vertical de clorofila a ($\mu\text{g/L}$), en las transectas 1, 9, 17, 33, 41 y 47. Crucero MPH - Invierno 2006.
- Figura 24.** Distribución vertical de feopigmentos ($\mu\text{g/L}$), en las transectas 1, 9, 17, 33, 41 y 47. Crucero MPH - Invierno 2006.
- Figura 25.** Distribución espacial de los lances de pesc. Crucero MPH – Invierno 2006. Color rojo: lances efectivos; color negro: lances no efectivos.
- Figura 26.** Distribución de tamaños de anchoveta por sexo (M: machos, H: hembras), capturadas entre la I y II Región. Crucero MPH – Invierno 2006.
- Figura 27.** Distribución total de tamaños de anchovetas capturadas entre la I y II Región. Crucero MPH – Invierno 2006.
- Figura 28.** Frecuencia (N°) de huevos de anchoveta por estadio de desarrollo.
- Figura 29.** Número de huevos por unidad de muestreo ($0,05 \text{ m}^2$) en función de su edad (días).
- Figura 30.** Distribución de frecuencia (N°) de Folículos Postovulatorios de día 0, 1 y día 2 para el total de hembras analizadas en función de la hora de captura y número de lances por hora del día.



- Figura 31.** Fecundidad parcial en función del peso corporal para el año 2006.
- Figura 32.** Distribución espacial y temporal de los huevos de anchoveta. Período 1992 – 2006.
- Figura 33.** Distribución espacial y temporal de la temperatura a 10 m. Período 1992 – 2006.
- Figura 34.** Distribución espacial y temporal de la salinidad superficial. Período 1992 – 2006.
- Figura 35.** Rangos de distribución preferencial de los huevos de anchoveta respecto de: a) temperatura (°C) y b) salinidad (psu). Período 1992-2006.
- Figura 36.** Distribución espacial de los centros de gravedad de las distribuciones de huevos de anchoveta. Período 1992-2006.
- Figura 37.** Densidad media e intervalo de confianza para la proporción de estaciones con presencia de huevos de anchoveta, por año y total. Cruceros realizados entre la I y II Región.
- Figura 38.** Efectos de los predictores latitud (Lat), longitud (Lon), temperatura (TSM) y salinidad (Sal) superficial sobre la variable presencia/ausencia de huevos de anchoveta por estación, ajustado un modelo binomial con sobre-dispersión (GAM). El cero en el eje vertical indica que no existe efecto del predictor sobre la variable respuesta, líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza y $s(X,P)$ corresponde a la función suavizadora spline para la variable X con P grados de libertad. Años 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006.
- Figura 39.** Tendencias de los índices por año obtenidos del ajuste de modelos GAM para la presencia/ausencia y la densidad de huevos de anchoveta. Líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza. Años 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006.



- Figura 40.** Efectos de los predictores latitud (Lat), longitud (Lon), temperatura (TSM) y salinidad (Sal) superficial sobre la variable logaritmo de la densidad de huevos de anchoveta en las estaciones positivas, ajustado un modelo normal (GAM). El cero en el eje vertical indica que no existe efecto del predictor sobre la variable respuesta, líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza y $s(X,P)$ corresponde a la función suavizadora spline para la variable X con P grados de libertad. Años 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006.
- Figura 41.** Captura anual (ton) y área de desove en cada año de aplicación.
- Figura 42.** Captura anual (ton) y razón de área de desove y de crucero en cada año de aplicación.
- Figura 43.** Rectas ajustadas a la fecundidad parcial en función del peso corporal para cada año de aplicación del MPH.
- Figura 44.** Fecundidad específica a través de los años para anchoveta zona norte.
- Figura 45.** Relación entre la fecundidad específica (huevos/g/día) y la producción diaria de huevos (P_o , huevos/0,05 m²/día).
- Figura 46.** Relación entre área de desove (mn²) y la Biomasa desovante (ton).
- Figura 47.** Biomosas desovantes estimadas para cada año de aplicación.



TABLAS

- Tabla 1.** Caracterización de los estadios ováricos de peces pelágicos (Wallace y Selman, 1981; Hunter y Macewicz, 1985).
- Tabla 2.** Caracterización histológica de los folículos postovulatorios (FPO) (Hunter y Goldberg, 1980); ajustados para *E. ringens*, en FIP N° 95-01).
- Tabla 3.** Síntesis de la información utilizada para el cálculo de los promedios históricos estacionales de temperatura y salinidad vertical para las transectas de Arica, punta Lobos y bahía Moreno. Crucero MPH - Invierno 2006.
- Tabla 4.** Clasificación de los estadios de desarrollo embrionario (Santander *et al.*, 1984).
- Tabla 5.** Evolución semanal de la actividad reproductiva microscópica de la anchoveta en la I y II Región, julio – octubre de 2006.
- Tabla 6.** Resultados de los valores consignados para los huevos de anchoveta, *Engraulis ringens* en las distintas aplicaciones del MPH.
- Tabla 7.** Número de lances efectuados durante el crucero Módulo Adultos, en la I y II Región. Agosto – septiembre de 2006.
- Tabla 8.** Estimaciones de producción diaria de huevos por unidad de muestreo (Po), tasa de mortalidad diaria (Z) con sus respectivas desviaciones estándares, en cada año de aplicación del MPH (n es el número de puntos utilizados en el ajuste).
- Tabla 9.** Resumen de los datos de los lances. Hora del lance en hora y fracción de hora. Estadios de Madurez Microscopico (EMM), Folículos postovulatorios (FP), número de hembras (n), peso total (PT; Corregido) fecundidad parcial estimada (FECUNDIDAD) y Proporción de hembras en peso (Prop. H).
- Tabla 10.** Parámetros de adultos obtenidos en las distintas aplicaciones del MPH en la zona norte.



- Tabla 11.** Frecuencia de estaciones con presencia y ausencia de huevos por año, para estaciones sin registro de salinidades (Cero) y con registro de salinidades (Positiva).
- Tabla 12.** Síntesis por año del número de estaciones totales, número de estaciones sin y con presencia de huevos de anchoveta y densidad media de huevos/0,05 m² de las estaciones positivas para los años 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006.
- Tabla 13.** Resumen de estadísticas descriptivas para las variables longitud, latitud, temperatura superficial, salinidad superficial y densidad de huevos de anchoveta. Cruceros realizados en la I y II Región años 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006.
- Tabla 14.** Análisis de devianza para los efectos no-paramétricos y resumen de los ajustes de los modelos GAM binomial para la variable presencia/ausencia de huevos de anchoveta. Años 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006.
- Tabla 15.** Análisis de devianza para los efectos no-paramétricos y resumen de los ajustes de los modelos GAM normal para la variable logaritmo de la densidad de huevos de anchoveta. Años 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006.

ANEXOS

- Anexo 1.** Certificados de calibración del CTD Sea BIRD modelo 19 Serie 2249.
- Anexo 2.** Criterios para la descripción de las condiciones oceanográficas en la zona de estudio.
- Anexo 3.** Personal participante por actividad (HH).
- Anexo 4.** Criterios para la delimitación del área de desove en la aplicación del MPDH para la estimación de la biomasa desovante de anchoveta en la zona norte de Chile.
- Anexo 5.** Taller Metodológico Aplicaciones MPH Zona Norte de Chile.
- Anexo 6.** Base de datos FIP N° 2006-06 (en CD)



IV. OBJETIVOS

1. Objetivo general

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

2. Objetivos específicos

- 2.1 Determinar la distribución y abundancia de huevos de anchoveta.
- 2.2 Registrar las condiciones oceanográficas asociadas al crucero de huevos de anchoveta.
- 2.3 Estimar la proporción sexual en peso y el peso promedio de hembras maduras, con sus respectivas varianzas.
- 2.4 Estimar la producción diaria de huevos en el mar, su varianza asociada y la tasa diaria de mortalidad instantánea de los huevos.
- 2.5 Estimar la proporción de estadios de madurez sexual microscópicos y la fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta, con su varianza asociada.
- 2.6 Estimar la fecundidad parcial en función del peso corporal, el modelo de regresión correspondiente a esta relación, y la fecundidad media poblacional, con sus respectivas varianzas.
- 2.7 Estimar la biomasa del stock desovante de anchoveta y su varianza asociada, incluyendo la covarianza de los parámetros de adultos.
- 2.8 Realizar un análisis de la distribución espacial de huevos asociada a variables oceanográficas, utilizando las bases de datos de los proyectos anteriores y los resultados del presente proyecto.



V. ANTECEDENTES GENERALES

El sector pesquero se ha convertido en una de las áreas más dinámicas de la economía del país y sitúan a Chile como una potencia mundial en términos pesqueros. En este sentido cabe destacar que el año 2005 el valor FOB de las exportaciones pesqueras totalizó una cifra de 3.081 millones de dólares (Elaborado por IFOP en base a información del Banco Central y del Servicio Nacional de Aduanas), lo que representa alrededor del 8,1% del total de las exportaciones chilenas en el año.

Los desembarques del sector se sostienen principalmente en la extracción de unas pocas especies pelágicas y demersales, distinguiéndose entre los recursos pelágicos al jurel (*Trachurus murphyi*), anchoveta (*Engraulis ringens*), caballa (*Scomber japonicus*) y sardina común (*Strangomera bentincki*), los cuales representan una fracción relevante de la captura total (SERNAPESCA, 2004). En efecto, durante los últimos años, la actividad pesquera de la zona norte se ha cimentado fundamentalmente en las capturas de anchoveta, caballa y jurel, contribuyendo en el desembarque total del año 2005, con el 99% (Martínez y Böhm, 2006).

En la zona norte de Chile, la pesquería de pequeños pelágicos comenzó hacia finales de los años '60 y se basó casi exclusivamente en la captura de anchoveta hasta mediados de la década del '70. Posteriormente, esta pesquería muestra tres períodos principales: el primero (1973-1986) con un crecimiento sostenido, alcanzando hasta 3,4 millones de toneladas a mediados de los '80; en este período se produce el colapso en las capturas de anchoveta y, paralelamente, los desembarques de sardina aumentan significativamente hasta 1985, pasando a constituirse en el principal recurso explotado en dicha región. La segunda fase



(1986-1996) es un período de ajuste, producto de la baja experimentada de las capturas hasta llegar en 1996 a 1,4 millones de t; en este período se produce el colapso de la pesquería de sardina y las capturas de anchoveta, desde 1992-93 en adelante, han representado el desembarque mayoritario de la zona. Posteriormente, la tercera etapa (1997-2002) presenta una tendencia a la estabilización de las capturas a niveles del orden de 1,3 millones de t por año.

De acuerdo a lo anterior, la actividad extractiva de la industria pesquera en la I y II Región está fuertemente vinculada a la disponibilidad del recurso anchoveta, la que durante el año 2003 registró una importante disminución en el volumen de captura del orden del 70%, pasando de 1,2 millones de toneladas en 2002 a 427 mil t en el año 2003. Este tipo de fluctuaciones, sumado a las variaciones ambientales, pueden llevar rápidamente a las pesquerías a colapsar.

En el caso de la pesquería pelágica desarrollada en la zona norte, los desembarques muestran grandes fluctuaciones, asociados a la inestabilidad del stock, provocada por la sobreexplotación del recurso y condiciones ambientales desfavorables, relacionadas con el evento "El Niño" (Martínez *et al.*, 1995; Yáñez *et al.*, 1995). En este sentido, cabe destacar que el comportamiento y distribución de los recursos pelágicos están estrechamente relacionados con el medio ambiente. Morales *et al.*, (1996) indican que la anchoveta varía considerablemente su comportamiento con el evento de "El Niño", ya que se profundiza para alcanzar zonas de bajas tensiones de oxígeno disuelto; a su vez, los cambios en el medio físico condicionan de manera importante la cobertura geográfica de los recursos y su abundancia (García, 1993), además de que la distribución y abundancia de los recursos y de sus estadios de desarrollo (huevos y larvas) se ven afectados seriamente durante estos



eventos, debido a la aparición de masas de aguas más cálidas y salinas de origen subtropical (Jacob, 2002).

Por lo anterior, y considerando que esta pesquería ha sido analizada tomando en cuenta la evolución del esfuerzo de pesca y la variabilidad del medio ambiente y que además algunos estudios han considerado el efecto del medio ambiente sobre dichos recursos (Cañón, 1986; Castillo y Guzmán, 1985; Oliva *et al.*, 2003; Braun *et al.*, 2004), se hace necesario la estimación de la biomasa a través de distintas metodologías. En este sentido, una metodología alternativa para la evaluación de la biomasa desovante en peces pelágicos como la anchoveta, corresponde al “Método de Producción de Huevos” (MPH), desarrollada en 1980 por investigadores del Southwest Fisheries Science Center, La Jolla, California. La producción diaria de huevos se estima a partir del número de huevos totales evaluados en una prospección ictioplanctónica en asociación a otras variables y la fecundidad específica diaria de la población adulta, se determina mediante el procesamiento de muestras de peces, obtenidas durante cruceros de pesca, las que proporcionan información respecto de la fecundidad parcial, peso promedio de hembras, frecuencia del desove y proporción de sexos.

Dentro de este contexto, y considerando la importancia de este tipo de estudios para incrementar la comprensión en la distribución y abundancia de los recursos y sus fluctuaciones, el Consejo Zonal de Pesca en concordancia con el Consejo de Investigación Pesquera y Subsecretaría de Pesca, han decidido la continuación de esta línea de investigación con el objeto de contar con los antecedentes técnicos necesarios para una apropiada asesoría técnica para el manejo de estos importantes recursos de la zona norte del país.



Antecedentes del Método de Producción de Huevos (MPH)

El Método de Producción de Huevos define la biomasa desovante como la fracción de peces capaces de desovar durante el período del crucero (Parker, 1980). Los peces que no son capaces de desovar son presumidos como aquellos que no han llegado a su primera madurez sexual. Peces en condición de postdesove se asume que han sido capaces de desovar durante el crucero, de forma tal que son incluidos como parte de la biomasa desovante (Macewicz *et al.*, 1996). La biomasa desovante se estima por la relación entre la producción diaria de huevos (huevos evacuados al mar en un día por la población total de hembras) y la fecundidad específica diaria de la población adulta (huevos potenciales de ser desovados por día por tonelada métrica). La producción diaria de huevos se calcula de los datos de densidad y estado de desarrollo embrionario de los huevos recolectados en un crucero de ictioplancton. La fecundidad específica diaria de la población adulta se determina mediante el procesamiento de muestras de peces obtenidas durante un crucero de pesca, las cuales proporcionan información respecto de la fecundidad parcial, peso promedio de hembras, frecuencia del desove y proporción de sexos.

La aplicación del Método de Producción de Huevos para la determinación de la biomasa de peces pelágicos multidesovantes con fecundidad indeterminada, como anchoveta y sardina, tuvo dificultades debido al desconocimiento de métodos adecuados para estimar la frecuencia del desove. En 1979, Hunter y Goldberg (1980), acogiendo una sugerencia formulada por Yamamoto y Yoshioka (1964), en el sentido de que, la frecuencia del desove podría ser determinada a través de la incidencia de los folículos postovulatorios, logran mediante la inducción del desove de anchoveta de California mantenidas en cautiverio, caracterizar histológicamente el proceso de degeneración de los folículos postovulatorios en función del tiempo



y, a partir de ello, definir criterios para establecer la edad de dichas estructuras y utilizarlas para la estimación directa de la frecuencia del desove en poblaciones naturales de peces pelágicos multidesovantes.

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

El ovocito, una vez que es evacuado y fertilizado pasa por una serie continua de fases de desarrollo embrionario, cuya duración es dependiente de la temperatura del agua.

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



Los resultados obtenidos con la aplicación del MPH en Chile, indicaron para la subpoblación de anchoveta en la zona norte una biomasa de 1.053.000 t en 1992 (Rojas y Oliva, 1993). Posteriormente, en 1995 Claramunt *et al.* (1996) estimaron una biomasa de anchoveta de 1.223.515 t y en 1996 los niveles bajaron considerablemente alcanzando a sólo 581 mil t (FIP 96-01), manteniéndose valores similares en 1997, registrándose 594 mil t (FIP 97-01), coincidiendo con la evaluación acústica de la biomasa de la anchoveta, la cual alcanzó a 623 mil t (FIP 97-01). La aplicación en 1999 entregó una biomasa de 1.118.674 t (FIP 99-10). En el año 2000 y 2001 las estimaciones se efectuaron por dos criterios, estructural o límite inferior y funcional o de interpolación, que se relacionan con la manera en que se representa el área de desove. Las estimaciones para el 2001 fueron 332.243 y 425.890 t, respectivamente, las que notan un decremento respecto a agosto de 2000, que fueron de 587.806 y 754.040, t para los métodos antes mencionados.

En el año 2002, la biomasa del stock desovante fue estimada en 361.790 toneladas. Con respecto al año 2003, la biomasa del stock desovante existente en la I y II Regiones se estimó en 424.417 t, mientras que para los años 2004 y 2005 esta variable alcanzó sus máximos valores desde que se viene aplicando el MPH en la zona, con 1.027.793 t y 1.063.496 toneladas, respectivamente.

En el año 2000, se efectuó un reprocesamiento de la información obtenida durante la aplicación del MPH en años anteriores bajo criterios únicos y estandarizados, lo que permitió comparar los estimados de biomasa desovante de anchoveta. Una conclusión importante del re-análisis es que al observar los resultados del MPH como serie de tiempo, se visualiza que las tendencias en las biomásas son independientes de los criterios de estimación de las áreas de desove, pudiendo ser usadas en el estudio de sus fluctuaciones o como índices de calibración de



métodos indirectos, lo que hace recomendable su aplicación. Es así que, al comparar las tendencias históricas de biomasa desovante con las capturas totales del año, se observa que siguen la misma tendencia, indicando la robustez de los resultados del MPH (Oliva *et al.*, 2001).

Es importante indicar, que las biomazas estimadas en 1996 y 1997, presentaron una considerable disminución, representando sólo un 54 y 51%, respectivamente, de lo reportado en 1995. Situación que ya en 1997, basada en la aplicación del MPH, se indicaba la situación de riesgo del stock desovante de la anchoveta (Oliva *et al.*, 1998), lo cual posteriormente fue corroborado en 1998, con la ocurrencia del peor año pesquero que se tiene reporte en los últimos 50 años, período en que la captura anual de anchoveta alcanzó sólo a 122 mil toneladas.



VI. DESARROLLO METODOLÓGICO

De conformidad con la metodología planteada en la propuesta técnica y con la finalidad de determinar la distribución y abundancia de huevos de anchoveta, registrar las condiciones oceanográficas, estimar el peso promedio de las hembras maduras, su proporción sexual en peso, la producción diaria de huevos, fracción de hembras desovantes, fecundidad y la biomasa del stock desovante, se realizaron los cruceros Módulo Huevos y Módulo Adultos para el recurso anchoveta, durante el período de máxima actividad reproductiva del año 2006.

1. Zona de estudio

Los datos oceanográficos, la recolección de muestras de plancton y las capturas de los adultos, se realizaron entre los meses de agosto y septiembre, efectuándose de manera ininterrumpida todas las actividades programadas. Así, la recolecta de huevos se efectuó a bordo del PAM “Eperva 64”, perteneciente a la Compañía Pesquera Corpesca S.A., entre el 14 de agosto y el 7 de septiembre de 2006, cubriendo la zona comprendida entre el límite norte de la República de Chile, 18°25’S y Carrizalillo, 26°03’S, desde la costa hasta una distancia máxima de 80 millas náuticas (**Fig. 1**).

En forma paralela, la recolección de muestras de adultos se efectuó con la operación de cuatro embarcaciones pesqueras industriales, entre el 21 de agosto y el 8 de septiembre de 2006, de acuerdo a Resolución N° 2327 del 16 de agosto de 2006, de Pesca de Investigación de la Subsecretaría de Pesca.



A cada una de las 4 naves, 3 de ellas pertenecientes a la Compañía Pesquera Corpesca S. A. y una a la Compañía Pesquera Camanchaca S.A., se le asignó una determinada zona de pesca, asignación realizada azarosamente y ante notario público. Cada zona de pesca, cubrió un área latitudinal aproximada de 100 mn y longitudinalmente desde fuera del límite de la zona de pesca artesanal (5 mn) hasta las 80 mn. Asignándose a la nave Tornado la zona 1 comprendida entre Arica (18°25'S) hasta punta Guanera (20°00'S); Audaz entre punta Piedra (20°10'S) a punta Aña (22°00'S); Relámpago desde caleta Blanca (22°10'S) a punta Amarilla (24°00'S) y la embarcación de la empresa Camanchaca, de nombre Claudia Alejandra, operó entre punta Agua Salada (24°10'S) y punta Carrizalillo (26°03'S). Simultáneamente, además participó en la pesca de investigación una embarcación artesanal Petrohué II que cubrió la zona de operación de las 5 mn de la I Región.

2. Monitoreo reproductivo que fundamentó el inicio y término del crucero

Para poder establecer con certeza la fecha de inicio del crucero de huevos y adultos, se utilizó la información a nivel macroscópico (variaciones del índice gonadosomático - **IGS**) y microscópico (Índice de actividad de desove – **IAD**, e Índice de atresia ovárica - **IAO**), información derivada del monitoreo reproductivo de la anchoveta en la I y II Región, donde se obtuvieron muestras recolectadas de la captura comercial de especies pelágicas, monitoreo que forma parte del Proyecto “Investigación Situación Pesquería Pelágica Zona Norte, año 2006”.

El muestreo de la anchoveta se realizó en los principales puertos de la I y II Región entre enero y diciembre de 2006, considerando la información biológica de la especie, consignando datos de longitud, peso, sexo y estadios de madurez.



El procedimiento aplicado consistió en recolectar gónadas de hembras de anchoveta de la captura comercial, con la finalidad de determinar mediante técnicas macroscópicas (variaciones del índice gonadosomático) y microscópicas (índice de actividad de desove), la condición reproductiva de la especie (**Tablas 1 y 2**). De esta manera se analizaron macroscópicamente un total de 13.291 hembras y microscópicamente 2.481 ovarios de anchoveta, cifras 43% y 21% menor con respecto a las analizadas en el año 2005, respectivamente.

Los ovarios extraídos, fueron pesados e inmediatamente fijados en formalina al 10% para evitar procesos de autólisis o destrucción del tejido, generados por la acción enzimática o bacteriana. En el laboratorio se efectuó el procesamiento histológico de los ovarios realizando cortes de 5 micras de espesor, los que fueron teñidos con hematoxilina y contrastados con eosina.

La componente metodológica consideró el desarrollo de los siguientes aspectos fundamentales:

- A. Plan de muestreo
- B. Plan operativo
- C. Plan de aseguramiento de calidad
- D. Plan de análisis

A. Plan de muestreo

Cada plan de muestreo depende de la variable en estudio y está en directa relación con la modalidad de operación de las flotas que operan en la pesquería. Los planes



de muestreo consideran diseños en puerto (desembarques) y eventualmente a bordo de naves cerqueras, analizando las capturas.

A1. Población objetivo

La población objetivo la componen el conjunto de ejemplares de anchoveta capturados por la flota industrial y artesanal en la zona norte durante el año 2006.

A2. Parámetro poblacional: Índice gonadosomático (IGS)

Notación:

Wg_j : Peso de la gónada del ejemplar j

W_j : Peso eviscerado del ejemplar j

n : Muestra de ejemplares

– Estimador del índice \hat{R} (IGS)

$$\hat{R}(IGS) = \frac{\sum_{i=1}^n W g_j}{\sum_{i=1}^n W_j} \quad \text{Ec. 1}$$

– Estimador de la varianza de \hat{R} (IGS)

$$\hat{V}_{\hat{R}(IGS)} = \frac{1}{n} \frac{1}{\bar{W}^2} \frac{\sum_{j=1}^n (Wg_j - \hat{R}W_j)^2}{n-1} \quad \text{Ec. 2}$$



– **Coefficientes de variación e intervalos de confianza**

El coeficiente de variación se calculó de acuerdo a:

$$CV(\hat{R})_{IGS} = \frac{\sqrt{\hat{V}_{\hat{R}(IGS)}}}{\hat{R}_{(IGS)}} \quad \text{Ec. 3}$$

El intervalo de confianza se obtuvo como:

$$(\hat{R}_{IGS} - Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\hat{V}(\hat{R}_{IGS})}; \hat{R}_{IGS} + Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\hat{V}(\hat{R}_{IGS})}) \quad \text{Ec. 4}$$

Donde: $Z_{1-\alpha/2}$: representa el coeficiente asociado al nivel de confianza $(1-\alpha)\%$ de un modelo de probabilidad normal estándar.

B. Plan operativo

B1. Fuentes de captación de datos

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

B2. Antecedentes para la selección de centros de muestreo

La estrategia de recolección de datos considera una cobertura de centros de desembarque que asegura la representatividad de los muestreos. Los antecedentes



utilizados para definir los centros de muestreo se basan en información actualizada de la flota y la modalidad de operación de éstas.

En la pesquería pelágica de la I y II Región operan dos flotas, una industrial y otra artesanal, que utilizan como arte de pesca el sistema de cerco.

La flota industrial opera entre la I y II Región, en tanto la flota artesanal trabaja básicamente en la I Región.

B3. Principales puertos de desembarque en la I y II Región

Flota Industrial:

Arica
Iquique
Tocopilla (eventualmente)
Mejillones

Tamaño de la flota

En la actualidad existe un total de 78 embarcaciones operando en esta pesquería, las que se distribuyen de la siguiente forma:

Arica	:	18 (Corpesca)
Iquique	:	53 (29 Corpesca; 24 Camanchaca)
Mejillones:		7 (Corpesca)

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



Formularios para la recolecci3n de los datos

Los datos recopilados fueron registrados en el formulario "Muestreo Biol3gico" considerando las siguientes variables en estudio:

- Especie
- Fecha
- C3digo barco
- Zona de pesca
- Cuadr3cula
- Longitud total (cm)
- Peso total (g)
- Peso eviscerado (g)
- Madurez sexual
- Peso g3nadas (g)
- Sexo

Operaci3n del sistema de recolecci3n

Se emple3 un total de 5 muestreadores (observadores cient3ficos) distribuidos de la siguiente forma:

- Arica (2)
- Iquique (2)
- Mejillones (1)



La función principal del equipo de observadores científicos, fue la recolección de datos de las embarcaciones seleccionadas para muestreo en tierra o a bordo, siguiendo los instructivos desarrollados para estos fines.

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

Las muestras biológicas se tomaron desde el vibrador o secador. Una vez obtenida la muestra, se inició la recolección de datos de cada uno de los ejemplares, los cuales constituyen la unidad de análisis, de acuerdo al tipo de variable o característica en estudio.

Longitud : a cada ejemplar se le midió su longitud total.

Peso : a cada ejemplar se le registró el peso total, eviscerado y peso de gónadas.

Sexo y madurez sexual: a cada ejemplar se le determinó el sexo a través de la observación directa de las gónadas y la madurez sexual mediante criterios macroscópicos (tamaño, forma, color, etc.), clasificando la observación de acuerdo a la escala de madurez específica (Simpson y Gil, 1967 *fide* Serra, 1976), validando la información a través de criterios microscópicos.

C. Plan de aseguramiento de la calidad de datos y diseños

El diseño pasa necesariamente por velar por la calidad de la información, si los datos son deficientes, entonces la información como proceso de transformación de éstos no



tendrá ningún valor. En este contexto, tanto los diseños de muestreo como los datos capturados, entraron a procesos de control de calidad, lo que asegura la confiabilidad de la información.

D. Plan de análisis

Análisis macroscópico y microscópico

Se determinó el período de máxima intensidad reproductiva (inicio del crucero) mediante el análisis de la distribución semanal y mensual de la anchoveta en los diferentes estadios de madurez del ovario (macroscópicos y microscópicos); la evolución de los indicadores histológicos **IAD e IAO** y las variaciones del índice gonadosomático, los que expresan los cambios estacionales observados en los pesos de las gónadas (**WG**) con respecto al peso corporal (**W**), según la ecuación del **IGS**.

Las variaciones de la condición de madurez microscópica se analizaron en base al diagnóstico histomorfológico del parénquima gonadal, aplicando una escala microscópica específica basada en los criterios señalados por Wallace y Selman (1981): Selman y Wallace (1989) para peces teleósteos; Alheit *et al.* (1984) para ***E. ringens*** y Hunter y Macewicz (1985) para ***E. mordax*** (FIP N° 95-01) (**Tabla 1**).

El cálculo del índice de actividad de desove (**IAD**) requiere de la observación sistemática del ovario para contabilizar la presencia de folículos postovulatorios de diferentes edades y de los ovocitos hidratados (**Tabla 2**), para estimar la proporción de individuos que alcanzaron este estado en el stock parental maduro, según la siguiente expresión cuantitativa:



$$IAD = \frac{mh + m0 + m1}{m} \times 100 \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

mh = Hembras hidratadas
 $m0$ = Hembras con FPO día 0
 $m1$ = Hembras con FPO día 1
 m = Hembras maduras

El cálculo del índice de atresia ovárica (**IAO**) requiere conocer el porcentaje de hembras con presencia de ovocitos atrésicos y resulta un indicador inverso al *IAD*, el cual se define como:

$$IAO = \frac{ma}{m} \times 100 \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

ma = N° hembras en estado de atresia ovárica
 m = Hembras maduras

3. Metodología por objetivo:

3.1 Objetivo específico 2.1

“Determinar la distribución y abundancia de huevos de anchoveta”

3.1.1 Diseño de muestreo de ictioplancton

El diseño de muestreo utilizado permitió cubrir un área de aproximadamente 41.448 mn² y estuvo configurado por una grilla de 799 estaciones distribuidas en 47 transectas perpendiculares a la costa equidistante entre si cada 10 mn, realizándose en cada una de ellas 17 estaciones zooplanctónicas a 1; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55, 60, 65, 70, 75 y 80 millas náuticas.



El número de estaciones efectuadas en el área de estudio se basó en el análisis de la densidad media de huevos por estación de los cruceros ejecutados entre los años 2000 y 2005, excluyendo la información del crucero de 2001, debido a la alta concentración del desove en un área reducida en dicho año, comportamiento atípico en comparación con la distribución observada en la serie histórica 1992-2005. De esta manera, conociendo un estimado *a priori* de la media y varianza de la densidad de huevos, la relación entre estaciones positivas y negativas y utilizando la metodología de determinación de tamaño de muestras para variables continuas (Thompson, 1992), se estimó el número mínimo de estaciones positivas requerido.

De esta forma, se utilizó la relación:

$$n_0 = \left(\frac{Z_{1-\frac{\alpha}{2}} S}{r \bar{X}} \right)^2$$

Ec. 7

Donde:

- n_0 = es el tamaño de muestra,
- Z = es el percentil $1-\alpha/2$ de la distribución normal estándar,
- S = es la desviación estándar de la densidad de huevos,
- r = corresponde al nivel de error de estimación y
- \bar{X} = corresponde al estimador de la densidad media de huevos.

Este mismo procedimiento fue utilizado por Santander *et al.*, (1982), quienes experimentalmente utilizaron como estimador del número total de estaciones n , la relación porcentual entre las estaciones positivas (n^+) y el total de estaciones (n). Al respecto, se encontró que tal relación fue de:



$$\frac{n^+}{n} = 0,4 (40\%)$$

Ec. 8

De tal manera que determinando el número de estaciones positivas ($n^+ = n_0$), es posible establecer el número total de estaciones.

Utilizando el valor estimado de la densidad media y la desviación estándar para las estaciones positivas de los cruceros, se pudo establecer que para un valor α del 5% y un nivel de error de estimación del 24%, se requieren 263 estaciones positivas. Así, conociendo la relación entre el número de estaciones positivas y las negativas de los cruceros anteriores, se estimó un total de 658 estaciones a realizar, sin embargo, y de acuerdo a los antecedentes originados en el taller de divulgación de los resultados del Proyecto FIP 2005-03, se determinó extender la zona de estudio de cada transecta hasta las 80 mn, permitiendo cubrir áreas donde históricamente el muestreo se prolongaba solo hasta las 60 mn, distancia en la que se registraba presencia de huevos de anchoveta, con el desconocimiento de si esta distribución se extendía más allá de esta distancia.

Para la decisión del diseño de muestreo de huevos, se consideraron los siguientes aspectos:

- Tiempo de muestreo = 15 minutos por estación
- Velocidad de navegación = 7 nudos
- Área total = 41.448 mn²

De esta forma se realizó un total de 799 estaciones bio-oceanográficas (**Fig.1**). Cabe destacar, que este tamaño de muestra está dentro del rango recomendado por Lo (1997), quien basada en el análisis empírico de la relación entre el



coeficiente de variación del estimado de producción diaria de huevos y el número de estaciones, recomienda un mínimo de 600 estaciones.

3.1.2 Recolección de las muestras

La recolección de las muestras de plancton se efectuó a bordo del PAM "Eperva 64", realizando el "track" en forma simultánea a las naves que operaron en el muestreo de los adultos.

En cada estación se obtuvo una muestra de plancton mediante un muestreador CalVET (versión PAIROVET) de 0,05 m² de área de boca y 0,150 mm de abertura de malla (Smith *et al.*, 1985), el que se remolcó verticalmente desde una profundidad máxima de 70 m o desde 3 m sobre el fondo hasta la superficie en el caso de profundidades menores. El calado y virado se realizó a una velocidad nominal de 70 m/minuto, considerándose un tiempo de estabilización de 15 segundos, una vez alcanzada la profundidad máxima de muestreo.

El volumen de agua filtrada por la red CalVET se simplifica y no requiere el uso de un flujómetro, debido a las características de tamaño de esta y del tipo de arrastre (Smith *et al.*, 1985).

Para obtener el volumen de agua filtrada en una red de lance vertical, se multiplica el área de la boca de la red por el factor de corrección y por la profundidad del lance, este factor de corrección es entregado por el fabricante y es de suma importancia porque nos indica la eficiencia de filtración de la red, ya que nunca es en un 100%. Cabe señalar que en todas las aplicaciones de este método, tanto en la zona norte como centro-sur de Chile, el muestreador CalVET versión PAIROVET ha sido utilizado sin medidor de flujo, dado su pequeño diámetro de



boca (0,25 m), expresando los resultados de la cuantificación del número de huevos por estación bajo $0,05 \text{ m}^2$, es decir, el área de su boca.

Durante la ejecución de cada lance de pesca se registró en planillas especialmente diseñadas, los siguientes datos básicos: número de estación, fecha, hora, posición, tipo de pesca, tipo de red, duración del lance (tiempo de arriado y virado), cantidad de cable arriado, lectura del clinómetro.

3.1.3 Tratamiento de las muestras a bordo

Las muestras obtenidas en cada una de las estaciones fueron preservadas con una solución de formalina en agua de mar al 5% tamponada con tetraborato de sodio y se almacenaron en frascos plásticos de 250 cc de alta densidad debidamente rotulados. El proceso de fijación se realizó tan pronto como éstas fueron extraídas del copo recolector de la red, para evitar de esta manera un posible deterioro de los ejemplares capturados.

3.1.4 Procedimiento en laboratorio

3.1.4.1 Separación e identificación de huevos de anchoveta

El procesamiento de las muestras en el laboratorio en tierra, contempló las siguientes etapas:

- Separación y extracción de la totalidad de los estadios tempranos de peces de cada una de las muestras.
- Identificación taxonómica de huevos de anchoveta.
- Cuantificación de huevos de anchoveta.



- Enumeraci3n y agrupaci3n del resto del ictioplancton, bajo la denominaci3n de “otras especies”.

Para el procesamiento de las muestras se utilizaron microscopios estereosc3picos marca Nikon y Zeiss con aumento de 8 a 40 veces, examinando la totalidad de la muestra.

3.1.4.2 An3lisis de la informaci3n planct3nica

Basado en los valores cuantitativos de los an3lisis y con el prop3sito de contar con antecedentes comparativos se determinaron algunos par3metros tales como el poblacional, densidad promedio respecto de las estaciones totales y positivas y los comunitarios, constancia y dominancia num3rica.

Se incorpor3 adem3s, la estimaci3n de la densidad de huevos mediante la distribuci3n Log-normal de acuerdo a (Pennigton, 1986):

Un estimador desarrollado para determinar la media de una variable, en la cual una fracci3n de las observaciones es igual a cero y las restantes tienen distribuci3n lognormal se puede plantear de la forma (Stefansson, 1996):

$$c = \left(\frac{m}{n} \right) \exp(\bar{y}) G_m(r) \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

- m = Es la cantidad de estaciones (observaciones) positivas
n = Es el total de estaciones



\bar{y} = Es la media de la variable transformada a logaritmo natural

$G_m(r)$ = Es una función de la varianza de la variable transformada a logaritmo, de la forma:

$$G_m(r) = 1 + \frac{(m-1)r}{m} + \frac{(m-1)^3 r^2}{2! m^2 (m+1)} + \frac{(m-1)^5 r^3}{3! m^3 (m+1)(m+3)} + \dots$$

Ec. 10

Donde:

$$r = \frac{s^2}{2}$$

Siendo:

s^2 la varianza de la variable transformada a logaritmo.

Puede apreciarse que $G_m(r)$ es una serie infinita que depende de la varianza de los datos transformados a logaritmo y de la cantidad de valores distintos de cero.

La varianza de la densidad media estimada viene dada por:

$$v(c) = \left[\frac{m}{n} \right] \exp(2\bar{y}) \left[\left(\frac{m}{n} \right) G_m^2(r) - \frac{(m-1)}{(n-1)} G_m\left(\frac{(m-2)}{(m-1)} 2r\right) \right]$$

Ec. 11

Para la confección de mapas de distribución y abundancia de huevos de anchoveta y asignación de categorías de densidad para este estadio de desarrollo, se utilizó la escala geométrica de Frontier (1966) modificada.

Para efectos de establecer una comparación interanual se utilizó la serie histórica estandarizada de huevos de anchoveta para el período 1992/2006, obtenida para la zona norte de Chile en aplicaciones precedentes del MPH.



3.2 Objetivo específico 2.2

“Registrar las condiciones oceanográficas asociadas al crucero de prospección de huevos de anchoveta”

3.2.1 Recolección de las muestras y registro de datos

En cada estación de la grilla de muestreo (**Fig. 1**), se obtuvieron registros continuos de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad (psu) y fluorescencia con profundidad (dbar) hasta un máximo de 100 m, mediante el uso de un CTD marca SEA BIRD modelo 19 equipado con bomba. Adicionalmente, en las estaciones ubicadas a 1, 5, 10, 20, 40 y 80 mn de las transectas de Arica ($18^{\circ}25'S$), punta Junín ($19^{\circ}40'S$), punta Lobos ($21^{\circ}00'S$), punta Copaca ($22^{\circ}20'S$), bahía Moreno ($23^{\circ}40'S$), rada Paposo ($25^{\circ}00'S$) y Carrizalillo ($26^{\circ}S$), se realizaron estaciones oceanográficas profundas con CTD hasta una profundidad máxima de 500 m y análisis de clorofila en la vertical.

Para la toma de muestras de agua conducentes a los análisis de clorofila-a se utilizaron botellas Niskin de 1,7 L de capacidad. En las estaciones oceanográficas profundas el muestreo se realizó en los niveles estándares de 0, 5, 10, 20, 30, 50, 75 y 100 m como máximo. Con las muestras de agua recolectadas, se realizaron en los laboratorios de IFOP los análisis destinados a la obtención de la concentración de clorofila-a según la metodología descrita en 3.3.2.

Datos discretos de temperatura y muestras para análisis de salinidad se obtuvieron en las estaciones profundas, en la capa de mezcla y preferentemente en los niveles de profundidad mayores. Los análisis de salinidad se efectuaron en tierra con un salinómetro digital marca TSK modelo DIGIAUTO.



Durante la realización de las estaciones bio-oceanográficas se registró información meteorológica de carácter básico: temperatura del aire (bulbo seco y húmedo), presión atmosférica, intensidad y dirección del viento, tipo y cantidad de nubes, altura y dirección de las olas. En el registro se utilizaron las normas, tablas y códigos del National Oceanographic Data Center (NODC, 1991). Durante la navegación se recopiló también información del viento en forma horaria. Los datos de viento de las estaciones y los registros en forma horaria corresponden al valor predominante observado.

3.2.2 Medición de la clorofila-a

En las estaciones oceanográficas profundas, se recolectaron 311 muestras para los análisis de clorofila-a. Se filtró *in situ* un volumen estandarizado de 50 mL con un sistema múltiple de filtrado Swinnex, utilizando filtros de fibra de vidrio (MFS GF-75, 0,7 μm , 25 cm de diámetro). Las muestras se congelaron con nitrógeno líquido y luego se almacenaron a -20°C en ambiente anhidro, utilizando como desecante CaCl_2 para su posterior análisis en laboratorio en tierra.

La extracción de la muestra para el análisis de clorofila-a, se realizó en forma pasiva, con una solución acuosa de acetona al 90 % v/v, por un período no inferior a las 12 horas y a ca. 0°C . La lectura del sobrenadante se efectuó en ambiente de baja luminosidad con la técnica fluorimétrica con y sin acidificación descrita en Parsons *et al.* (1984), utilizando para tales efectos un fluorómetro digital marca Turner Designs, modelo 10AU, calibrado con un estándar puro de clorofila-a marca Sigma Chemicals.



3.2.3 Procesamiento de la información

La información del CTD se procesó de acuerdo a procedimientos estándares recomendados por el fabricante (Seabird, 2004). El control de calidad de los datos de CTD se realizó con la información de temperatura obtenida en terreno con los termómetros de inversión y con los análisis de salinidad.

Debido a que los termómetros y el salinómetro empleados en este caso como instrumentos de control tienen sólo una precisión de $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$ y $\pm 0,01$ psu, respectivamente, se utilizaron estos valores como límites en las diferencias entre las mediciones del CTD y la de estos dos instrumentos. La observación de las diferencias entre ambas mediciones se hizo en forma secuencial de acuerdo a la realización de las estaciones, para determinar de esta forma el comportamiento del equipo electrónico CTD en el tiempo. En este proceso de comparación no se encontraron diferencias mayores al valor de precisión de ambas variables, respecto a las obtenidas con el equipo de control. Por lo tanto, no fue necesario corregir la información del equipo electrónico utilizado. Por su parte el CTD fue calibrado durante el mes de mayo de 2006 (**Anexo 1**).

Con los datos ya procesados se confeccionaron las cartas de distribución superficial y vertical de las variables temperatura (**TSM**), salinidad (**SSM**) y fluorescencia. Con los datos verticales se obtuvo información de la capa de mezcla (espesor), termoclina (espesor, profundidad de la base, temperatura base, gradiente de temperatura promedio y máximo, profundidad del máximo gradiente), anomalía geopotencial de superficie referida a 500 m, temperatura y salinidad en el nivel de 50 m y su diferencia con los valores superficiales, realizándose las respectivas cartas y su posterior análisis.



Con respecto a la metodología de cálculo de estas estructuras verticales (eg. capa de mezcla y termoclina) el criterio a utilizar fue el siguiente:

- Capa de mezcla: Se considera como espesor de la capa de mezcla, la profundidad de la capa de agua superficial que presente una diferencia menor a 0,1 °C, 0,1 psu y 0,1 Kg/m³ con los datos correspondientes observados en el primer metro de la columna de agua. Los datos de observación de esta variable fueron los datos de CTD.

- Termoclina: Se define como termoclina la capa de agua que presentó una variación de temperatura mayor o igual a 0,1°C/m. Los cálculos de gradiente para la definición de termoclina y el valor de gradiente máximo se obtuvo por diferencia de temperatura entre dos niveles consecutivos (cada un metro). El valor de gradiente promedio se obtuvo de los gradientes metro a metro que se registraron en la termoclina.

Para el cálculo de densidad se utilizó la ecuación internacional de estado del agua de mar de 1980, dada por Millero & Poisson (1981) y UNESCO (1981a y 1981b), de acuerdo a:

(T en °C, S en psu, ρ en kg/m³)

$$\rho = \rho_0 + AS + BS^{3/2} + CS^2 \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:



$$A = 8.24493 \times 10^{-1} - 4.0899 \times 10^{-3} t + 7.6483 \times 10^{-5} t^2 - 8.2467 \times 10^{-7} t^3 + 5.3875 \times 10^{-9} t^4$$

$$B = -5.72466 \times 10^{-3} + 1.0227 \times 10^{-4} t - 1.6546 \times 10^{-6} t^2$$

$$C = 4.8314 \times 10^{-4}$$

ρ_o = es la densidad del agua

$$\rho_o = 999.842594 + 6.793952 \times 10^{-2} t - 9.095290 \times 10^{-3} t^2 + 1.001685 \times 10^{-4} t^3 \\ 1.120083 \times 10^{-6} t^4 + 6.536336 \times 10^{-9} t^5$$

Para referirse a la densidad se utilizará la expresi3n σ_t (sigma-t). Un valor sigma-t expresa para 1 cm³, el n3mero de miligramos que sobrepasa la unidad.

Los valores de salinidad se entregan en forma adimensional, siguiendo recomendaciones de UNESCO (1981c); por conveniencia se anotan omitiendo el factor 10⁻³.

Se obtuvieron los valores de anomalía vertical de temperatura y salinidad a lo largo de las transectas de bahía Moreno (23°40'S), punta Lobos (21°00'S) y Arica (18°25'S), con los que se realizaron los gráfcos correspondientes. Los valores promedios estacionales de temperatura y salinidad de las transectas seáladas corresponden a los obtenidos de la serie hist3rica de IFOP entre 1963 - 2003 (**Tabla 3**). La metodología aplicada en la obtenci3n de los promedios verticales de estas transectas corresponde a la indicada por Blanco *et al.* (2001).



Para el nivel superficial se presentaron valores de anomalía estacional de temperatura y salinidad, pero también a nivel subsuperficial, el de la profundidad de la isoterma de 15°C. Estos valores fueron obtenidos de los promedios mensuales (Reynolds, 1982; Blanco, 1996; Rojas y Silva, 1996), siendo actualizados por IFOP durante la ejecución del proyecto FIP N° 2001-01 (Braun *et al.*, 2002), según la metodología indicada por Blanco *et al.*, *op cit.*

Con los datos de viento obtenidos durante la ejecución de las estaciones, se elaboró una carta de intensidad y dirección, las que se utilizaron principalmente en la interpretación de los datos oceanográficos superficiales.

Con la información de viento se calculó el índice de surgencia (**IS**) instantáneo (Bakun 1973, 1975 y 1987) y el **IS** promedio. Este último valor corresponde al promedio de los IS instantáneos que se ubican hasta las 30 mn de la costa y cada 1° de latitud. Los valores del IS se expresan en $m^3 \cdot s^{-1}$ por 1.000 metros de costa. El IS instantáneo se calculó de acuerdo a la siguiente expresión:

$$M_x = t_y / f \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

M_x = Transporte de masa hacia el oeste

t_y = Coacción del viento sobre la superficie en la dirección norte-sur

f = Parámetro de Coriolis

Siendo:

$$f = 2 \omega \text{ Sen } (l) \quad \text{Ec. 14}$$



Donde en (14):

ω = Velocidad angular de la tierra

l = Latitud del lugar

A su vez, de la ecuación (13):

$$t_y = r_a C_d v |W| \quad \text{Ec. 15}$$

Donde en (15):

r_a = Densidad del aire (1,25 Kg/m³)

C_d = Coeficiente de arrastre (0,0013 sin dimensiones)

v = Componente norte sur de la velocidad del viento

$|W|$ = Magnitud de la velocidad del viento

El valor de C_d (coeficiente de arrastre) que se utilizó en los cálculos, fue igual a 0,0013 de acuerdo a Bakun y Parrish, (1982). Los valores **IS** promedio fueron graficados en una carta que representa la zona de estudio con la simbología de flechas.

Con la información de viento registrado en las estaciones bio-oceanográficas, se determinó también el índice de turbulencia (**IT**), que corresponde al cubo de la magnitud de la velocidad del viento (**W³**) (Bakun y Parrish, **op cit.**). Con la información de los datos individuales de **IT** se obtuvo un valor de **IT** promedio costero e **IT** promedio oceánico, tomando en el primer caso, los registros de viento entre la costa y las 30 mn y en el del oceánico, desde las 30 hasta las 80 mn, dentro de un grado de latitud. Los valores promedio fueron graficados en una carta con simbología de barras.



Con la información de viento cada tres horas (3, 6, 9, 12, 18, 21 y 24 horas) de los aeropuertos Diego Aracena de Iquique y Cerro Moreno de Antofagasta (Dirección Meteorológica de Chile), correspondientes al período 10 de Agosto a 10 de Septiembre, se calculó el índice de surgencia (IS) instantáneo. Con los IS instantáneo se obtuvo un valor promedio diario. Ambas series se graficaron separadas por localidad.

La determinación de la “condición de normalidad”, se realizó considerando los valores de anomalías de las variables temperatura, salinidad, profundidad de la isoterma de 15°C, y su respectiva desviación estándar. En términos generales, la aparición de condiciones anómalas para la zona y período de estudio está dada por valores ± 1 desviación estándar por sobre el promedio histórico en cada variable, discutiéndose la causa de la anomalía registrada (**Anexo 2**). Los promedios históricos de temperatura, salinidad y profundidad de la isoterma de 15°C para la zona y mes sólo están calculados para el área de Arica a rada Paposo (25°S), por lo tanto las anomalías respectivas son obtenidas para el área señalada. Las condiciones subsuperficiales son discutidas también respecto de las condiciones superficiales, con los procesos que se desarrollaron en la zona y relación a cruceros anteriores efectuados en el mismo período.

Respecto a la clorofila-**a** (**cloa**), una vez cuantificadas las muestras, la información fue codificada, digitada y georeferenciada por profundidad de origen. Esta información permitió confeccionar cartas de distribución vertical para todas las transectas. Los resultados de clorofila-**a** y de los productos de degradación o feopigmentos (**feop**) se expresan en $\mu\text{g/L}$.

La caracterización de los cuerpos de agua en la zona de estudio se efectuó utilizando la distribución cuali y cuantitativa de la biomasa fitoplanctónica, usando



como indicador la **cloa**. Esta caracterización, consideró las zonas biológicamente productivas a muy poco productivas, tanto en el plano superficial como en la columna de agua y surgió de la compilación de información de **cloa** realizada por IFOP en los últimos años.

Estado trófico	Concentración de clorofila a ($\mu\text{g/L}$)
Ultraoligotrófico	$< 0,2$
Oligotrófico	$\geq 0,2$ $a < 0,5$
Mesotrófico	$\geq 0,5$ $a < 1,0$
Eutrófico	$\geq 1,0$

La concentración de los productos de degradación de la **cloa** o feop fue analizada solamente como un índice relativo de la degradación de la biomasa fitoplanctónica activa.

Para la adecuada representación de la estructura biológica de toda la columna, se calculó el valor de la clorofila-**a** integrada (Lohrenz *et al.*, 1988), utilizando la siguiente ecuación:

$$\sum Cloa = \sum_0^{100} (C_{i+1} + C_i)(D_{i+1} - D_i) / 2 \quad \text{Ec. 16}$$

Donde:

- i = Son las profundidades de muestreo discretas definidas en el punto 3.2.1.
- C_{i+1} y C_i = Son las concentraciones de clorofila ($\mu\text{g/L}$), en la profundidad i , desde superficie a la profundidad máxima de 100 m.
- D_i y D_{i+1} = Son las profundidades respectivas (m).



Este cálculo permite representar la clorofila-*a* de toda la columna en unidades de área (mg/m^2), de esta forma se incorporan adecuadamente los máximos subsuperficiales de la biomasa fitoplanctónica, situación que es subestimada muchas veces por la clorofila superficial. La información se entrega en cartas de distribución tanto para la clorofila integrada como para los feopigmentos integrados.

Para explorar una relación entre las variables oceanográficas y la distribución y abundancia de huevos de anchoveta, se realizó una comparación de la distribución de esta última variable con la TSM y la SSM.

3.3 Objetivo específico 2.3

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

3.3.1 Muestreo de anchoveta en el mar – Crucero Módulos Adultos

El método de estimación de la biomasa desovante requiere que simultáneamente con el desarrollo del crucero módulo huevos, se realicen cruceros de pesca, que permitan determinar los parámetros relacionados con la dinámica reproductiva de los peces adultos. En este esquema, la recolección de anchoveta adulta se realizó con la participación de las embarcaciones señaladas en el punto 1, según Resolución de Pesca de Investigación de la Subsecretaría de Pesca N° 2327 de 16/08/2006.

Cada una de estas naves estuvo equipada básicamente con sonar, radar, ecosonda, navegador por satélite, radiogoniómetro, radios HF y VHF y de una red



de cerco anchovetera. Estas naves operaron simultáneamente con el crucero de recolección de huevos.

La red utilizada estaba construida de paños con nudos y sin nudos, en los distintos sectores de la red (copos, antecopos, refuerzos y cuerpos finos) y acondicionada para operar con un sistema de pesca petrel, cuyas dimensiones en términos generales, son de 650 * 70 brazas, con un embande de un 32%.

3.3.2 Determinación del tamaño de muestra

En los cardúmenes de clupeideos, como la anchoveta, la distribución de los peces es generalmente homogénea, respecto al tamaño y a la condición de las gónadas, por lo cual la estimación de la fracción de hembras en desove se relaciona con el tipo de muestreo aplicado, situación que es evidente durante la época de mayor actividad de desove. De acuerdo al conocimiento del proceso reproductivo de ésta especie, en períodos sin perturbación ambiental, los cardúmenes desovantes, caracterizados por el predominio de machos, se separan de aquellos que están en otra condición reproductiva. Este comportamiento ha sido observado por otros investigadores (Blaxter y Hunter, 1982; Oliva *et al.*, 1989; Martínez *et al.*, 1992, 1993, 1994; Claramunt *et al.*, 1996, 1997).

El diseño de muestreo orientado a estudiar los parámetros de adultos correspondió al de conglomerado bi-etápico, donde las unidades de primera etapa corresponden a los "lances" de pesca y las unidades de segunda etapa a los "peces capturados" en cada lance.

El diseño de muestreo empleado en las once aplicaciones del MPH en el área de estudio ha permitido concluir que con 40 lances efectivos se puede estimar en forma



óptima los parámetros de adultos. Al respecto, cabe señalar que en estudios precedentes del MPH en Chile se han realizado 50 lances (Rojas y Oliva, 1993), 40 lances (Claramunt *et al.*, 1996), 32 lances (Claramunt *et al.*, 1997), 60 lances (Oliva *et al.*, 1998), 51 lances (Oliva *et al.*, 2000), 60 lances en los años 2001 y 2002 (Oliva *et al.*, 2002) e igual número de ellos en el año 2003 y 2004 (Braun *et al.*, 2005a). En términos de número de peces procesados y en un sentido estadístico es más eficiente realizar una gran número de lances y medir o examinar pocos peces en cada uno de ellos, que medir una gran cantidad de peces en un reducido número de lances.

Las muestras se recolectaron desde la cubierta de la embarcación con baldes, obteniendo anchovetas vivas sin golpes y con la mínima pérdida de escamas.

A bordo y en cada uno de los lances efectuados, se muestrearon como mínimo 100 ejemplares, registrándose su longitud total y estadio de madurez sexual macroscópico. Con esta información se logró obtener a tiempo real, la composición de tamaños por sexo de los ejemplares de anchoveta y la proporción sexual en peso.

De acuerdo a esto, se pudo tener una apreciación visual en terreno, de la condición reproductiva de la anchoveta durante el desarrollo del crucero de adultos. Los resultados indicaron que todas las hembras de los lances efectivos se encontraron con actividad gonadal de desarrollo ovocitario y de desove. Este antecedente fue corroborado por el monitoreo de la actividad de desove de la anchoveta en la I y II Regiones, y fundamentó el inicio del crucero, señalando un pleno desove, entre la tercera semana de julio y segunda semana de octubre de 2006, registrándose durante este período los valores más altos del índice de



actividad de desove, lo cual fue ratificado por la incidencia de ovocitos vitelogénicos, hidratados y la presencia masiva de folículos post-ovulatorios.

El muestreo consistió en abrir los ejemplares desde el ano hasta las aletas pectorales, seleccionando aquellos especimenes vivos, los cuales fueron inmediatamente fijados en formalina al 10% buferada (introducidos completamente en el fijador), la que se preparó según Santander *et al.* (1984), Hunter (1985), Oliva *et al.* (1989), Rojas y Oliva (1993), Oliva *et al.* (1998) y consiste en:

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

Para asegurar el efecto del agente de fijación y preservación de los ejemplares, se fijó un reducido número de ejemplares por recipiente, es decir, 15 ejemplares por recipiente, donde cada recipiente posee una capacidad de 3,0 litros.

La fijación es una etapa esencial de la técnica histológica, siendo de gran importancia la rapidez. Se debe tener presente, la velocidad de penetración del fijador en los diversos tejidos para conseguir y asegurar una máxima fijación, con el fin de conservar lo más parecido posible al estado vivo y protegerlo del ataque bacteriano. Evitar la autólisis de los constituyentes fundamentales debido a sus propias enzimas celulares; ya que ésta, llegaría a provocar la transformación de las proteínas en aminoácidos e insolubilizar los constituyentes celulares. También para evitar las distorsiones y retracciones que sobrepasen los límites compatibles con la obtención de cortes.



El formaldehído penetra rápidamente por lo que se pueden fijar piezas de un tamaño considerable por inmersión, con lo cual se evita una minuciosa disección del material a fijar (a bordo). No provoca fenómenos de superfijación por lo que las piezas pueden permanecer en formaldehído mucho tiempo. Estas condiciones de empleo tan sencillas hacen que el formaldehído sea el mejor fijador de conjunto. Los núcleos y el citoplasma son fijados correctamente. El formaldehído con sales neutraliza el ácido fórmico de la solución, reduciendo de esta manera el grado de basófilia. Los defectos del fijador pueden ser corregidos fácilmente mediante una postfijación.

3.3.3 Fracción de hembras (Proporción de sexo) (R)

La fracción de hembras (R, proporción sexual) fue estimada para cada lance de una submuestra compuesta por 100 ejemplares.

Debido al efecto de la preservación, el peso registrado fue corregido por un factor de corrección por fijación.

El peso medio de las hembras, al igual que la proporción sexual, se estimaron a través de los estimadores para muestreo bi-etápico, los que se presentan a continuación:

3.3.4 Peso promedio de hembras maduras (W)

De cada lance, las primeras 30 hembras maduras procesadas fueron utilizadas para la determinación del peso promedio del cuerpo. Se calculó el peso promedio para cada lance (W) y la varianza.



El peso promedio de las hembras es:

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{w}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad \text{Ec. 17}$$

Donde:

$$\bar{w}_i = \frac{\sum_{j=1}^{m_i} y_{ij}}{m_i} \quad \text{Ec. 18}$$

Donde:

- W = Peso medio estimado de las hembras
- \bar{w}_i = Peso medio de las hembras en el lance i
- y_{ij} = Peso de la hembra j -ésima en el lance i
- n = Número de lances muestreados
- m_i = Número de hembras examinadas en el lance i

3.3.5 La varianza del peso medio estimado de las hembras es:

$$\hat{v}(\bar{y}) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i^2 (\bar{w}_i - W)^2}{(\sum_{i=1}^n m_i / n)^2 n / (n-1)} \quad \text{Ec. 19}$$

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



3.3.6 Proporción sexual en peso (\hat{R})

La proporción sexual en peso es:

$$\hat{R} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \hat{R}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad \text{Ec. 20}$$

Donde:

$$\hat{R}_i = \frac{\sum_{l=1}^{l_i} y_{il}}{\sum_{j=1}^{m_i} x_{ij}} \quad \text{Ec. 21}$$

Donde

- \hat{R} = Proporción de hembras en peso
- \hat{R}_i = Proporción de hembras en el lance i
- y_{il} = Peso de la hembra l en el lance i
- x_{ij} = Peso del ejemplar j en el lance i
- n = Número de lances muestreados
- m_i = Número de ejemplares examinados en el lance i
- l_i = Número de hembras examinadas en el lance i

3.3.7 La varianza de la proporción sexual en peso es:

$$\hat{v}(\hat{R}) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i^2 (\hat{R}_i - \hat{R})^2}{(\sum_{i=1}^n m_i / n)^2 n / (n-1)} \quad \text{Ec. 22}$$

3.3.8 Corrección debido al fijador

Debido a que los peces se preservaron en formalina hasta su procesamiento en laboratorio, fue necesario aplicar una corrección a los registros de longitud y peso,



ya que el fijador introduce una variación en estos parámetros. De acuerdo a lo recomendado por Hunter (1985), en el sentido que dentro de los factores que influyen en esta variación están las diferencias interespecíficas, tamaño de los peces, estado del pez cuando es preservado, tiempo en formalina y razón de formalina y diluyente. Dado que los efectos de preservación en formalina son muy específicos, es necesaria una calibración para cualquier cambio de técnica, especie o estadio de vida. Este factor de corrección fue calculado de acuerdo a: Una muestra de 30 machos y 30 hembras, se pesaron en fresco, para luego ser fijadas, con la misma solución y procedimiento a utilizar a bordo, siendo vueltos a pesar a intervalos regulares. El factor de corrección para cada parámetro y sexo, fue calculado como la media del porcentaje de variación de las mediciones efectuadas después de 48 horas desde la fijación.

3.4 Objetivo específico 2.4

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

3.4.1 Clasificación de los huevos de anchoveta de acuerdo a estadios de desarrollo

De acuerdo a los cambios morfológicos que se producen en el transcurso de la embriogénesis, la clasificación de los huevos de anchoveta por estadio de desarrollo se efectuó en la totalidad de los ejemplares de cada muestra, en base a la escala de 11 estadios propuesta por Santander *et al.*, (1984) (**Tabla 4**). Los huevos que no pudieron ser asignados a ninguno de dichos estadios, debido a opacidad o daño en sus estructuras internas, se clasificaron como deteriorados (DET).



3.4.2 Determinación de la edad de los huevos de anchoveta

La determinación de la edad de los huevos de anchoveta se efectuó mediante un procedimiento automatizado descrito por Lo (1985), el cual se programó en Visual Basic for Applications. El procedimiento asigna la edad sobre la base de los datos de fase de desarrollo, temperatura del agua en el momento de la captura y hora de la pesca. Cabe señalar, que el valor de temperatura utilizado es el registrado en el medio a 10 m de profundidad.

El modelo temperatura-estado de desarrollo dependiente, planteado por Lo (1985) es el siguiente:

$$y_{it} = a e^{(bt+ci)} i^d \quad \text{Ec. 23}$$

Donde :

y_{it} = Edad promedio de los huevos del estado i -ésimo a la temperatura t
 a, b, c, d = Parámetros del modelo

El ajuste del modelo a través del estudio experimental entregó la siguiente expresión:

$$y_{it} = 16,07 e^{-(0,1145t+0,098i)} i^{1,74} \quad \text{Ec. 24}$$

La estimación definitiva de la edad (y_{itk}) corresponde a la edad promedio (y_{it}) obtenida del modelo de temperatura dependiente ajustada por la hora de la pesca (k), asumiendo que el máximo del desove se produce a las 22:00 horas y



ajustando la edad por la porción del día desde las 22:00 horas previas hasta el momento de la recolección para el día más cercano.

La expresión básica para la determinación de la edad de los huevos es:

$$y_{itk} = y_{it} + k - T \quad \text{Ec. 25}$$

Donde:

- i = Fase de desarrollo
- t = Temperatura en °C
- k = Hora de la estación
- T = Tiempo esperado para el huevo fase de desarrollo i , el cual se estima a través de:

$$T = \text{Residuo de } (Y_{it} + 22) / 24 \quad \text{Ec. 26}$$

Las decisiones de corrección según la hora de la estación (k) son:

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

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

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



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

3.4.3 Estimación de la producción diaria de huevos en el mar y la tasa de mortalidad

El parámetro P_0 , producción diaria de huevos en el mar, es el número de huevos desovados por noche, por unidad de área. Es el parámetro que aporta mayor varianza, razón por la cual actualmente se siguen buscando nuevas alternativas de aumento de la precisión del estimador. Utilizando el procedimiento entregado por Picquelle y Stauffer (1985), la abundancia de los huevos a las edades determinadas se analizó utilizando el siguiente esquema de muestreo sistemático: el área de muestreo se dividió en rectángulos de $5 \times 10 \text{ m}^2$. En el centro de cada rectángulo se obtuvo una muestra de zooplancton equivalente a $0,05 \text{ m}^2$ de superficie. Este diseño de muestreo asume que la distribución de los huevos al interior de un bloque es independiente de la distribución dentro de los bloques adyacentes (P. Smith, en Picquelle y Hewitt, 1983).

La estimación de la Producción Diaria de Huevos, involucra la agrupación por cohortes diarias, la inclusión de las estaciones “cero” dentro del área de desove y en casos en que se esperan cohortes, pero éstas no son muestreadas y finalmente por el ajuste a través de una regresión no lineal ponderada por el inverso del error estándar a intervalos de 0,5 días. La metodología a seguir es:



- 3.4.3.1** Una vez asignada la edad según estadio, temperatura, hora de colecta y pico de desove diario (ya explicado en punto anterior) se acumulan los huevos de los estadios según cohortes diarias (<1, 1, 2, 3 y 4 días). Según la temperatura de la estación pueden resultar hasta 4 cohortes diarias. La edad corresponde a un promedio ponderado por el número de huevos en cada estadio. En aquellas cohortes que no se encontraron huevos se les asigna la edad esperada según hora de recolecta y pico de desove diario (i.e. 22:00 h).
- 3.4.3.2** Se incluyen las estaciones negativas (sin huevos) que quedan circunscritas en lo que se define como área de desove. Se les asigna la edad según hora de recolecta y pico de desove.
- 3.4.3.3** Se excluyen los huevos menores a 4 horas por estar muy cercanos al pico de desove (submuestreo).
- 3.4.3.5** Se excluyen los huevos en edades superiores, que por estar cercanas a la eclosión son submuestreados. Se puede aplicar un corte del 15-20% de las edades superiores o al 90% de la edad de eclosión según la temperatura promedio o la mayor del crucero. Para el 2005 se cortó según el 90% de la edad según temperatura de la estación.
- 3.4.3.6** Se estima el error estándar del número de huevos según categorías de 0,5 días.
- 3.4.3.7** Se realiza el ajuste no lineal ponderado por el inverso del error estándar del número de huevos según categorías de edad (0,5 días).



La producción diaria de huevos y la tasa de mortalidad son estimadas según el modelo de regresión no lineal de tipo exponencial dado por el modelo:

$$P_t = P_0 e^{(-zt^*)} \quad \text{Ec. 27}$$

Donde:

- P_t^* = Número de huevos por 0,05 m² en la edad t^*
 P_0 = Producción diaria de huevos por unidad de área (0,05 m²)
 z = Tasa instantánea de mortalidad diaria de huevos
 t^* = Edad en días de los huevos

En el modelo el intercepto P_0 representa la producción diaria de huevos en $t^* = 0$, mientras z indica la tasa de mortalidad de huevos. Este modelo asume que todos los huevos son desovados y fertilizados a una hora fija y que están afectados por una tasa de mortalidad constante z .

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

Una vez estimado los parámetros y sus varianzas asociadas, se estima el coeficiente de variación ($CV[P_0]$), que en el caso de la producción de huevos queda expresado como:

$$CV[\hat{P}_0] = \frac{\sqrt{\hat{v}(P_0)}}{\hat{P}_0} \quad \text{Ec. 28}$$



Donde:

$v(P_0)$ = Varianza estimada de P_0

Luego se sigue con la metodología ya aplicada, es decir se expande la producción diaria de huevos por unidad de área (número de huevos/0,05 m²) al área total de desove del recurso.

Cabe señalar que, en la búsqueda de estimadores de menor varianza, Borchers *et al.*, (1997) plantean la utilización de modelos aditivos generalizados para estimar la producción diaria de huevos, alternativa que puede ser explorada en futuras aplicaciones del MPH en Chile.

El cálculo de la producción diaria de huevos ponderada para el área total (P) es realizado desde el valor de P_0 y el área ponderada por estratos, de esta manera:

$$P = \left(P_{01} \frac{A_1}{A} + P_{02} \frac{A_2}{A} \right) K \quad \text{Ec. 29}$$

Donde P_{01} y P_{02} corresponden a la producción diaria de huevos por unidad de muestreo para el área de desove (A_1) y el área negativa (A_2) respectivamente y A es el área total del crucero ($A_1 + A_2$). K es un factor de conversión desde la unidad muestral a mn².

La varianza ajustada de P para post-muestreo estratificado puede estimarse como:

$$S^2_{(P)} = \left(1 + \frac{1}{n} \right) \left(\frac{A_1}{A} S^2_{(P_{01})} + \frac{A_2}{A} S^2_{(P_{02})} \right) \quad \text{Ec. 30}$$



La cual no incorpora el estrato 0, presumiendo que su varianza es igual a cero.

3.5 Objetivo específico 2.5

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

3.5.1 Análisis microscópico de los ovarios

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

3.5.2 Estimación de la fracción diaria de hembras desovantes (F)

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

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



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

En la clasificación por edades de los folículos postovulatorios, se utilizaron criterios citológicos y morfohistológicos propuestos por Hunter y Goldberg (1980) para *E. mordax* y por Macewicz y Hunter (1993) para *T. symmetricus*. Se asume que los cambios citológicos y morfohistológicos que experimentan los folículos postovulatorios de *E. ringens* son cronológicamente similares a los señalados para aquellas especies, lo cual permite la diferenciación de folículos postovulatorios nuevos como también de día 1 y 2. Para la determinación de la frecuencia de hembras desovantes se utilizaron sólo los ovarios con folículos postovulatorios.

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



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

$$\bar{F}_i = \frac{m_{hi} m_{1i} m_{2i}}{m_i m_i m_i} \quad \text{Ec. 31}$$

Donde:

$$m_i = m_{hi} + m_{1i} + m_{2i} + m_{ai} \quad \text{Ec. 32}$$

y cada uno de los términos son:

m_{hi} = Número de hembras hidratadas en el lance i .

m_{1i} = Número de hembras de día 1 en el lance i .

m_{2i} = Número de hembras de día 2 en el lance i .

m_{ai} = Número de hembras que no han desovado entre las 9 y 56 horas (incluidas las hembras con folículos postovulatorios con una edad menor de 9 horas).

m_i = Número de hembras maduras en el lance i .

\bar{F}_i = Fracción desovante en el lance i .

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

$$m_{hi} = \frac{m_{1i} + m_{2i}}{2} \quad \text{Ec. 33}$$



De esta forma, la fracción desovante del lance i es:

$$\bar{F}_i = \frac{\sum m_{1i} + m_{2i}}{2 \sum \left[\frac{m_{1i} + m_{2i}}{2} + m_{1i} + m_{2i} + m_{ai} \right]} = \frac{\sum m_{1i} + m_{2i}}{2 \sum m_{yi}} \quad \text{Ec. 34}$$

A partir de esta expresión, se obtiene la fracción promedio de hembras desovantes total, de la forma:

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

cuya varianza es:

$$V(\bar{\bar{F}}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum \left(\frac{m_{yi}}{m} \right)^2 (F_{yi} - \bar{\bar{F}})^2 \quad \text{Ec. 36}$$

Donde:

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

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

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

$$\bar{m} = \sum \frac{m_{yi}}{n} \quad \text{Ec. 37}$$

n = Tamaño de muestra



3.6 Objetivo específico 2.6

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

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

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

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

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

El procedimiento técnico de recuento se inició con la absorción de líquido superficial del ovario con papel filtro, submuestreando la mitad más grande del ovario. Se tomaron tres segmentos del tejido, uno del centro y dos de la parte media entre el



centro y los extremos del eje mayor del ovario. Estas tres submuestras fueron de aproximadamente 0,2 g cada una, asegurando una cantidad no inferior a 100 ovocitos hidratados por submuestra.

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

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

$$\bar{E}_i = \bar{n}_o W_i \quad \text{Ec. 38}$$

Donde:

- \bar{E}_i = Fecundidad parcial (número total de ovocitos hidratados en el ovario).
- W_i = Peso húmedo del ovario (g).
- \bar{n}_o = Número promedio de ovocitos hidratados por gramo de submuestra.

El Método de Producción de Huevos requiere la estimación de la fecundidad media poblacional o modal, es decir, del número de ovocitos liberados por una hembra promedio representativa del total de la población de hembras maduras. Para ello es necesario ajustar un modelo que explique los datos de la fecundidad parcial en función de un parámetro corporal. De acuerdo a lo reportado por otros autores (Santander *et al.*, 1984; Rojas y Oliva, 1993; Claramunt *et al.*, 1996 y en Claramunt *et al.*, 1997) el mejor modelo es el que se relaciona con el peso corporal (peso total menos peso gónada). Se asumió que esta relación es la que explicó las variaciones



de la fecundidad parcial. Esto se probó mediante análisis de regresión y pruebas estadísticas, las que definieron que el mejor modelo que explicó las variaciones de la fecundidad parcial en el período de estudio es el lineal.

$$Y'_{ji} = a + bx \quad \text{Ec. 39}$$

Donde:

Y'_{ji} = Fecundidad parcial estimada de la hembra j en el lance i .

a y b = Parámetros del modelo (intercepto y pendiente).

x_{ji} = Peso corporal (peso total menos peso ovario) de la hembra j en el lance i .

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

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

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

$$\overline{\overline{E}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \overline{E}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad \text{Ec. 40}$$

Donde:

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

m_i = Número de peces muestreados en el lance i .

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



Dado que para el promedio se utiliza la fecundidad parcial estimada a trav3s del modelo de regresi3n, es decir, cada estimado tiene su propia varianza asociada, entonces la estimaci3n de la varianza de la fecundidad media poblacional se debe ajustar para incluir esta variaci3n adicional.

$$Var(\bar{E}) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i^2 \left[\frac{(\bar{E}_i - \bar{E})^2}{n-1} + \frac{S_h^2}{n_h} + (\bar{W}_i^* - \bar{W}_h^*) Var(\hat{\beta}) \right]}{\left[\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{n} \right]^2 n} \quad \text{Ec. 41}$$

Donde:

- \bar{E} = Estimado de la fecundidad media poblacional.
- \bar{E}_i = Promedio de la fecundidad para el lance i .
- S_h^2 = Varianza de la regresi3n.
- n_h = N3mero de hembras hidratadas utilizadas para ajustar la regresi3n.
- W_i^* = Peso corporal promedio para el lance i .
- W_h^* = Peso corporal promedio de hembras utilizadas en la regresi3n.
- $Var(\beta)$ = Varianza de la pendiente de la regresi3n.
- n = N3mero de lances.

3.7 Objetivo espec3fico 2.7

“Estimar la biomasa del stock desovante de anchoveta y su varianza asociada, incluyendo la covarianza de los par3metros de adultos”

El m3todo se basa en el modelo desarrollado por Parker (1980) y modificado por Stauffer y Piquelle (1980):

$$B = K \frac{P_o^* W}{R^* F^* E} \quad \text{Ec. 42}$$



Donde:

- B = Biomasa desovante en toneladas métricas.
 P_o = Producción diaria de huevos en el área investigada (huevos producidos por 0,05 m² por día).
 W = Peso promedio de las hembras maduras (g) de la población.
 R = Proporción de sexos (fracción de hembras de la población en peso).
 F = Fracción de hembras maduras que desovan por día.
 E = Fecundidad parcial (número promedio de huevos desovados por hembra por desove).
 K = Factor de conversión de gramos a toneladas métricas.

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

$$\begin{aligned} \text{Var}(B) = & B^2 \{ \text{Var}(P_o) / P_o^2 + \text{Var}(W) / W^2 + \text{Var}(R) / R^2 + \text{Var}(E) / E^2 \\ & + \text{Var}(F) / F^2 + 2[\text{Cov}(P_o W) / P_o W - \text{Cov}(P_o R) / P_o R - \text{Cov}(P_o E) / P_o E \\ & - \text{Cov}(RF) / P_o F - \text{Cov}(WR) / WR - \text{Cov}(WE) / WE - \text{Cov}(WF) / WF \\ & + \text{Cov}(RE) / RE + \text{Cov}(RF) / RF + \text{Cov}(FE) / FE] \} \end{aligned} \quad \text{Ec. 43}$$



3.8 Objetivo específico 2.8

“Realizar un análisis de la distribución espacial de huevos asociada a variables oceanográficas, utilizando las bases de datos de los proyectos anteriores y los resultados del presente proyecto”

3.8.1 Exploración de las relaciones entre la distribución de huevos de anchoveta y las variables oceanográficas

Para efectuar el análisis integrado de las variables recolectadas se realizó un estudio espacio-temporal de la distribución y abundancia de los huevos de anchoveta y de las variables oceanográficas asociadas. Para ello se validaron los archivos de la base de datos correspondientes a 12 cruceros bio-oceanográficos realizados en el período de invierno entre los años 1992-2006. La información considera los siguientes registros: fecha, latitud y longitud de las lecturas de huevos de anchoveta y su correspondiente valor de densidad; asimismo, se utilizan los datos de temperatura y salinidad superficial provenientes de las estaciones oceanográficas.

3.8.1.1 Procesamiento de la información

Para el análisis integrado de las variables registradas tanto pesqueras como bio-oceanográficas, se utilizó como plataforma de trabajo los sistemas de información geográfica (SIG) IDRISI (Eastman, 1997) y TNTmips (Microimages, 1997). El objetivo principal de la utilización del SIG es la de superponer distintos planos de información, por ejemplo datos bio-oceanográficos, pesqueros o imágenes satelitales, para encontrar relaciones espaciales y temporales.

La confección de mapas implico realizar previamente la georreferenciación de la costa, que se obtuvo desde las cartas náuticas electrónicas (CNE) del SHOA,



mediante la técnica de Control de Puntos (Buttler *et al.*, 1990). Luego se confeccionaron los archivos de vectores bases en formato SIG, los que contemplaron, la georreferencia con sus respectivos datos.

Con el objeto de relacionar y superponer los distintos planos de información, que poseen diferentes coberturas espaciales y distintas escalas y/o resoluciones geográficas, fue necesario transformar los mapas para que se encuentren en una idéntica escala espacial, de este modo las cartografías deben poseer una misma resolución y cobertura geográfica. Lo anterior significó generar imágenes en rasters que tengan similar cantidad de filas y columnas, a través del módulo RESAMPLE del SIG. Por otra parte, con el propósito de favorecer el análisis visual de las imágenes creadas, éstas fueron reclasificadas en clases de valores, los cuales se asocian a diferentes colores. Para ello se utilizaron dos módulos del SIG: a) módulo RASTER HISTO, que permite conocer y analizar la distribución de frecuencia de los valores de las variables cartografiadas, y b) módulo REPLACE, que reclasifica los valores de las celdas de una imagen.

3.8.1.2 Análisis integrado

Con los SIG mencionados y para detectar la posible asociación entre la distribución de los huevos y los parámetros ambientales, se desarrollaron tres enfoques: a) se realizó un análisis espacial y visual de la información realizando la cartografía de las variables y explorando las correlaciones espaciales cruzadas (crosstabulaciones) y se calculó el número de celdas de huevos respecto de la temperatura y salinidad con el propósito de generar gráficos con la frecuencia (número de celdas) respecto de dichas variables, b) se estiman los centros de gravedad (CG) de las distribuciones de huevos de anchoveta; y c) se realizó un modelamiento estadístico de la densidad de huevos asociado a variables ambientales.



3.8.2 Análisis cartográfico entre la distribución de huevos de anchoveta y las variables oceanográficas

Para establecer las relaciones se realizaron asociaciones cruzadas entre la distribución de los huevos de la especie y las variables oceanográficas, se generaron los gráficos con la frecuencia (número de celdas) de la distribución de los huevos con respecto a la temperatura y la salinidad. Con esto se determinaron rangos óptimos de preferencia en relación a dichas variables.

Para establecer las relaciones entre las variables, en primer lugar se realizó un estudio visual (en pantalla) de las imágenes generadas, luego se ejecutaron asociaciones cruzadas entre la distribución de los huevos y las variables oceanográficas; posteriormente, se generaron los gráficos con la frecuencia (número de celdas) de la distribución del ictioplancton con respecto a la temperatura y salinidad.

3.8.3 Determinación de los centros de gravedad (CG)

Una vez realizada la cartografía se procede a calcular los índices estadísticos de los mapas. En el caso de las cartografías de huevos de anchoveta, se calculó el centro de gravedad de las cartografías (CG).

Para el cálculo del CG para cada crucero se utilizó la siguiente fórmula:

$$CG_n = \frac{\sum_{i=1}^m (Lat(Long_{in}) * Den_{in})}{\sum_{i=1}^m (Den_{in})} \quad \text{Ec. 44}$$



donde:

CG_n = Centro de gravedad del n-ésimo crucero.

$Lat(Long)_{in}$ = Latitud (Longitud) de la i-ésima estación.

Den_{in} = Densidad de huevos de la i-ésima estación.

3.8.4 Modelamiento estadístico de la densidad de huevos de anchoveta asociado a variables ambientales

Existe más de una aproximación para realizar el análisis de los datos, puede ser en un enfoque diseño basado (Cochran, 1977) acorde con el diseño implícito en la toma de datos o modelo basado, sobre la base de la distribución de probabilidades de las variables. Los datos que se analizan se caracterizan por presentar una proporción importante de estaciones negativas (muestras en las cuales no se observan huevos), los que siguen una distribución delta (Aitchison & Brown, 1957; Pennington, 1983), donde los valores ceros son tratados separadamente y los valores positivos se ajustan a una distribución log-normal. Con el advenimiento de nuevas herramientas estadísticas, las componentes de la distribución delta han sido modeladas como función de factores o covariables a través de modelos lineales generalizados (McCullagh & Nelder, 1983; Stefansson, 1996) y/o modelos aditivos generalizados (Hastie & Tibshirani, 1990; Gordon & Huang, 1992; Augustin *et al.*, 1998).

Dado que el objetivo de este análisis se orienta a conocer la relación entre las variables oceanográficas y la distribución de huevos de anchoveta, se hizo uso de estos últimos modelos. Inicialmente se propuso el empleo de modelos lineales generalizados, pero posteriormente se optó por los modelos aditivos generalizados (GAM), atendiendo a la naturaleza no lineal de los predictores de localización y oceanográficos considerados. El GAM es un método estadístico,



similar al de regresión clásica, pero con supuestos distribucionales más generales, además de no suponer linealidad en las covariables. El GAM tiene la siguiente forma general (Hastie & Tibshirani, 1990).

$$E(y) = g^{-1} \left(\beta_0 + \sum_k S_k(x_k) \right)$$

La función $g(\cdot)$ es la función de enlace, la cual define la relación entre la respuesta y el predictor lineal $\beta_0 + \sum_k S_k(x_k)$. La respuesta, y , se asume que se distribuye de acuerdo a una de una amplia familia de distribuciones estadísticas. El término x_k es el valor de la k -ésima covariable. El término β_0 es un intercepto, y $S_k(\cdot)$ es una función de suavizamiento unidimensional para la k -ésima covariable.

Las variables de interés a modelar correspondieron a la presencia y a la densidad de huevos (número x 0,05 m⁻²) dada la presencia de éstos. Ambas variables fueron modeladas separadamente, como una función de variables de localización (latitud, longitud) y oceanográficas (salinidad y temperatura), las cuales fueron introducidas en el modelo a través de funciones no-paramétricas suaves, de la forma de los suavizadores splines cúbicos (Hastie y Tibshirani, 1990); además, se incorporó un predictor lineal correspondiente al año. Este último factor permite conocer la tendencia del índice, en un contexto interanual, para la probabilidad media de éxito (presencia) y para la densidad de huevos dada su presencia.



La variable de respuesta, presencia de huevos, fue modelada considerando una distribución de probabilidad binomial con una función de enlace logit, sobre esta base se realizaron los ajustes y se probaron además, los métodos alternativos de cuasi-verosimilitud y robusto. Finalmente, se seleccionó del método de ajuste robusto de cuasi-verosimilitud basado en el criterio de Cp de Mallows (Neter, 1990).

En el caso de la variable densidad de huevos, en la modelación se utilizó la distribución de probabilidad log-normal por lo tanto, el modelo utilizado considera el logaritmo de la densidad de huevos como respuesta, con distribución normal y función de enlace identidad. Los ajustes empleados además del clásico fueron cuasi-verosimilitud y robusto, seleccionándose sobre la base del criterio de Cp de Mallows, un ajuste robusto.



VII. RESULTADOS

1. Monitoreo reproductivo que fundamentó el inicio del crucero

La información que se derivó del monitoreo reproductivo de la anchoveta, permitió establecer y definir la fecha de inicio del crucero de recolección de las muestras de huevos y adultos. Con el seguimiento del índice gonadosomático y de los indicadores histológicos tales como el índice de actividad de desove e índice de atresia ovárica, realizado durante los meses previos, se pudo determinar que la fecha de inicio del crucero no debería pasar del mes de agosto, ya que la actividad reproductiva de la especie estaba comenzando a incrementarse durante el mes de julio, detectándose a principios de agosto desoves importantes y muy intensos.

El análisis macroscópico realizado a las hembras de anchoveta con el fin de mantener el seguimiento del **IGS** a través de los meses, se inició en el mes de enero hasta diciembre de 2006, analizándose un total de 13.291 hembras, cifra 43% menor respecto a lo medido en el año 2005 en igual fecha. Durante el mes de febrero el **IGS**, indicó un descenso de la actividad reproductiva de la anchoveta, mes donde se registró un valor porcentual del **IGS** de un 4,6%, llegando a cifras mínimas en otoño durante los meses de marzo (3,8%) y abril (3,7%). A partir del mes de mayo, el **IGS** exhibió un leve repunte (4,5%), en junio se observó claramente la reactivación de la actividad reproductiva, con un **IGS** igual a 5,2%, actividad que se intensificó a finales de julio, con desoves importantes en agosto y septiembre, meses donde el **IGS** presentó sus máximos 7,4% y 6,7%, respectivamente. Posteriormente, en octubre la actividad reproductiva de la especie comenzó gradualmente a disminuir (**IGS** = 6,4%), manteniéndose durante noviembre y diciembre en un **IGS** igual a 6,0% (**Figs. 2 y 3**).



Por otro lado, el cálculo de los índices microscópicos, se sustentó en la observación histológica de 2.481 hembras (cifra 21% menor respecto al año 2005), las que fueron muestreadas semanalmente desde la primera semana de julio hasta la última semana de diciembre, a objeto de intensificar y precisar el monitoreo de la actividad reproductiva de la anchoveta en el período de incremento del **IGS**. Si bien el número de hembras analizadas fue inferior con respecto al año 2005, esta cantidad fue adecuada en la obtención de la información requerida, la que fue complementándose con la información del **IGS**.

El análisis microscópico efectuado a las anchovetas recolectadas en la I y II Región, evidenció hacia fines del mes de julio, una actividad reproductiva masiva, caracterizándose ésta, por la presencia de ovarios con ovocitos vitelogénicos, hidratados y folículos postovulatorios.

La actividad de desove se intensifica a partir de la tercera semana de julio, dando inicio al período de pleno desove, hecho sustentado por la presencia de ovarios en vitelogénesis y la mayor incidencia de hembras hidratadas y con folículos postovulatorios, el cual se prolongó hasta la cuarta semana de octubre de 2006, observándose los mayores valores del índice de actividad de desove durante agosto y septiembre. En las semanas de noviembre y diciembre, el índice de desove manifiesta una tendencia al descenso, registrando un valor de 11% en la última semana de diciembre de 2006 (**Tabla 5; Fig. 4 y 5**).

El análisis de los ovarios a partir de octubre, indicó que el recurso aún estaba desovando, pero con una menor intensidad, visualizándose bajos indicios de atresia ovárica, con valores más altos en la segunda semana de octubre (2,6%) y en la última semana de noviembre (3,3%), lo que es concordante con la disminución de la intensidad de desove (**Tabla 5**).



En el ciclo reproductivo normal de la anchoveta, la mayor atresia ovárica se observa en otoño, concordante con el período de menor actividad reproductiva o de reposo sexual relativo. La atresia disminuye hasta ser insignificante o nula en los procesos reproductivos masivos y de plena actividad de desove, normalmente durante junio a la primera quincena de octubre. En octubre, se visualiza un leve repunte, evidenciando los primeros indicios de disminución de la intensidad de desove, la que se mantiene en valores relativamente estables hasta finales e inicio de cada año.

El análisis macroscópico y microscópico de la actividad reproductiva para el año 2006, señaló que el mayor desove de la anchoveta se verificó en el bimestre agosto-septiembre, visualizándose durante este período, los índices reproductivos más altos.

2. Objetivo específico 2.1

“Determinar la distribución y abundancia de huevos de anchoveta”

Durante la prospección se determinó la presencia de huevos de *E. ringens* en 226 estaciones de un total de 799 lances efectuados con red CalVET, con una abundancia de 11.434 huevos/ 0,05 m². La media de huevos por estación positiva en invierno de 2006 alcanzó a 51 ejemplares (**Tabla 6**), (DS = 202,2), cifra 30,8% menor respecto a la obtenida en invierno de 2005 y levemente menos dispersos (DS = 212,4), situación que señala una intensa actividad reproductiva en la zona de estudio (**Figs. 6 y 7**).



El área prospectada fue de 41.448 mn², siendo de las mayores áreas cubiertas en aplicaciones del MPH. El área de desove estimada correspondió a 14.408 mn², que corresponde a un valor alto dentro de los rangos obtenidos en otras aplicaciones del método (**Tabla 6**).

En relación a la intensidad y extensión espacial del desove, las densidades promedio por estaciones positivas y totales, muestran una situación distinta con respecto al invierno de 2005. Es así, como la intensidad y la cobertura geográfica del desove experimentaron una disminución igual a 33,8% y 42,3%, respectivamente (**Tabla 6**).

Los huevos de anchoveta se distribuyeron desde Arica hasta Tal-Tal y desde la primera milla hasta una distancia máxima de 80 mn de la costa. Estos exhiben una importante cobertura espacial, particularmente entre Tocopilla y Arica, apreciándose una alta frecuencia de estaciones positivas, pudiendo observarse una zona de desove más oceánico, donde el mayor porcentaje de las estaciones con presencia de huevos se detectó por sobre las 35 mn entre Arica y caleta Camarones (19°10'S), mientras que hacia la zona nerítica, prácticamente no se registraron focos con huevos, a excepción de las estaciones localizadas en el borde costero. Desde punta Camarones hacia el sur, el patrón de distribución denota un cambio. Desde punta Camarones hasta punta Junín (19°40'S), los huevos extienden su distribución hacia la costa, pero desde Mejillones del Norte (19°50'S) hacia el sur, éstos prácticamente desaparecen de las estaciones más oceánicas y tienden a mantenerse bastante agregados y con una alta frecuencia entre las 15 y 40 mn.

A partir de punta Urcos (21°50'S), el desove comienza a denotar una disminución en el sentido de que los focos comienzan a hacerse menos frecuentes y a estar mas aislados unos de otros, además se reduce considerablemente el número de



huevos detectados en la mayoría de las estaciones situadas en esta zona. En general, los huevos aquí se localizan indistintamente sin un patrón característico, haciéndose cada vez menos frecuentes hacia el extremo sur de la zona de estudio (**Fig. 7**).

Las estaciones que concentraron el mayor número de huevos fueron las localizadas entre las 20 y 35 mn frente a punta Chucumata ($20^{\circ}30'S$) y a 1 mn de caleta Caramucha ($20^{\circ}40'S$), punta Patache ($20^{\circ}50'S$), punta Yeves ($22^{\circ}50'S$) y punta Chacaya ($23^{\circ}00'S$), las que exhibieron abundancias comprendidas entre 390 y 2.563 huevos/0,05 m². La estación con la mayor abundancia de huevos se registró a 1 mn de punta Patache.

El análisis de la abundancia promedio de los huevos por transecta, con respecto a la latitud indica una tendencia a disminuir hacia el extremo norte de la zona de estudio, específicamente entre Arica y punta Junín, y a hacerse menos constantes y muy esporádicos desde punta Amarilla ($24^{\circ}00'S$) a caleta Hueso Parado ($25^{\circ}20'S$) y a desaparecer completamente desde esta última localidad hasta Carrizalillo ($26^{\circ}00'S$) (**Fig. 8a**). Con respecto a la distancia de la costa, los huevos tienden a mantenerse en altas concentraciones en la primera milla de la costa, secundado por las estaciones situadas a 5, 20, 25 y 30 mn, reduciéndose de manera significativa hacia las estaciones más oceánicas (**Fig. 8b**).

Durante el invierno de 2006, el número de huevos presentes en la zona de estudio muestra una disminución con respecto al período invernal precedente del orden de un 31%, aunque las áreas de desove en ambos períodos cubren en general una similar extensión latitudinal y longitudinal, sin embargo en el 2005 se registró una extensa zona de desove que se constituyó en focos bastante contiguos y frecuentes



en el sector comprendido entre el norte de Tocopilla y el norte de Antofagasta, situación que no fue observada durante el invierno de 2006 (**Tabla 6; Fig. 9**).

3. Objetivo específico 2.2

“Registrar las condiciones oceanográficas asociadas al crucero de huevos de anchoveta”

3.1 Vientos

Los vientos medidos en las estaciones (**Fig. 10a**) registraron un 70% de magnitudes inferiores a los 5 m/s, mientras que un 28% fueron entre 5 a 10 m/s y solo un 2% del total de vientos presentó una magnitud superior a los 10 m/s. En dirección, el porcentaje de viento proveniente del tercer y cuarto cuadrante, lo que significa que es un viento con componente favorable a la surgencia, fue del 89%. Claramente el área de mayor intensidad del viento fue la que abarca desde punta Coloso (23°40'S) a punta Plata (24°30'S).

El índice de surgencia promedio (**ISP**) (**Fig. 10b**) indicó valores positivos excepto para los datos de los 26°S, sin embargo, éste fue de un valor muy bajo, 22 m³/s por 1000 m de costa. El valor máximo de **ISP** fue de 1356 m³/s que corresponde a aquellos ubicados entre las latitudes 24° y 25°S. El mínimo positivo fue de 28 m³/s entre los paralelos 20° y 21°S, mientras que el promedio general de la zona fue de 448 m³/s. El Índice de turbulencia promedio (**ITP**) (**Fig. 10c**) máximo en el área costera llegó a 472 m³/s³ y en el área oceánica a 463 m³/s³, ambos entre las latitudes 24° y 25°S. El mínimo costero y oceánico se registró entre los paralelos 20° y 21°S y fueron de 18 y 34 m³/s³, respectivamente. Los promedios generales para ambas áreas fueron similares, con 114 y 146 m³/s³.



El período de tiempo que presenta la serie de Índice de surgencia (**IS**), obtenido de los vientos medidos en los aeropuertos de Antofagasta e Iquique, indica que los **IS** instantáneos registraron un amplio predominio de valores positivos, (transporte hacia fuera de la costa) mientras que los **IS** negativos (transporte hacia la costa) son en general menos frecuentes y de menor magnitud.

El rango de **IS** instantáneo para Antofagasta fue de -554 a 2216 m³/s por 1000 m de costa (en adelante se indicará sólo m³/s). El máximo positivo se registró el día 16 de agosto, mientras que el valor mínimo (negativo) correspondió a los días 28 de agosto y 10 de septiembre. En general, los valores positivos diarios máximos de esta serie no superan los 1000 m³/s. El valor promedio de los **IS** del periodo fue de 284 m³/s, registrando la serie promedio diaria valores sólo positivos, excepto para el último día de medición.

Para el aeropuerto de Iquique, la serie de **IS** instantáneo indica un rango de valores de -845 a 1940 m³/s. El valor mínimo se midió los días 10 y 11 de agosto y el máximo señalado los días 29 y 30 de agosto. Este período registró un promedio de 234 m³/s. La serie promedio registra 3 eventos de **IS** negativo, que se presentan en el comienzo, centro y final de la serie (**Fig. 11**).

3.2 Temperatura

El sector oceánico desde Arica a punta Lobos, registró en superficie las máximas TSM del crucero, con valores que superaron los 17°C (**Fig. 12a**). Las altas temperaturas también abarcaron parte del sector costero, registrándose incluso el máximo de 18,1°C a 10 mn de la costa frente a Iquique. La temperatura disminuyó hacia el sur a valores comprendidos entre 15° y 16°C, con focos de menor



temperatura, 14° a 15°C, al sur de punta tres Picos (24°20'S). En la costa, no se observaron gradientes térmicos intensos y las mínimas temperaturas estuvieron muy localizadas desde punta Coloso al sur, midiéndose el mínimo de 13,6°C en la estación de la milla en los 24°30'S. El sector costero más cálido de la zona, correspondió a las inmediaciones de Arica, el cual registró temperaturas superiores a 17°C, en la línea de estaciones de 1 mn de distancia de la costa.

La anomalía de TSM (**Fig. 12b**) estuvo en el rango de -1,8° a 1,57°C, registrándose el máximo negativo a 35 mn en los 21°30'S y el positivo coincidió con el máximo de TSM. Los valores de anomalía estuvieron principalmente en el rango de $\pm 1^\circ\text{C}$ en toda la zona, con sólo algunos focos situados en áreas reducidas donde las anomalías superaron ese valor, como ocurrió frente a Iquique (positivas) y en caleta Chipana (negativas). El sector costero de Antofagasta registró anomalías positivas que superaron el valor de +1°C.

La **Figura 13** presenta la distribución semanal de la TSM satelital de agosto. En ella se aprecia que la temperatura superficial del mar en el área de estudio presentó un rango de variación entre los 12,5° y 18,5°C (zonas no cubiertas por nubes), ubicándose los máximos en el sector oceánico y los mínimos en el sector costero.

La primera semana del mes presentó una importante cobertura nubosa, dejando algunas áreas despejadas sólo en la costa. En las áreas despejadas se observaron TSM similares a las medidas en la última semana de julio. Las semanas segunda y tercera presentan en el área de Mejillones una disminución de cerca de 1°C en la TSM respecto de la semana anterior. El área costera que se presentó sin nubes al norte de los 22°00'S durante la tercera semana, muestra valores similares a la medida en las dos primeras. La cuarta semana es la que



registró la menor área cubierta de nubes durante el mes. En la cuarta y quinta semana se hace más evidente el predominio de temperaturas menores a los 16°C al sur de los 21°S, y el dominio de temperaturas de 18°C al norte de los 21°S. En la última semana (quinta), se registró una alta nubosidad en la mitad oceánica norte, mientras que en la mitad sur, se aprecia un desplazamiento de aguas frías hacia el sector oceánico, especialmente de Tocopilla al sur. Así también la aparición de temperaturas de 14°C cerca de la latitud 22°S y la aparición en la franja costera de gradientes térmicos débiles.

La primera semana del mes de septiembre (**Fig. 14**) tuvo un leve aumento de las temperaturas en aproximadamente +1,0°C respecto a la observado en las últimas semanas de agosto. La TSM satelital presentó en este período, una distribución de valores entre los 15° y 19°C, desde la costa hacia el sector oceánico, apreciándose la ausencia de temperaturas inferiores a los 15°C. En esta semana se destacó también la aparición de temperaturas mayores a 19°C en el sector oceánico frente a Iquique.

3.3 Salinidad

La salinidad superficial (**Fig. 12c**) registró sus más altos valores al norte de punta Lobos (> 35,0 psu). Un núcleo con valores mayores a 35,1 psu se ubicó en el borde oeste de la zona frente a punta Madrid. Las áreas oceánicas con mínimas de salinidad, se ubicaron hacia el borde sur de la zona, midiéndose valores entre 34,3 a 34,4 psu. El valor mínimo fue de 34,35 psu. Se destacó un amplio núcleo de valores menores a 34,8 psu entre caleta Chipana y punta Hornos. No se observaron gradientes intensos de salinidad en el sector costero, resaltando sólo los que se observaron al sur de Antofagasta.



Como ocurre con las anomalías de TSM, las anomalías de salinidad (**Fig. 12d**) se presentaron en la zona con un predominio de valores entre $\pm 0,1$ psu. Sin embargo, en esta variable se registraron focos de anomalías negativas mayores a $0,1$ psu (absoluto), destacándose el foco entre punta Lobos y punta Hornos, el cual tiene valores mayores a $-0,1$ psu y un máximo de $-0,46$ psu, bajo el promedio histórico, alcanzando máximos negativos de $0,3$ psu en focos oceánicos ubicados entre caleta Chipana y punta Copaca. De igual forma, destacó el foco de anomalías negativas que se encontró en el borde sur-oeste el cual superó también el valor de $-0,3$ psu. Se registró sólo un máximo positivo con valores $> 0,1$ psu que se ubicó frente a Iquique, pero ocupando un área reducida.

3.4 Temperatura y salinidad a 50 m de profundidad

A diferencia de lo que ocurre con la TSM, la temperatura de los 50 m (**Fig. 15a**) registró los valores máximos en la parte oceánica sur de la zona, destacándose el foco de valores sobre 16°C frente a punta Gualaguala y al sur de rada Paposo. No obstante lo anterior, la mínima temperatura a este nivel de profundidad, se registró en el sector costero del extremo sur-este de la zona, a una distancia de 20 mn de la costa y fue de $12,1^{\circ}\text{C}$. En la mitad norte predominaron los valores de temperatura entre 13° a $< 15^{\circ}\text{C}$.

Las diferencias térmicas entre la superficie y el nivel de 50 m (**Fig. 15b**) mostraron un predominio de valores entre 3° y 4°C en la mitad norte de la zona, mientras que en la mitad sur estas fueron de 0° a 2°C . El área oceánica central entre punta Lobos y Tocopilla estuvo en el rango de 2° a 3°C . En el sector costero, los rangos son menos amplios, destacándose un valor entre 2° a 3°C entre Arica y Antofagasta, y de 1° a 2°C en el resto del sector costero hacia el sur.



La salinidad en el nivel de 50 m (**Fig. 15c**) exhibió valores variables en la superficie del sector oceánico. Valores sobre 34,7 psu se registraron desde Arica a los 22°S, y menores a 34,5 psu al sur de la latitud 24°S. De Tocopilla a Antofagasta se presentó un área de transición, donde hubo diferentes núcleos de baja y de alta salinidad relativa. En la costa entre Arica y punta Copaca predominaron valores de salinidad > 34,8 psu, mientras que al sur de esta última localidad, las salinidades fluctuaron entre 34,7 y 34,8 psu.

Entre Arica y punto Lobos, la diferencia de salinidad entre ambos niveles (**Fig. 15d**) fue mayor a 0,2 psu, mientras que en el sector oceánico, entre caleta Chipana y Mejillones, la diferencia de salinidad fue negativa, 0 a -0,1 psu. Lo señalado se extiende hacia el sur pero a través del sector costero, alcanzando un máximo negativo de valores de -0,2 psu en Tal-Tal y punta Ballenita. En el sector oceánico, entre Antofagasta y el límite sur de la zona, los valores diferenciales de salinidad se presentaron entre 0 y 0,1 psu.

3.5 Profundidad de la isoterma de 15°C, su anomalía de profundidad y circulación geostrofica.

La profundidad de la isoterma de 15°C en la zona (**Fig. 16a**) estuvo en el rango de 0 a 97 m, ubicándose el máximo en la estación de 45 mn frente a Tal-Tal. Entre Arica e Iquique predominaron los valores de profundidad entre 30 y 40 m; entre Iquique y Tocopilla los valores fueron de 20 a 30 m; en el sector oceánico de Tocopilla a Antofagasta y en el borde noroeste de la zona éstos fueron mayores a 50 m. El sector costero de Antofagasta al sur tuvo valores entre 0 y 10 m, mientras que en el resto de la zona éstos alcanzaron entre 10 y 30 m, con un máximo costero de profundidad mayor a 30 m entre Iquique y punta Junín.



Las anomalías de esta variable (**Fig. 16b**) fueron en general negativas, con predominio de valores mayores a -10 m desde Tocopilla al norte, mientras que al sur de esta localidad, los valores fueron positivos, registrándose un foco de valores máximos frente a punta tres Picos, los que superaron los +10 m.

La anomalía geopotencial de superficie referida a 500 m (**Fig. 16c**), mostró la presencia parcial de tres giros anticiclónicos ubicados en el sector oceánico del área norte, central y sur, siendo esta última zona, la que tuvo las mayores velocidades relativas. El sector costero y oceánico central desde punta Tres Picos al sur, evidenció un flujo geostrofico débil hacia el norte, mientras que el resto de la zona mostró también un flujo hacia el norte, excepto en el área de los giros, pero que es de baja velocidad. El flujo geostrofico desde el sector oceánico hacia el costero, sería más importante para las secciones realizadas entre Arica y Pisagua.

3.6 Capa de mezcla, espesor de la termoclina y temperatura en la base de la termoclina

La capa de mezcla (**CM**) (**Fig. 17a**) tuvo un valor máximo de 51 m en la estación de punta Plata, a 80 mn de la costa, sin embargo, en el sector oceánico predominaron espesores entre 10 y 20 m. En el sector costero los espesores de la CM fueron de hasta 5 m. Áreas de CM menores a 5 m, se extendieron desde la costa hacia el sector oeste frente a Tocopilla y Mejillones. El sector costero de punta Coloso fue el que registró el mayor espesor, superando los 10 m.

La termoclina tuvo un espesor (**ET**) (**Fig. 17b**) general entre 5 y 10 m, con algunos focos aislados donde fue mayor a 10 m. En la costa, el ET fue en general menor a 5 m pero abarcó una estrecha franja (5 mn), haciéndose más amplia al sur de



Antofagasta (10 a 15 mn). La temperatura en la base de la termoclina (**TBT**) (**Fig. 17c**) fue mayor a 14°C en el sector oceánico entre Arica y caleta Chipana ($21^{\circ}30'\text{S}$). Al sur de esta latitud, la temperatura osciló entre 13° y 14°C . En la costa, ésta tuvo rangos similares a los oceánicos, excepto en el área entre Tocopilla y punta Coloso, donde la temperatura fluctuó entre 14° y 15°C , lo que fue 1°C mayor a lo medido en el área oceánica adyacente.

3.7 Profundidad base, gradiente promedio, gradiente máximo y profundidad del gradiente máximo en la termoclina.

La profundidad de base de la termoclina (**PBT**) (**Fig. 18a**) estuvo en el rango de 5 a 101 m, midiéndose el máximo en la estación de 50 mn frente a Tal-Tal. El área oceánica al sur de rada Paposo es la que registró las mayores profundidades de la base de la termoclina (> 60 m), encontrándose otro foco pero de menor área frente a punta Cobija. La menor profundidad base fue de 5 m en la estación de las 5 millas frente a rada Paposo.

El rango de gradiente térmico promedio en la termoclina (**GPT**) (**Fig. 18b**) fue de 0 a $1,18^{\circ}\text{C}/\text{m}$, midiéndose el máximo a 80 mn frente a punta Madrid. Áreas sin termoclina prácticamente no hubo. En casi toda la zona predominaron los gradientes térmicos de valor promedio entre $0,2$ a $0,4^{\circ}\text{C}/\text{m}$.

El gradiente máximo de la termoclina (**GMT**) (**Fig. 18c**) estuvo en el rango de $0,1$ a $1,75^{\circ}\text{C}/\text{m}$, registrándose el valor más alto a 60 mn frente a punta Junín. El mínimo de formación de termoclina ($0,1^{\circ}\text{C}/\text{m}$) se midió en algunas estaciones distribuidas aisladamente en la zona de estudio. Los GMT se presentaron en el área de Arica a punta Lobos y fueron mayores a $0,4^{\circ}\text{C}$, mientras que al sur de ésta área estuvieron en general entre $0,2^{\circ}\text{C}/\text{m}$ y $0,4^{\circ}\text{C}/\text{m}$, con algunos focos entre $0,4^{\circ}$ y



0,6°C/m. El rango de profundidad del gradiente máximo en la termoclina (**PGMT**) fue de 4 a 101 m, correspondiendo tanto la mínima profundidad como la máxima, a las estaciones que tuvieron los valores extremos de GPT ya mencionados.

3.8 Temperatura y salinidad vertical

En la vertical, la temperatura (**Fig. 19**) tuvo gradientes térmicos más intensos ubicados hacia el área norte de la zona, entre los 25 y 50 m de profundidad. Las transectas de Arica y punta Junín registraron una capa de agua que tuvo temperaturas mayores a 17°C, condición que no se observó en la transecta frente a punta Lobos. En la transecta de rada Paposó, la capa de agua de los primeros 50 m registró temperaturas entre 14° y 15°C. Todas las transectas mostraron ascensos de las isotermas en el área costera, lo que es más evidente en las secciones del área sur, en particular la transecta de rada Paposó. En las transectas de punta Copaca y rada Paposó se presentaron ascensos de aguas más frías en el área central de la transecta. Bajo el nivel de 200 m, las transectas registraron hundimientos de las isolíneas hacia la zona costera, siendo más notoria esta situación en las tres últimas secciones.

La salinidad en la vertical (**Fig. 20**) mostró una variada estructura que cambia en sentido longitudinal, lo que significa la presencia de capas de agua y núcleos de distintos valores y espesores. Se destaca una capa de máxima salinidad (> 35 psu) en los primeros 25 metros en las secciones de Arica y punta Junín, mientras que el máximo salino hacia el sur se ubicó a nivel subsuperficial, centrado en los 150 m de profundidad. El máximo subsuperficial disminuyó de norte a sur, tanto en tamaño como en espesor y también en el valor promedio de éste, siendo de salinidad superior a 34,9 psu en Arica y de 34,8 a 34,9 psu en rada Paposó. En las secciones desde punta Copaca al sur se observó la presencia de un núcleo de



mínima salinidad que se hizo de mayor tamaño hacia las transectas situadas al sur de la zona, abarcando en ellas la capa superficial del sector oceánico y hasta los 75 m de profundidad. En las transectas de Arica, punta Junín y punta Lobos se observó el ascenso de agua proveniente del núcleo de máxima subsuperficial, mientras que en las restantes secciones ascendió agua de salinidad intermedia, es decir, entre 34,7 y 34,8 psu.

3.9 Anomalías de temperatura y salinidad en la vertical

Las anomalías de temperatura y salinidad de las transectas perpendiculares a la costa de Arica, punta lobos y bahía Moreno se presentan en la **Figura 21**.

En las tres secciones señaladas se observó un predominio de valores de anomalía de temperatura entre $-0,5$ y $+0,5^{\circ}\text{C}$, destacándose la presencia de un núcleo de anomalías negativas centrado en los 50 m en la sección de Arica, y en los 75 m en las dos restantes. Este núcleo superó el valor de -1°C y abarcó el área oceánica de estas secciones, pero sin alcanzar a ubicarse en superficie. El núcleo de máximo valor, $>-2^{\circ}\text{C}$, estuvo más desarrollado en la transecta de Arica. Se destaca además un amplio núcleo de anomalías $> 0,5^{\circ}\text{C}$ entre los 150 y 400 m de profundidad en esta última transecta, el cual se repite en la sección de bahía Moreno, formando un núcleo de anomalías $> 1^{\circ}\text{C}$ en los niveles más profundos de las estaciones hasta las 30 mn de la costa.

La anomalía de salinidad tiene una estructura similar a la presentada por las anomalías de temperatura, es decir, forma un núcleo de valores negativos centrado entre los niveles de 50 y 100 m. Sin embargo, en las tres secciones representadas, este núcleo alcanzó hasta la superficie. Un núcleo de salinidad mayor a $+0,05$ psu se ubicó en las mismas secciones y profundidad del núcleo de



+0,5°C en temperatura indicado anteriormente para los niveles subsuperficiales. En todas las secciones y a nivel subsuperficial hubo un predominio de valores entre +0,05 y -0,05 psu, encontrándose las anomalías de mayor valor ubicadas en los primeros 100 m de la vertical. A diferencia de lo mostrado por las anomalías de temperatura, las anomalías de salinidad formaron un núcleo subsuperficial de valores positivos > 0,05 psu en la sección de punta Lobos, pero que en la sección de bahía Moreno llegó a un valor de +0,2 psu. Este núcleo de valores positivos estuvo centrado en los 100 m de profundidad y a 55 mn de la costa, bajo el núcleo de valores negativos que ya fue indicado.

3.10 Distribución superficial de clorofila

La clorofila-*a* superficial (**cloa**) (**Fig. 22a**) presentó una franja discontinua de valores productivos (> 1 µg/L) a lo largo de la zona costera, mientras que en el sector oceánico la mayoría de las concentraciones fluctuaron entre 0,2 y 0,4 µg/L. En las primeras 5 mn frente a Arica se observó un foco de valores > 1 µg/L, el que tuvo un máximo (> 2 µg/L) en la estación de 1 mn. Más al sur, en punta Junín las bajas concentraciones (> 0,2 µg/L y < 0,5 µg/L) se extendieron hasta el sector costero. En la transecta de punta Lobos un foco de valores > 1 µg/L se extendió desde la costa hasta más allá de las 20 mn, registrándose altos valores en la estación costera (14,7 µg/L), mientras que, las concentraciones de mediana productividad (> 0,5 µg/L) sobrepasaron las 40 mn. El foco de valores > 1 µg/L se prolongó hasta punta Copaca, donde se registró un valor > 2 µg/L en la estación costera, más un pequeño foco de 1,2 µg/L en las 20 mn. En bahía Moreno, las concentraciones costeras volvieron a descender, registrándose valores levemente superiores a 0,5 µg/L dentro de las primeras 20 mn. En el extremo sur, tanto en rada Paposó como en Carrizalillo se observó dentro de las primeras 5 mn un foco con valores > 1 µg/L, con un máximo de 1,9 µg/L en la primera de estas localidades, mientras que en Carrizalillo, se



registró un máximo de 2,3 $\mu\text{g/L}$ a 5 mn, frente a esta localidad los valores estuvieron restringidos dentro de las primeras 10 mn.

Los feopigmentos superficiales (**feop**) (**Fig. 22b**), siguieron una distribución muy similar a la de cloa, manteniendo concentraciones inferiores a ésta en toda la zona. En el sector oceánico los feop fluctuaron en su mayoría entre 0,1 y 0,4 $\mu\text{g/L}$. En el sector costero presentaron un foco de altas concentraciones, $< 2 \mu\text{g/L}$, en la estación costera de punta Lobos, donde además los valores $> 0,5$ se extendieron hasta las 20 mn. Concentraciones levemente superiores a 0,5 $\mu\text{g/L}$ se registraron en las estaciones costeras de Arica, punta Copaca, rada Paposos y Carrizalillo, el resto de las estaciones del sector costero presentaron valores entre $> 0,2 \mu\text{g/L}$ y $< 0,5 \mu\text{g/L}$.

3.11 Distribución de clorofila integrada

La distribución de clorofila integrada (**cloint**) (**Fig. 22c**) presentó concentraciones que estuvieron por debajo de los 30 mg/m^2 en el sector oceánico, y en las estaciones costeras tanto en el sector norte (Arica – punta Junín) como en el sector sur (rada Paposos – Carrizalillo). Entre punta Lobos y bahía Moreno, se observaron núcleos mayores a 100 mg/m^2 . En punta Lobos, el máximo (114 mg/m^2) se registró en la estación costera, mientras que en punta Copaca fue observado a 10 mn (129 mg/m^2). En bahía Moreno se detectaron dos focos importantes a 1 (140 mg/m^2) y 20 mn (104 mg/m^2).

Los feop integrados (**feopint**) (**Fig. 22d**), presentaron valores inferiores a 20 mg/m^2 en la zona oceánica desde punta Junín al sur, además del sector costero de Arica y punta Junín. Los valores más altos de feopint, ($> 40 \text{mg/m}^2$) se



registraron en la zona costera entre punta Copaca y bahía Moreno, además de un pequeño foco a 5 mn de Carrizalillo.

3.12 Distribución vertical de clorofila

En todas las transectas se detectaron núcleos productivos ($> 1 \mu\text{g/L}$) de clorofila-**a** (**Fig. 23**). Los feopigmentos (**Fig. 24**), siguieron la distribución de la cloa, siendo siempre inferiores a ella en los sectores costeros superficiales.

En la transecta Arica las concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$ se registraron dentro de los primeros 5 m de las dos estaciones más costeras, donde el valor superficial máximo fue de $2,5 \mu\text{g/L}$. En esta transecta destacó la presencia de un núcleo productivo oceánico subsuperficial, a 40 mn, el que abarcó entre los 5 y 10 m con una concentración $> 1,2 \mu\text{g/L}$. En esta localidad, los feop estuvieron por sobre los $0,2 \mu\text{g/L}$ en gran parte de la capa de los primeros 50 m, las mayores concentraciones se registraron en un núcleo de valores $> 0,5 \mu\text{g/L}$ que abarcó entre los 5 y 30 m en la estación de 40 mn.

La transecta realizada frente a punta Junín presentó dos núcleos subsuperficiales en el sector costero, uno en los 5 m de la estación de 1 mn y el segundo entre los 10 y 20 m en la estación de 10 mn, con valores $> 1 \mu\text{g/L}$. Gran parte de los primeros 20 m de la transecta, tuvo concentraciones $> 0,2 \mu\text{g/L}$. En el sector oceánico, 80 mn, se registraron dos pequeños núcleos ($> 0,5 \mu\text{g/L}$) centrados en las profundidades de 5 y 30 m. Las concentraciones de feop de los primeros 10 m fueron menores a $0,2 \mu\text{g/L}$. En la estación costera se registró un pequeño núcleo de valores $> 0,5 \mu\text{g/L}$, que se ubicó en los 5 m. En torno a los 30 m se mantuvo una franja de valores $> 0,2 \mu\text{g/L}$ a lo largo de toda la transecta.



La transecta de punta Lobos presentó un núcleo que sobrepasó las 20 mn, con un espesor promedio de 15 m. Dentro de este núcleo, concentraciones $> 3 \mu\text{g/L}$ se midieron en los primeros 10 m dentro de las primeras dos estaciones. Las concentraciones más altas se registraron en los 5 primeros metros de la estación costera ($> 8 \mu\text{g/L}$), con un máximo de $14,7 \mu\text{g/L}$ en la superficie. Concentraciones mesotróficas se midieron en los primeros 20 m de la columna de agua, hasta 80 mn. Bajo los 40 m, los valores de cloa fueron menores a $< 0,2 \mu\text{g/L}$. En esta estación, concentraciones de feop $> 1 \mu\text{g/L}$ se registraron en dos núcleos, uno dentro de los primeros 5 m de la estación costera y el otro centrado en los 10 m de la estación de 10 mn. Valores $> 0,5 \mu\text{g/L}$ ocuparon gran parte de los primeros 20 m entre la estación costera y las 20 mn, mientras que, al oeste de esta distancia los valores superficiales se mantuvieron $> 0,2 \mu\text{g/L}$.

En la transecta de punta Copaca, el núcleo costero de altas concentraciones se extendió entre las estaciones de 1 y 20 mn con un espesor promedio de 30 m. En las 10 mn estos valores se extendieron hasta los 50 m, mientras que a nivel superficial tanto en las 5 y 10 mn las concentraciones solo fueron de mediana productividad. Dentro de esta capa se registró un núcleo subsuperficial de valores $> 4 \mu\text{g/L}$ entre las estaciones de 10 y 20 mn centrado en los 20 m. Los feop, tuvieron un pequeño núcleo de valores $> 1 \mu\text{g/L}$ en los 20 m de la estación de 20 mn, mientras que los valores $> 0,5 \mu\text{g/L}$ ocuparon gran parte de los primeros 50 m de la columna muestreada en el sector costero, valores $> 0,2 \mu\text{g/L}$ cubrieron el resto de la columna dentro de las primeras 20 mn.

En la transecta de bahía Moreno, se observaron dos núcleos subsuperficiales con altos valores de cloa. Uno de ellos se ubicó dentro de las primeras 5 mn, donde las concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$ se extendieron desde los 5 m hasta cerca de los 50 m, presentando un valor máximo de $6,5 \mu\text{g/L}$ en los 20 m, mientras que, el



segundo núcleo se registró a 30 m en la estación de 20 mn con un valor de 5,4 $\mu\text{g/L}$. Los feop por su parte presentaron un núcleo con un máximo de 1,4 $\mu\text{g/L}$ en los 30 m de la estación de 20 mn, mientras que las concentraciones $> 0,5 \mu\text{g/L}$ abarcaron entre los 5 y 75 m de las primeras 5 mn. A partir de las 40 mn la mayor parte de las concentraciones fueron $< 0,2 \mu\text{g/L}$.

En la transecta de rada Paposo se registró un pequeño núcleo de altas concentraciones, el que estuvo restringido al nivel superficial de la estación costera con un valor de 1,9 $\mu\text{g/L}$. Los valores intermedios se extendieron hasta las 20 mn, con un espesor máximo de 10 m en la estación de 10 mn. En la mayor parte de los primeros 30 metros los valores fueron $> 0,2 \mu\text{g/L}$. Los feop presentaron concentraciones $> 0,2 \mu\text{g/L}$ dentro de las primeras 10 mn, extendiéndose hasta las 40 mn sobre los 30 m. En los 20 m de la estación de 20 mn se registró un pequeño núcleo de concentración $> 0,5 \mu\text{g/L}$.

En la transecta de Carrizalillo se registró un pequeño núcleo de altas concentraciones, el que estuvo restringido al nivel superficial dentro de las primeras 5 mn, con un valor máximo de 2,3 $\mu\text{g/L}$ en esta estación. Rodeando este núcleo, las concentraciones intermedias se extendieron en forma de cuña desde las estaciones costeras hasta los 30 m en la estación de 20 mn. Los valores $> 0,2 \mu\text{g/L}$ ocuparon gran parte de la capa superficial en el resto de la transecta. Los feop presentaron tres pequeños focos de valores $> 0,5 \mu\text{g/L}$, en las estaciones costeras situados a nivel superficial, 50 y 100 m. Dentro de las 10 mn la mayoría de los valores fueron $> 0,2 \mu\text{g/L}$, extendiendo su cobertura hasta las 40 mn en el nivel de 50 m. Hacia el sector oceánico estas concentraciones fueron inferiores a $0,2 \mu\text{g/L}$.



4. Objetivo específico 2.3

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

4.1 Número de lances en muestreo de adultos

Los lances de pesca efectuados por las distintas embarcaciones que participaron en la recolección de ejemplares adultos de anchoveta fueron 115 en total, de éstos, 42 resultaron efectivos (**Tabla 7; Fig. 25**).

4.2 Número de anchovetas muestreadas en cada lance

En los lances con presencia de hembras hidratadas, se muestrearon 35 hembras en cada uno de ellos, considerando que este tamaño de muestra garantiza un coeficiente de variación inferior al 20% para fracciones desovantes altas y bajas tanto para las estimaciones a partir de FPO de día 1, como de día 2 y la combinación de ambos, según lo planteado en Propuesta Técnica, las que se analizaron histológicamente de acuerdo a lo propuesto por Rojas y Oliva (1993), con el fin de registrar la incidencia de folículos postovulatorios para la determinación de la frecuencia de desove.

4.3 Distribución espacial de anchoveta

Durante el período en que se realizó la pesca de investigación, el recurso anchoveta tuvo una distribución que se extendió latitudinalmente desde Arica hasta el norte de Tocopilla y desde la primera hasta las 60 mn, alcanzando esta distribución longitudinal frente a Arica. En general se distinguieron tres sectores bien delimitados con presencia de anchoveta, el primero situado en la zona costera y oceánica de Arica, el segundo desde el sur de punta Camarones al norte



de Iquique y el tercero entre caleta Patillos y el norte de Tocopilla, siendo particularmente neríticos los localizados en esta última zona. Desde las inmediaciones de punta Lobos hacia el sur, se concentró el mayor número de lances positivos en el área más somera en comparación con el resto de la zona (**Fig. 25**). La distribución adoptada por la anchoveta durante este período fue de menor amplitud longitudinal con respecto al año 2005, pero se mostró mayormente distribuida, abarcando sectores, donde no se registró el año pasado, como lo fue la zona comprendida entre punta Camarones e Iquique.

4.4 Distribución de tamaños de ejemplares de anchoveta

El total de anchovetas medidas durante el crucero de prospección de adultos fue de 5.204, cifra 60% menor respecto al número de ejemplares analizados el año 2005. Del total de ejemplares medidos, 2.941 correspondieron a ejemplares machos y 2.263 a hembras. El rango de tallas observadas en los machos estuvo comprendido entre los 10,5 a 18 cm de longitud total, con una moda en los 14 cm, talla donde se registró el 18% de los individuos medidos. Por su parte, las hembras presentaron un rango de tamaño comprendido entre los 11 y 18 cm de longitud total, con una moda en los 14,5 cm, exhibiendo el 17,8 % de los ejemplares este tamaño de longitud. Los tamaños observados durante este período no difieren de manera significativa respecto a lo registrado el año 2005, ya que tanto los machos como las hembras exhibieron similares longitudes (**Figs. 26 y 27**).

4.5 Proporción sexual en peso de hembras maduras

La proporción de hembras en peso para el total de lances analizados presentó una amplitud comprendida entre 0,17 y 0,86 con un promedio de 0,45, una varianza igual a 0,00048 y un coeficiente de variación de 4,9%.



4.6 Peso promedio de hembras maduras

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

El peso promedio del cuerpo de las 30 primeras hembras maduras, obtenidas en 42 lances, fluctuó de 13,11 a 31,21 gramos. El peso promedio de hembras maduras en el área investigada fue de 22,52 gramos, con una varianza de 0,474 y un coeficiente de variación de 3,1%.

5. Objetivo específico 2.4

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

6.1 Producción diaria de huevos

El número de huevos por estadio de desarrollo, indicó una mayor representación en el estadio III, observándose una disminución paulatina a partir de este (**Fig. 28**).

Los resultados del ajuste no lineal ponderado del modelo de decaimiento exponencial para el área de desove, estimada según el criterio de interpolación (**Fig. 29**), indican un P_0 de 30,81 huevos/0,05m²/día con un error estándar de 11,27 y un error estándar residual de la regresión de 11,078. A partir de dicho



ajuste se obtuvo una tasa instantánea de mortalidad diaria de huevos de $0,67 \text{ día}^{-1}$, con un error estándar de 0,297 (**Tabla 8**).

Al ponderar por la proporción que representa el área positiva respecto del área total del crucero, se obtiene un P_o ponderado de 10,56 huevos/0,05m²/día.

6. Objetivo específico 2.5

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

En el transcurso del muestreo se analizaron 1.260 hembras, correspondientes a 42 lances provenientes de la Pesca de Investigación (**Tabla 9**).

6.1 Proporción de estadios de madurez microscópico

El análisis histológico de los ovarios indicó que el 100% de las hembras se encontraban activas. El comportamiento reproductivo de la anchoveta evidencia que el crucero se efectuó durante el máximo proceso de desove.

6.2 Fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta

Teóricamente se pueden tener estimados independientes de este parámetro, los cuales pueden obtenerse a partir de:

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



De las anchovetas capturadas en el crucero de adultos se lograron dos conjuntos de datos independientes para la determinación de la frecuencia del desove: hembras de edad día 1 y 2. La distribución de frecuencia de FPO de día 1 y 2 se muestra en la **Figura 30**.

El porcentaje de hembras de día 1 de edad varió de 0 a 57% y el de día 2 fluctuó de 0 a 40%. La fracción desovante con FPO de día 1 fue de 0,279 y con FPO de día 2 fue de 0,13. De forma de ser consistente con las estimaciones de años anteriores y dado que la distribución horaria de FPO 2 sigue la misma tendencia que la de FPO 1 (**Fig. 30**) es que creemos que lo recomendable es utilizar la estimación de FPO 1+ 2. Así entonces los datos de hembras con folículos postovulatorios de día 1 y día 2 fueron combinados entre sí, entregando una fracción del desove de 20,3% con una varianza de 0,00011 y un coeficiente de variación de 5%.

7. Objetivo específico 2.6

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

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

En el ajuste de la fecundidad parcial en función del peso corporal, para las 96 hembras que efectivamente clasificaron microscópicamente como hidratadas se utilizó el modelo de tipo lineal para los cálculos de fecundidad media poblacional. El modelo de tipo lineal es preferible debido a (Hunter *et al.*, 1985): 1) Explica



mejor la variación que los curvilíneos; 2) sus coeficientes de regresión tienen significado biológico; 3) para la estimación de producción de huevos, la fecundidad de los ejemplares en los extremos (grandes y pequeños) no es tan crítica como en la de los rangos medios, los que son bien explicados por el modelo lineal simple.

$$\text{Fecundidad} = -4476,16 + 788,63 * (W)$$

$$n = 72$$

$$r^2 = 0,54$$

$$S_a = 2326,28$$

$$S_b = 87,82$$

$$S_{yx} = 3696,22$$

La fecundidad parcial promedio, utilizando el ajuste correspondiente a los del 2006 correspondiente a los 42 lances efectivos, varió de 5.288 a 18.839 ovocitos por hembra. La fecundidad media poblacional resulta de 12.087 ovocitos, con una varianza de 396.067 y un coeficiente de variación de 5,2%. Este estimado resulta más alto en comparación al año 2005, estando sin embargo dentro de los valores más bajos de la serie (**Fig. 31; Tabla 10**). Esto se debe al peso promedio de las hembras, el cual también está dentro de los más bajos.



8. Objetivo específico 2.7

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

La biomasa desovante estimada con el ajuste de la fecundidad parcial con los datos de 2006 resultó en 615.734 toneladas, con una varianza de 1.50331E+11 y un coeficiente de variación de 63%.

La biomasa estimada fue claramente menor que las de los dos años precedentes con tasas de cambio iguales a -33,9% y -16,4% para los años 2005 y 2004, respectivamente.

9. Objetivo específico 2.8

“Realizar un análisis de la distribución espacial de huevos asociada a variables oceanográficas, utilizando las bases de datos de los proyectos anteriores y los resultados del presente proyecto”

9.1 Exploración de las relaciones entre la distribución de huevos de anchoveta con la temperatura y la salinidad.

La **Figura 32** presenta la distribución geográfica de los huevos de anchoveta de los cruceros realizados en la temporada de invierno entre los años 1992-2006. Asimismo, en las **Figuras 33 y 34** se observan las reparticiones espaciales de la temperatura y salinidad del mismo período.

Durante el año 1992, la repartición espacial de los huevos presentó una expansión espacial relevante, sin embargo esta distribución se relacionó, en general, con bajas densidades. El foco que registró las mayores densidades cubre desde Pisagua hasta Iquique a una distancia de 15 mn de la costa. En términos espaciales



se puede visualizar que los mayores focos se encuentran asociados a los bordes internos que forman las aguas de 15 y 16°C, temperaturas donde se ubicó la mayor cantidad de huevos de la especie (**Fig. 35a**).

En el caso de la salinidad, éstas registraron altos valores asociados al evento “El Niño”, incluso alcanzando los 35,5 psu al norte de Iquique (**Fig. 34**). La asociación entre las variables muestra que los huevos se encuentran desde los 34,7 a 35,2 psu, con una nítida predominancia en salinidades comprendidas entre los 34,8 y 35 psu (**Fig. 35b**).

Durante los años 1995 y 1996, los huevos tuvieron una baja repartición geográfica pero con mayores niveles de concentraciones; es así como es posible detectar núcleos muy densos de huevos, los que se localizaron entre Iquique y Tocopilla vinculados preferentemente a aguas de 14-16°C (**Fig. 32 y 35a**), y a los bordes de los gradientes térmicos. En cuanto a las salinidades, se destaca el descenso de los registros, los cuales no superaron los 35,1 psu, situación por la cual los huevos de la especie tienden a agruparse en un rango de salinidades más bajas, 34,3 a 34,9 psu, con una preferencia por los 34,5-34,7 psu (**Fig. 35b**).

En el año 1997 se observó un comportamiento espacial distinto que el de los años precedentes con una distribución mucho más desplazada hacia el sur, talvez debido a los efectos del evento de “El Niño”, no obstante lo anterior, se vuelven a detectar tres núcleos principales: el primero se localizó frente a Arica muy pegado a la costa; el segundo se ubicó frente a los 21°S a una distancia de 40-50 mn y es el más importante; y el tercero se sitió entre Mejillones y Antofagasta (**Fig. 32**). Por parte de la temperatura presentó un gran aumento debido al evento de “El Niño”, destacándose que el núcleo de mayor densidad de huevos está relacionado con el borde costero de las aguas de 18-19°C (**Fig. 33**), en este año los huevos se



presentaron en un rango de 15-21°C, con una predilección por las temperaturas de 17-18°C (**Fig. 35a**). De igual manera que la temperatura, la salinidad experimentó un importante incremento, en este año los huevos se distribuyen en el rango 34,7-35,2 psu, no obstante, se asocian mayoritariamente a salinidades superiores a los 34,8 psu (**Fig. 35b**).

Durante 1999, la cobertura de los huevos disminuyó significativamente, siendo la menor de los años analizados, sin embargo se detectaron grandes densidades, un primer sector se extendió desde los 20°30'S hasta Tocopilla y es un núcleo netamente costero que no sobrepasa las 5 mn de la costa; el segundo se ubicó a unas 50 mn frente a Tocopilla y el tercero se emplazó entre Mejillones - Antofagasta y se caracteriza por una altísima densidad de huevos y por su cobertura netamente costera. Respecto a la relación con la temperatura se observó que el primer núcleo se encuentra en aguas surgentes, en tanto que el último y más importante está asociado a una masa de agua fría de temperaturas de 13-14°C (**Fig. 33**). En este año los huevos se ubicaron entre los 13° y 17°C, sin embargo, las más altas concentraciones se encuentran relacionadas con aguas de 14° y 15°C. En cuanto a las salinidades observadas, éstas decaen considerablemente y se ubican en el estrato 34,4-35,2 psu, a su vez en este año, la ocupación espacial de los huevos es muy baja, concentrándose en el estrato 34,7-35,1 psu y asociándose mayoritariamente a la moda de 34,8 psu (**Figs. 34 y 35b**).

El año 2000 presentó una gran ampliación en la extensión geográfica de los huevos de anchoveta, sin embargo no se apreciaron núcleos de alta densidad de huevos a excepción de la zona cercana a Tocopilla, donde se observó un gran frente térmico formado por aguas de 16° y 17°C, destacándose que en sus bordes externos se localizaron las altas densidades de huevos (**Fig. 35**). En este año, debido al notable predominio de las aguas entre 15 y 16°C, se produce una alta concentración de



huevos en estas temperaturas. En relación a las salinidades, los huevos se disponen en el rango 34,2-34,9 psu, con una nítida inclinación por los 34,8 y 34,9 psu. Cabe destacar que las concentraciones más significativas (en los alrededores de Tocopilla) se situaron en los bordes del gradiente salino formado por las aguas de 34,7 y 34,8 psu (**Figs. 34 y 35b**).

Durante el 2001, nuevamente la cobertura geográfica de los huevos sufre una gran contracción y en conjunto con 1999 son los de menor repartición espacial; no obstante lo anterior, se detectaron sectores que registraron grandes densidades de huevos, el primero se extendió desde los 20°30'S hasta Tocopilla y es un núcleo claramente costero y que tiene una gran densidad de huevos; y el segundo centro se ubicó frente a Antofagasta y se caracterizó por una gran concentración de huevos, con una extensión muy costera que no sobrepasó las 5 mn de la costa. En cuanto a su asociación con la temperatura, se apreció que los dos núcleos más importantes están vinculados a una masa de aguas surgentes que registran temperaturas entre 13 y 14°C (**Figs. 32 y 33**). Este año los huevos de anchoveta registraron una leve preferencia por temperaturas entre 14-16°C (**Fig. 35b**). Por su parte, las salinidades fluctuaron entre los 34,1 y 35,1 psu, sin embargo, los huevos de la especie tienen una marcada preferencia por el rango 34,7-34,9 psu.

En el período 2002-2003 hubo un aumento en la extensión espacial de los huevos, con una gran cantidad de estaciones positivas en el año 2002, en este período se destacaron dos grandes focos: el primero localizado al sur de Arica y se extendió incluso hasta el oeste de los 71°W, este foco se caracterizó por presentar densidades intermedias. El segundo núcleo se ubicó entre Iquique y el Loa y abarcó un área de casi 1.000 mn² y concentró densidades de más de 1.000 ind/m². En cuanto a su asociación con la temperatura, los núcleos se encontraron en aguas que fluctuaron entre los 13 y 17°C y en sectores de gradientes térmicos relevantes (**Figs. 32, 33 y**



35a). Respecto a la salinidad, los huevos se localizaron en el estrato de 34,4-35,2 psu, con una nítida predilección por el estrato 34,7 y 34,8 psu, lo que es coincidente con lo expuesto en años anteriores (**Figs. 34 y 35b**).

Durante los años 2004-2005, hay un leve crecimiento en la cobertura geográfica de los huevos, en especial en el sector ubicado al norte de Iquique. En estos años, se observaron tres focos principales: el primero se localizó frente al puerto de Arica y es un foco oceánico que registra las mayores concentraciones con densidades superiores a los 1.000 huevos/m² y abarco aproximadamente 280 mn²; el segundo centro se ubicó frente a Iquique en un sector muy costero que esta restringido por el borde interno de las aguas surgentes de 15°C y cubre un área aproximada de 700 mn²; por último el tercer núcleo se situó entre punta Lobos y Tocopilla y también está restringido por el borde interno de las aguas de 15°C, alberga densidades superiores a los 500 huevos/m² en un área aproximada de 800 mn².

En relación a la temperatura, como se mencionó anteriormente, los núcleos principales quedan restringidos por el borde interno de las aguas de 15°C y las mayores abundancias se logran en aguas de 14 y 15°C. En cuanto a la salinidad, los huevos de la especie se asentaron en el rango 34,4-35,1 psu, con una moda en el estrato 34,6-34,9 psu (**Figs. 34 y 35b**).

En el 2006 se vuelve a presentar una expansión geográfica de los huevos. Este año se presentaron importantes densidades en los alrededores del río Loa en un sector muy costero que registró valores superiores a los 2.500 huevos/m² y que abarcó un área de app 1.100 mn²; asimismo, se apreció un segundo núcleo en los alrededores de Mejillones (a unas 30 mn al NW) pero con densidades menores (**Fig. 32**). En términos espaciales se puede visualizar que los mayores focos estuvieron asociados a los bordes internos que forman las aguas de 16, 17 y 18°C, (**Fig. 33**). En el caso de la salinidad, éstas registraron niveles normales,



destacándose una lengua de aguas más salinas en el extremo norte de la zona de estudio (**Fig. 34**). La asociación entre las variables mostró que los huevos se encuentran entre los 34,5 a 35,2 psu, con una preferencia por el estrato 34,8-35,0 psu (**Fig. 35b**).

9.2 Análisis de los Centros de Gravedad (CG)

El análisis de los CG indicó que estos no exhibieron un comportamiento espacial muy definido. Sin embargo, se lograron observar ciertas tendencias en algunos años. Así, en el año 1992, el CG se localizó frente a Iquique, siendo ésta la posición más septentrional de todo el período analizado, debido a que los focos de mayor abundancia se situaron al norte de Iquique, aunque este año los huevos presentaron una gran cobertura espacial (**Figs. 32 y 36**).

Durante 1995 el CG sufrió un gran desplazamiento superando incluso la cuadra de Tocopilla, localizándose en la posición más meridional de todo el período analizado, lo anterior se debe a que en este año la repartición geográfica de los huevos estuvo centrada mayoritariamente al sur de los 21°S, no detectándose núcleos relevantes al norte de esta latitud; asimismo, el foco principal se ubicó en las proximidades de Tocopilla.

Por su parte, 1996 presentó un cambio en la distribución de los huevos ya que virtualmente no existen registros de ellos al sur de Mejillones y además se produce una gran concentración al SW de Iquique, a una distancia de 40-50 mn de la costa, lo que implicó que el CG se ubicara en una región bastante oceánica, a unas 35 mn de la costa (**Figs. 32 y 36**).



En el año 1997 debido a que la zona de estudio estuvo bajo la influencia del evento ENOS, los huevos variaron de comportamiento espacial respecto del año anterior, este año se observó una distribución mucho más desplazada hacia el sur, talvez debido a los efectos del evento “El Niño”, por lo que el CG también se trasladó en dirección sur y se emplazó frente a Tocopilla a unas 20 mn de la costa.

En el período, 1999 - 2001 los CG se localizaron levemente desplazados al SW del río Loa y las mayores agregaciones se registraron en los alrededores de Tocopilla o bien en Mejillones. En este período se destacó el año 2001, que presentó un CG muy costero, emplazado a unas 6-7 mn de la costa, debido a que ese año los huevos se reportaron mayoritariamente en las primeras millas (**Figs. 32 y 36**). Durante los años 2002 - 2003, los CG continúan posicionándose en la cercanías del río Loa, pero más desplazados hacia el norte. En estos años los CG también se situaron en posiciones bastante costeras que no sobrepasaron las 10 mn de la costa y que tienen relación con los mayores focos de abundancia que se encuentran en las primeras millas, en sectores de gradientes térmicos relevantes.

En el período 2004 - 2005, los CG se presentaron desplazados hacia sectores oceánicos, a unas 40 mn de la costa, debido principalmente a los focos emplazados frente al río Loa y Tocopilla, los que están directamente relacionados con las grandes densidades que se registraron en esos lugares. Finalmente, en el año 2006 el CG se situó a unas 25 mn de la costa (al NW de punta Lobos), influenciada por las altas densidades que se presentaron en las proximidades del río Loa (**Fig. 36**).



9.3 Modelamiento estadístico de la densidad de huevos asociado a variables ambientales

9.3.1 Análisis exploratorio de datos

En los años analizados se monitorearon 7518 estaciones, en las cuales se registraron las variables predictoras, latitud, longitud, temperatura y salinidad superficial del mar, ésta última presenta para el año 1992 una gran cantidad de estaciones sin información (86% de un total de 542 estaciones) (**Tabla 11**), hecho que repercute en el ajuste de los modelos, por lo que este año se ha excluido del análisis. Además de las variables predictoras mencionadas se contabilizó el número de huevos y por consiguiente, la presencia o ausencia de éstos. Del total de estaciones analizadas, sólo en un 30 % de éstas se registró la presencia de huevos, registrándose una densidad media por estación positiva del orden de 54 huevos/0,05 m² (**Tabla 12**).

En la **Tabla 12** se detalla por crucero el número de estaciones totales, el número de éstas con presencia y ausencia de huevos y la densidad promedio de las estaciones positivas. En cuanto a la presencia de huevos, los años 2000 y 2002 presentaron la mayor proporción de estaciones positivas con un 42% y un 53%, respectivamente; mientras que el menor número de estaciones con presencia de huevos correspondió al año 2001, con un 12%. Por su parte, para el 2006, la proporción de estaciones positivas se encuentra entorno al 30 % como en los últimos dos años (**Fig. 37**).

Respecto a la densidad de huevos, el mayor índice se registró en el año 2001 con 125 huevos/0,05 m², año que presenta la menor proporción de estaciones positivas registradas. Se observa un aumento en la densidad media de huevos a



partir del año 1999, los años anteriores presentan las menores densidades medias con valores que fluctúan entorno de los 37 huevos/0,05 m², mientras que los años 2003 y 2005 presentan las segundas mayores densidades medias con valores entre los 70 y 80 huevos/0,05 m² respectivamente. Los años 1999, 2000, 2002, 2004 y 2006 presentan densidades medias que varían entre los 50 y 58 huevos/0,05 m² (**Fig. 37, Tabla 12**).

Las estadísticas descriptivas de las variables predictoras latitud, longitud, temperatura superficial y salinidad superficial, junto a las variables de interés densidad de huevos se presentan en la **Tabla 13**. En los diez años se cubrió un área muy similar, que abarca latitudinalmente de los 18°23' y 26°3' S y longitudinalmente de los 70°5' y 72° 12' W. El año 1997 presenta la mayor temperatura superficial del mar promedio con 18° C y un rango de variación de 4° C. El año 2006, al igual que los restantes años, registran una temperatura superficial del mar promedio entorno a los 16 °C, con un máximo rango de variación para el año 1995 de 7° C. Para la salinidad superficial del mar, históricamente se han observado promedios en el intervalo de los 34,66 y los 34,98 psu con un rango máximo de variación de 1,4 psu el año 1999.

9.3.2 Modelamiento estadístico

Los resultados del ajuste de los modelos aditivos generalizados para cada set de datos se resumen en la **Tablas 14 y 15**. Los modelos de efectos principales de cuatro covariables (latitud, longitud, temperatura y salinidad superficial) y un factor correspondiente al año, fueron significativos, con pseudo-R² de 0,14 y 0,08 para los modelos de presencia de huevos y densidad de huevos para las estaciones positivas, respectivamente.



9.3.3 Análisis de presencia/ausencia de huevos

Para caracterizar la relación entre la distribución de huevos con variables de localización y oceanográficas, se modeló la variable respuesta de presencia de huevos considerando una distribución de probabilidades binomial, con función de enlace logit y un ajuste robusto a través de cuasi-verosimilitud.

Los predictores incorporados en el modelo presentaron un comportamiento no-lineal, confirmado a través de la prueba F (**Tabla 14**). La influencia de cada predictor en la respuesta es presentada gráficamente a través de los suavizadores splines cúbicos en la **Figura 38**.

En el caso de la presencia de huevos, se puede observar que latitudes (Lat) inferiores a los 23° S (al norte de mejillones), existe un efecto positivo en encontrar estaciones con presencia de huevos, esto cambia gradualmente al sur de ésta latitud, mostrando un efecto negativo. Por su parte, la longitud (Lon) tiene un efecto positivo para valores entre los 70°36' y 71°12' W y negativo a longitudes mayores, es decir el proceso de desove aparece más vinculado a la zona costera que oceánica. En relación con la variable temperatura superficial (TSM), se observa una ventana positiva para valores entre los 15° y 17° C, mientras que para temperaturas fuera de éste intervalo el efecto es negativo. La variable salinidad (Sal) muestra una alta incertidumbre en el suavizador a salinidades inferiores a las 34,4 psu a consecuencia de la baja ocurrencia de éstas, no se observa un efecto en la presencia de huevos por estación para las otras salinidades (**Fig. 38**).

Finalmente, a partir de los modelos ajustados se puede observar una señal interanual de la respuesta (**Fig. 39**). La señal asociada a los años analizados



indica que existió una mayor probabilidad de éxito de encontrar estaciones con presencia de huevos los últimos tres años a demás de los periodos 1997, 2000, 2002, mientras que los años 1995, 1996, 1999, 2001 y 2003 fueron años con baja probabilidad de encontrar estaciones con presencia de huevos, observándose el menor índice para el año 2001.

9.3.4 Análisis de la densidad de huevos

Para caracterizar la relación entre la densidad de huevos con variables de localización y oceanográficas, se modeló la variable respuesta (logaritmo de la densidad) considerando una distribución de probabilidades normal, con función de enlace identidad y un ajuste a través de un método robusto.

Los predictores incorporados en el modelamiento de la densidad de huevos presentaron un comportamiento no-lineal (**Tabla 15**). La influencia de cada predictor en la respuesta es presentada gráficamente a través de los suavizadores splines cúbicos en la **Figura 40**.

Las estaciones con presencia de huevos se observan en todo el rango de latitud cubierto, pero con una mayor concentración de éstas al norte de los 24°30' S., de igual manera la función suavizada para la latitud muestra que al norte de los 23° S existe un efecto positivo sobre la densidad de huevos y la influencia es negativa a latitudes superiores. Por su parte, el efecto de la función suavizada para la longitud muestra que el proceso de desove aparece vinculado a una zona más costera que oceánica, teniendo un impacto positivo gradual en la densidad de huevos el área localizada al este de los 70°22' W. En relación a la temperatura, se puede observa que las estaciones con huevos se localizaron principalmente entre los 14° y 18° C y que temperaturas inferiores a los 16,5° C tienen un efecto



positivo sobre la densidad de los huevos, sobre ésta temperatura la influencia es negativa. Cabe destacar que temperaturas fuera del intervalo de los 15,14° C y los 17,29° C, poseen una alta incertidumbre en la estimación reflejada por las amplias bandas de confianza del suavizador.

La figura relacionada con la variable salinidad, muestra que los huevos estuvieron presentes en un rango que va entre las 34,40 y 35,30 psu. No se observa un efecto sobre la densidad de huevos a salinidades mayores a los 34,8 psu y la función suavizada presentó una alta variabilidad para salinidades fuera del intervalo de las 34,50 y 35,10 psu., reflejada en la amplitud de las bandas de confianza (**Fig. 40**).

La contribución parcial del factor año indica tanto el año 2005 como para los años 1997, 2000, 2002 y el 2004 se tuvo un efecto positivo en la densidad de huevos, coincidiendo con los años con mayor probabilidad de éxito de encontrar estaciones positivas. La mayor densidad se registro en el año 1997. El año 2006 presenta un efecto negativo sobre la densidad de huevos (**Fig. 39**).



VIII. DISCUSIÓN

La anchoveta se caracteriza por presentar un comportamiento reproductivo con una marcada estacionalidad. El patrón normal de la actividad reproductiva en la I y II Región se presenta en forma intensa en invierno-primavera, con un decrecimiento en verano y un reposo sexual relativo en otoño.

De acuerdo al análisis histórico de los indicadores reproductivos macroscópico y microscópico, el periodo de pleno o máxima actividad de desove en la zona norte se inicia durante las semanas de julio, con mayores valores en el bimestre agosto-septiembre.

La tendencia de los valores de IGS, así como la evolución del IAD e IAO en invierno de 2006, señalan un proceso reproductivo similar al observado en los años 2005 y 2003, considerados como normales de acuerdo al patrón reproductivo histórico de la anchoveta en la I y II Región, no así con lo reportado en el proceso de los años 2002 y 2004, donde se observó un retraso en el inicio del período reproductivo poblacional descrito para esta especie en la zona norte de Chile.

Aunque la extensión espacial de los huevos de anchoveta durante el presente período invernal se presentó mas reducida latitudinalmente que en el año 2005, la distribución y abundancia de los mayores centros de desove muestra un patrón similar en ambos períodos anuales, al encontrarse una extensa zona donde los huevos se localizaron de manera muy recurrente y bastante agregados, entre punta Argolla (18°50'S) y Tocopilla. En ambos períodos, coinciden las áreas con una baja frecuencia y/o ausencia de registros positivos a este estadio de desarrollo, como las transectas del extremo norte. Esta situación se presentó entre



Arica y Pisagua y mas claramente desde Antofagasta hacia el extremo sur de la zona de estudio, donde prácticamente los huevos desaparecen, presentándose esporádicamente.

La mayor persistencia de estaciones con presencia de huevos entre Arica y el norte de caleta Chipana es coincidente con las mayores temperaturas registradas en ese sector, las que estuvieron por sobre los 17°C, área que además y en términos generales, fue sincrónica y exclusiva a la presencia del recurso.

No obstante lo anterior, la baja disponibilidad de huevos en el extremo norte, desde las 5 y 45 mn entre Arica y punta Madrid está relacionada por un lado, con la ausencia particular del recurso en ese sector y por otro lado, con una surgencia relativamente fuerte, provocando un desplazamiento de los huevos hacia el área mas oceánica, donde se suma en esa zona la presencia del recurso.

En este mismo sentido, es concordante también la presencia de huevos en la primera milla de las inmediaciones de Arica con la presencia de los adultos de anchoveta, que pese a la existencia de surgencia, los huevos quedan retenidos en esta área considerada históricamente como área de retención de huevos y de larvas.

Por el contrario, la máxima frecuencia de estaciones positivas, principalmente en las estaciones mas costeras de la zona comprendida entre punta Camarones a punta Cobija, se asocia a la menor surgencia observada en la zona y a lo anteriormente señalado, a la presencia del recurso, mientras que desde Antofagasta hasta punta Plata, la mayor surgencia registrada en la zona de estudio, junto con la mayor turbulencia, inducen una menor concentración de huevos en aquel sector e incluso a su total ausencia hacia el extremo sur.



Se observa también una relación espacial entre la distribución de las mayores frecuencias de estaciones positivas con huevos y las mayores concentraciones de clorofila (áreas productivas), entre Iquique y Tocopilla, y en el sector comprendido entre rada Paposos a Tal-Tal.

Los focos de mayores concentraciones estuvieron localizados en los últimos dos períodos invernales en zonas similares, como lo observado en la primera milla frente a Arica y en las inmediaciones de punta Lobos, exhibiendo en esta última localidad una mayor cobertura espacial, llegando hasta las 30 y 40 mn, debido a la presencia de aguas surgentes.

La zona circundante a Tal -Tal, aparece como zona de desove recurrente a través del tiempo, y debiera ser considerada como área de retención de los productos del desove, como lo son Arica, punta Patache, punta Lobos y Antofagasta.

La distribución y abundancia exhibida por los huevos de anchoveta en la zona de estudio, refleja una situación que estaría dentro de los parámetros considerados normales para este período estacional, lo que se refleja en las condiciones oceanográficas registradas en la zona durante la recolección de las muestras, sin incidencia de factores ambientales que perturben la abundancia y disposición espacial de los huevos.

La abundancia promedio de los huevos con respecto a la distancia de la costa, muestra además una situación similar durante los años 2005 y 2006, en el sentido de detectarse las mayores densidades a 1 mn de la costa, comenzando a disminuir posteriormente hacia el oeste, hasta nuevamente volver a incrementarse entre las 10 y 15 mn para alcanzar un pico secundario entre las 30 y 40 mn (Braun *et al.*, 2006).



Con respecto a la frecuencia acumulada, en ambos períodos se observó que la mayor proporción de los huevos censados en la zona se encontró a la altura de las 40 mn y 30 mn en 2005 y 2006, respectivamente, concentrándose entre el 75% y el 79% del total de huevos cuantificados.

Los Índices de Surgencia (**IS**) promedio diario medidos en los aeropuertos de Antofagasta e Iquique muestran simultaneidad y similitud en la variación de intensidad de las surgencias ocurridas en ambos sectores, lo que sugiere que el uso de datos de estaciones fijas, es útil para obtener una aproximación de la intensidad de los eventos de surgencia como también para definir las fechas en que éstos procesos ocurrieron a lo largo de la zona y periodo de estudio. Según lo anterior, de acuerdo al desarrollo de las intensidades de la surgencia sugerida por la serie del **IS** instantáneo y promedio, se puede indicar que los sectores que habrían registrado una mayor intensidad de los afloramientos durante el muestreo de huevos y oceanográfico son punta Madrid (Transecta 6), caleta Patillos (T15) a punta Lobos (T17) y punta Coloso (T34).

Las imágenes de TSM satelital confirman lo anterior, ya que estas muestran TSM menores, en el sector costero en relación al oceánico, principalmente desde Tocopilla al sur, durante todo el periodo del crucero, donde la nubosidad fue menor.

El **IS** instantáneo medido en las estaciones oceanográficas indica una alternancia de tres a cuatro transectas con vientos fuertes, seguido de tres a cuatro transectas de vientos más débiles. Lo anterior se asocia claramente a la periodicidad de 4 a 5 días de la intensidad de los vientos en la zona, tal como lo sugiere y se observa en la serie de **IS** promedio de las estaciones fijas.



La información superficial obtenida durante el crucero indica que la zona de estudio se encuentra con condiciones de temperatura dentro de rangos considerados normales, pues la mayor parte de su área presenta anomalías negativas y positivas menores a 1°C . Los focos superficiales de anomalías mayores a $\pm 1^{\circ}\text{C}$ son de un tamaño reducido y no marcan una tendencia para el período de muestreo, sin embargo son coincidentes espacialmente con valores negativos y significativos ($> 0,1$ psu) de salinidad superficial, especialmente aquellos observados en el sector oceánico frente a Tocopilla (T24).

Estas anomalías son producto del efecto combinado de mezcla superficial y transporte de agua de surgencia desde la costa, provenientes de la península de Mejillones, sector que ha sido descrito como un activo centro de surgencia que abarca una gran extensión espacial (Fonseca y Farías, 1987). La intensidad de la surgencia en ese sector es consistente con la distribución vertical de temperatura y salinidad. La distribución de estas variables muestra bajas diferencias térmicas y salinas entre los niveles de superficie y el nivel de 50 m ($< 2^{\circ}\text{C}$ y $< 0,1$ psu) y los mayores espesores (relativos) de capa de mezcla (> 10 m), los índices de turbulencia oceánico (22° a 23°S) que son mayores en el área señalada (> 400 m^3/s^3) y el IS instantáneo medido en ambas estaciones fijas (aeropuertos) que es cercano a los 500 m^3/s^3 .

Las anomalías de salinidad significativas frente a punta Tres Picos (T37), por sobre las 40 mn, corresponden a condiciones de transporte de aguas de surgencia de baja salinidad desde la costa hacia el sector oceánico, lo que es coherente con el índice de surgencia que se encuentra para el área señalada y que corresponde al máximo del período de muestreo. La presencia de anomalías negativas de salinidad indicada está mayormente asociado a los IS promedio de las estaciones fijas, calculados para el viento de los dos días previos a la realización del la



transecta frente a punta Tres Picos, los que alcanzan valores cercanos a los 700 m³/s³. El transporte de aguas frías y de baja salinidad desde el sector costero, como también la mezcla producida por las mayores intensidades del viento, no afecta significativamente la temperatura superficial frente a punta Tres Picos, debido a que en esta latitud (24°00'S) los valores de temperatura de costa y océano son similares durante el período de invierno. Lo anterior ocurre en contraste a lo que sucede desde Arica a Antofagasta, durante todo el año, en donde los gradientes térmicos costa-océano son más evidentes, aun durante el período invernal (Blanco *et al.* 2001).

En la vertical las anomalías de salinidad y temperatura se encuentran centradas como núcleos en profundidades promedio de 50 a 75 m, pero no son significativas ya que esta capa de agua es la que tiene la mayor variabilidad vertical mostrando desviaciones estándar respectivas que superan los valores de 2°C y 0,2 psu. Sin embargo, un núcleo aparece significativo entre los 50 y 100 m de profundidad en el sector oceánico de bahía Moreno, el que supera los 0,2 psu y se puede asociar a la presencia disminuida de agua Subantártica en esta sección y profundidad y el ascenso de un núcleo de agua Ecuatorial Subsuperficial de salinidad mayor a 34,8 psu, formando el núcleo salino localizado a 70 mn de la costa y 75 m de profundidad.

En general, las condiciones superficiales observadas en el crucero, muestran que la zona norte se encuentra con condiciones de TSM dentro de los rangos normales. Condiciones de baja salinidad observada en algunos sectores están asociadas a eventos de surgencia que generan transporte de agua desde la costa hacia el sector oceánico y procesos de mezcla superficial, ambos procesos son locales y afectan sólo un área de la zona de estudio.



Las instituciones especializadas en el ENOS coincidieron en señalar para el mes de agosto de 2006, que las condiciones cálidas en el Pacífico Tropical fueron neutrales, pero transitaban hacia un período cálido El Niño. Lo anterior significó que durante agosto, se mantuvieran TSM por sobre los promedios históricos en la franja ecuatorial, lo que venía ocurriendo en los meses precedentes y por otro lado, el IOS a partir de mayo de 2006, mantenía su fase negativa. Sumado a lo ya señalado, los vientos alisios a partir de julio de 2006, mostraron una disminución en su intensidad.

El comienzo de un evento El Niño fue declarado finalmente a mediados de septiembre de 2006, debido a la persistencia de condiciones atmosféricas y oceánicas observadas y reflejadas en los distintos índices de seguimiento. El evento cálido, se registró con una intensidad débil hasta el mes de febrero de 2007. (NOAA, 2006). Para la zona norte de Chile, condiciones superficiales anormales y que se asocian al evento El Niño indicado, se registraron sólo desde la segunda quincena de diciembre 2006 y se extendieron hasta el mes de enero de 2007 (Braun *et al.*, 2007a y 2007b).

En invierno de 2006, la clorofila-*a* se distribuyó muy cercana a la costa, en una franja discontinua de valores productivos ($> 1 \mu\text{g/L}$) a lo largo de la zona de estudio, con escasos focos de altas concentraciones. El más importante fue el del sector de punta Lobos – punta Copaca.

Las concentraciones de cloa, en general, estuvieron de moderadas a altas. En comparación con la información de los dos cruceros anteriores, el rango de valores superficiales para toda la zona de muestreo (0,2 a 14,7 $\mu\text{g/L}$) fue menor que el reportado en el crucero MPH de 2005 (0,2 a 21 $\mu\text{g/L}$) (Braun *et al.*, 2006) y mayor que el crucero MPH 2004 (0,041 y 10,8 $\mu\text{g/L}$) (Braun *et al.*, 2005b).



Al comparar con los resultados de los cruceros PELANOR de invierno de 1994 y 1995 (Castillo *et al.*, 1995 y 1996), que abarcaron desde Arica hasta las inmediaciones de Coquimbo, se puede indicar que el rango de concentraciones ($< 0,5$ y > 21 $\mu\text{g/L}$) observado en 1994 fue superior al del presente período, registrándose además tanto en 1994 así como también en el año 2005, amplias extensiones hacia el oeste de algunos núcleos pigmentarios costeros. A diferencia de lo anterior, los resultados del crucero PELANOR de invierno de 1995 (Castillo *op.cit.*), indicaron que el rango de concentraciones superficiales (0,2 a 9,2 $\mu\text{g/L}$) fue inferior al del actual período, registrándose en aquella oportunidad al igual que en 2006, sólo algunos focos de altas concentraciones ubicados en la transecta frente a Arica y en las localizadas entre punta Copaca y Antofagasta. Para el análisis anterior se debe tener en cuenta que: 1) la grilla de muestreo de los cruceros PELANOR fue más densa que la del actual crucero, 2) se consideró toda su información superficial disponible y 3) no todas las transectas coinciden en su posición.

En términos generales, el rango de valores superficiales de cloa obtenidos en el presente estudio, es acorde a lo registrado en trabajos afines de cruceros precedentes en similar zona de estudio. Por otro lado, los focos de altas concentraciones de cloa durante el presente estudio al igual que en el crucero PELANOR de 1995 tuvieron una amplitud de áreas bastante reducida.

En el plano vertical y considerando una profundidad máxima de 100 m, durante los últimos tres años se han registrado en todas las transectas núcleos eutróficos (> 1 $\mu\text{g/L}$). Sin embargo, durante el período actual sólo tres de las siete transectas analizadas (43%) tuvieron núcleos de concentraciones ≥ 3 $\mu\text{g/L}$, mientras que en los años 2004 y 2005 esto se observó en el 86% y 83% de ellas, respectivamente.



Las áreas de detección de las menores concentraciones de cloa difieren año en año, no encontrándose coincidencia de estas a lo largo de los períodos invernales analizados, es así como en el muestreo del año 2004, el núcleo de menor concentración ($> 1 \mu\text{g/L}$) se detectó en punta Ballenita, mientras que en 2005 se localizó frente a bahía Moreno, con un núcleo pequeño con valores que superaron los $2 \mu\text{g/L}$ y en 2006, las menores concentraciones se registraron en punta Junín y rada Paposo.

Considerando la zona muestreada y hasta los $26^{\circ}00'S$, en los años 1995, 2004 y 2006, ninguno de los núcleos costeros sobrepasó las 40 mn, a diferencia de los períodos de 1994 y 2005, donde este último exhibió extensos núcleos en punta Junín, punta Lobos y punta Copaca. De los resultados expuestos, la menor extensión de áreas cubiertas por focos de altas concentraciones se detectó durante los años 1995 y 2006.

La distribución vertical de la cloa en el presente muestreo, se vio bien representada por la distribución de clorofila integrada, ya que destaca los núcleos subsuperficiales en punta Copaca y bahía Moreno, los que no se observan en la distribución superficial.

En esta oportunidad, el valor más alto del rango de cloint (< 20 a 136 mg/m^2) fue levemente mayor que el registrado en invierno de 1995 (< 10 a 108 mg/m^2) (Castillo *et al.* 1996), siendo estos muy inferiores a los detectados en 1994, 2004 y 2005, con valores que superaron los 300 mg/m^2 (Castillo *et al.* 1995; Braun *et al.*, 2005c; Braun *et al.*, 2006). Por lo que tomando en cuenta tanto esta información como la referida a la distribución superficial y vertical, se puede indicar que las concentraciones de cloa del presente estudio son similares a lo registrado en



1995, siendo sin embargo, estos dos últimos períodos, inferiores a lo reconocido en similar época de los años 1994, 2004 y 2005.

Los feopigmentos (feop) mantuvieron en el área de muestreo concentraciones inferiores a la cloa, principalmente en la zona costera, con máximos $< 2 \mu\text{g/L}$, lo que indica el buen estado fisiológico de las células fitoplanctónicas. En este sentido, en el sector de punta Lobos donde la cloa registró su máximo valor ($14,7 \mu\text{g/L}$), los feop por el contrario presentaron valores proporcionalmente muy bajos ($1,8 \mu\text{g/L}$), por lo que la actividad fitoplanctónica en este sector estaría bajo un régimen productivo.

El valor P_0 estimado durante el período de desove del año 2006 se encuentra dentro del rango de la serie histórica, siendo inferior al año 2005. La tasa de mortalidad diaria de huevos en el mar fue más baja que la de los últimos tres años.

La relación entre el área de desove y la captura total anual (para el 2006 cifra preliminar de 353.734 toneladas a noviembre), muestra una tendencia distinta para el 2006 (**Fig. 41**), la cual sin embargo, está influenciada por el aumento del área de estudio del año 2006 (alrededor de un 30% con respecto al año 2005). Por lo que al utilizar la razón entre área de desove y área de crucero (Área desove/Área crucero), se observa mejor la tendencia a la baja en el 2006 (**Fig. 42**).

La frecuencia de desove de anchoveta estimada para el invierno de 2006 es una de las más altas de la serie, señalando que durante el período en que se realizó la prospección de los adultos de anchoveta, el 20 % de las hembras maduras desovaron a diario, dicho en otras palabras, que en el período de muestreo de 30 días, una hembra madura desovó en promedio, 6 veces, o cada 5 días, valor que



se encuentra dentro del rango promedio de desove de una hembra, considerando los periodos anuales previos.

La fecundidad registrada para el año 2006 se encuentra de los rangos normales de la serie (**Fig. 43**).

La fecundidad específica, esto es la capacidad de producción de huevos por gramo de hembra al día de los adultos, la cual nace de los parámetros de adultos, muestra una estabilización desde el año 2003, manteniéndose alrededor de los 47 huevos/g/día (**Fig. 44**).

Somarakis *et al.*, (2004) señala que debiera existir una relación entre la capacidad de producción de huevos por parte de los adultos (Fecundidad específica) y la producción de huevos encontrada en el mar (P_0), hallando estos autores para la anchoveta del mediterráneo, una relación de tipo lineal. Para la zona norte de Chile se establece una muy buena relación entre ambos parámetros, aunque muestra ser del tipo potencial (**Fig. 45**). El año 2006 se encuentra dentro de la tendencia general.

Somarakis *op. cit.*, también encuentran una relación lineal entre el área de desove y la biomasa estimada, que en el caso de la zona norte de Chile también se verifica, mostrando sin embargo mayor dispersión, especialmente el año 2004 y 2005. El año 2006 se encuentra dentro de la tendencia general (**Fig. 46**).

La biomasa estimada para el 2006 muestra una abrupta caída respecto de las abundancias estimadas para el año 2004 y 2005, que se corresponde con la caída en las capturas (**Fig. 47**).



En general, los parámetros obtenidos en el año 2006 se encuentran dentro de los rangos normales de la serie histórica para la zona norte de Chile.

Con respecto a que las mayores abundancias de huevos de anchoveta en la II Región, se presentaron en la franja más costera (< 5 mn de la costa), área no cubierta en los muestreos de adultos, se debe señalar que en ésta región la flota cerquera artesanal restringe su operación a zonas neríticas cercanas al puerto base de Mejillones, concentrando su accionar en un área relativamente limitada, para la gran extensión de la II Región. En síntesis, esta flotilla opera preferentemente entre punta Atala ($22^{\circ}12'S$) y Ccaleta Herradura ($23^{\circ}20'S$), y virtualmente no trabaja al sur de los $24^{\circ}S$. Por otra parte, las escasas embarcaciones artesanales, con puerto base en Iquique, operan preferentemente en el área meridional de la I Región.

A esta dificultad de obtener muestras costeras de anchoveta, se agrega el hecho de que en el período de estudio, la flota de cerco que operó en la II Región y obtuvo capturas, especialmente en septiembre, lo hizo fuera de las primeras cinco millas de la costa y hasta las 20 millas. Cabe mencionar, que durante el mes de agosto de 2006, las capturas fueron muy escasas. Este comportamiento se agudizó en octubre – noviembre, donde las capturas de anchoveta se registraron más alejadas de la costa, entre las 21 y las 59 millas de la costa.

Al analizar el comportamiento de la distribución de los huevos en el período de invierno, se concluye que éstos presentaron una cobertura geográfica costera, en que las mayores agregaciones tendieron a concentrarse en las primeras millas de la costa. No obstante lo anterior, Braun *et al.*, (2004) indican que en invierno las reparticiones espaciales del ictioplancton se encuentran en posiciones más oceánicas, debido a una mayor cobertura territorial del ictioplancton, apreciándose



grandes agregaciones, por otro lado Morales *et al.*, (1996) señalan que es la época de desove principal y por otro lado la de mayor abundancia de larvas.

De manera general, se observó que los huevos de la especie mostraron una leve preferencia por las temperaturas de 15-17°C, lo cual es coincidente a lo mencionado por Braun *et al.* (2002) y Oliva *et al.* (2002), quienes indican que en los meses de otoño e invierno el ictioplancton se distribuye preferentemente entre los 15 y 17°C. A su vez, Silva *et al.* (2003) mencionan que la distribución espacio-temporal de los adultos de la especie ha sido asociada con altos valores de gradientes térmicos. En cuanto a la salinidad, se detectó que los huevos de anchoveta muestran una nítida preferencia por el rango 34,7-34,9 psu.

La distribución espacial del ictioplancton señaló que existen dos sectores donde se observaron agregaciones de manera recurrente, el primero está localizado en los alrededores del puerto de Arica y tiene una baja extensión espacial y, el segundo núcleo se ubicó en las proximidades de punta Lobos y es el foco principal en términos espaciales y temporales y se caracterizó por abarcar una amplia zona, en este sentido Pizarro *et al.* (1998) plantean que la desembocadura del río Loa en las cercanías de punta Lobos, es un sector de alta producción biológica y mencionan que frente a la desembocadura del río Loa en el norte de Chile, entre los 20°30'S - 21°45'S, se han encontrado históricamente concentraciones importantes de huevos y larvas de *Engraulis ringens*. También es importante señalar que estos focos principales de abundancia de huevos y larvas coinciden con las áreas de surgencias más relevantes del norte de Chile. Efectivamente en un trabajo realizado por Barbieri *et al.* (1995), en el cual se emplearon 1.867 imágenes satelitales de TSM, se observó la presencia de núcleos de surgencia durante todo el año en las siguientes localidades: alrededores de Arica (18°35'S), punta Pichalo (19°35'S),



entre las latitudes 20°31'S a 21°01'S (proximidades de punta Lobos), punta Arenas (21°38'S) y en Mejillones, con una intensidad mayor en verano y menor en invierno.

Por su parte, el patrón de distribución de los centros de gravedad indicó que los CG se posicionaron mayoritariamente en las primeras 20 mn de la costa, no obstante lo anterior, se apreció que en los últimos años (2004 - 2006) los CG tienden a localizarse en sectores más oceánicos. Lo anterior es concordante con lo mencionado por otros autores que indican que los focos más importantes de huevos de la especie tienden a ubicarse en las primeras millas de la costa (Oliva *et al.*, 2002 y Braun *et al.*, 2004). También es importante destacar que en el año 1997, debido a la influencia del evento ENOS, el centro de gravedad se desplaza hacia el sur, en este sentido Yañez *et al.* (1993) al analizar la distribución de anchoveta y sardina en la zona norte, también mencionan un desplazamiento de las especies hacia el sur cuando la zona de estudio se ve influenciada por el evento ENOS, finalmente el hecho de que la mayoría de los CG se ubiquen cerca de la desembocadura del río Loa, refuerza la aseveración de que este sector es una zona de desove importante

Al emplear modelos aditivos generalizados quedó en evidencia la relación no lineal entre los factores de localización y oceanográficos y la presencia y densidad de huevos de anchoveta en la zona norte del país. Los modelos propuestos permiten explicar una fracción de la variabilidad en los datos, vale decir existe una ganancia de los modelos que incorporan las covariables latitud, longitud, salinidad y temperatura superficial del mar frente a uno sin incorporar dichas variables explicatorias. No obstante los índices de calidad del ajuste (pseudo R^2) en general son bajos, situación esperable debido a la alta variabilidad entre las variables modeladas y sus covariables. Sin embargo y aún con niveles bajos de ajuste, los



modelos desarrollados permiten describir el comportamiento de la presencia y densidad de huevos en función de las covariables incorporadas en el análisis y ratificadas por la significancia estadística de los modelos.

El efecto de las funciones suavizadas indica que si bien el desove se produce en todo el rango latitudinal analizado, el área al norte de los 23° presenta condiciones más favorables para la presencia y la densidad de huevos. Respecto de la longitud se observa que éste es un proceso costero, en efecto longitudes localizadas al este de los 70° 22' W tienen un impacto positivo gradual en la densidad de huevos. En cuanto a las condiciones oceanográficas, temperaturas entre los 15° y 17° C favorecieron la presencia de huevos de anchoveta, verificándose un efecto positivo sobre las densidades en el rango de los 15° a 16,5°C; en tanto, salinidades no presentan un efecto claro sobre la presencia y densidad de huevos. Asimismo, el análisis integrado de los cruceros estacionales, indica que las mayores probabilidades de éxito de encontrar huevos de anchoveta junto con las mayores densidades correspondieron los años 1997, 2000, 2002, 2004 y el 2005.



IX. CONCLUSIONES

El número de huevos de anchoveta registrados durante el período invernal de 2006 denotó en relación al año 2005 una disminución de un 30,8%, a pesar de ello, ha sido uno de los períodos de desove más importantes de los últimos doce años.

La mayor disposición espacial adoptada por los huevos de anchoveta en la zona de estudio coincide con aquellas áreas de mayores TSM, menor turbulencia, mayor clorofila y distribución simultánea del recurso. A la vez, esta disposición que es característica para la época, se asocia con un régimen de condiciones ambientales normales.

En términos generales, las mayores densidades y frecuencias de registros positivos para la fase de huevos de anchoveta, se circunscribió espacialmente a la zona comprendida entre Arica y las inmediaciones de Antofagasta. Hacia el extremo sur de la zona prospectada, su presencia y densidad ha sido escasa y baja a través del tiempo.

Los mayores porcentajes de huevos se localizan dentro de las primeras 40 mn, por lo que el desove estaría originándose de manera intensa dentro de este sector.

Las condiciones superficiales observadas en el crucero, señalan que la zona norte se encuentra bajo condiciones de TSM dentro de los rangos considerados normales.



Focos de baja salinidad superficial que se presentaron en algunas áreas del sector oceánico, estuvieron asociados al transporte de agua producto de la surgencia y a la mezcla superficial originada por el viento. Ambos procesos locales, afectan sólo un área menor de la zona de estudio.

A nivel subsuperficial, destacó el ascenso del núcleo de agua Ecuatorial Subsuperficial, hacia niveles de 100 m en el área oceánica frente a bahía Moreno, lo que originó anomalías de salinidad significativas en dicho lugar.

La zona de estudio no se encuentra afectada por condiciones cálidas “El Niño”, proceso que se encuentra en desarrollo en el Pacífico Tropical, esperándose efectos de éste evento hacia fines de año en la costa norte de Chile.

El rango de concentraciones de la clorofila superficial de invierno de 2006 estuvo dentro de lo registrados en periodos anteriores considerados normales.

La clorofila-*a* presentó escasos núcleos de concentraciones categorizadas de moderadas a altas.

La presencia de núcleos subsuperficiales de clorofila-*a* en invierno de 2006, se vio bien representada por la distribución de clorofila integrada.

La producción diaria de huevos estimada para el año 2006 de 30,81 huevos/0,05m²/día con un error estándar de 11,27 y un error estándar residual de la regresión de 11,078 se encuentra entre los rangos estimados previamente. De acuerdo al Taller de Trabajo realizado en enero de 2007, con la participación del Dr Miguel Bernal (España), será necesario revisar las ponderaciones utilizadas, ya que si bien aumenta la precisión tiende a dar menor importancia a las abundancias



más altas de las cohortes tempranas de huevos. Una alternativa es utilizar la distribución binomial negativa como función de pérdida en el ajuste, sin embargo esta deberá ser evaluada en la serie histórica de aplicaciones del MPH en la zona norte de Chile antes de su aplicación.

La fecundidad media poblacional estimada fue de 12.087 ovocitos, con una varianza de 396.067 y un coeficiente de variación de 5,2%. Este estimado resulta más alto en comparación al año 2005, estando sin embargo dentro de los valores más bajos de la serie, lo que estaría en relación al peso promedio de las hembras, el cual también está dentro de los más bajos. La función fecundidad parcial en función del peso corporal de las hembras para el año 2006 se encuentra entre los rangos normales de la serie.

La biomasa desovante estimada resulta en 615.734 ton, con una varianza de $1.50331E+11$ y un coeficiente de variación de 63%. El alto valor de coeficiente de variación se debe principalmente al efecto de P_0 . Sin embargo, en el análisis de las tendencias generales de la serie histórica, esto de la fecundidad específica y su relación con P_0 , así como entre el área de desove y las capturas totales de año indican una situación normal para el año 2006.

El Taller realizado con el Dr. Miguel Bernal (España) permitió el desarrollo de nuevas herramientas para la asignación de edad a los huevos de anchoveta y cálculo de P_0 . Sin embargo, dado que su implementación llevará un tiempo y además que implicará un cambio en las estimaciones previas, es que para el año 2006 se entrega un cálculo de P_0 con el método "tradicional" que se ha estado aplicando en las estimaciones del MPH en Chile. El cambio de los métodos de estimación implicará una reestimación de toda la serie histórica de aplicaciones del



MPH en Chile, previa estandarización de criterios de forma que sean comparables interanualmente sus resultados.

El análisis de la repartición espacial de los huevos de anchoveta indica los huevos de la especie poseen una leve preferencia por el estrato de 15-17°C. En cuanto a la salinidad, éstos se distribuyen en un amplio rango que oscila entre los 34,2 y 35,2 psu, con una preferencia por el rango 34,7-34,9 psu.

La distribución geográfica de los centros de gravedad de los huevos indica que los CG se ubicaron preferentemente en sectores costeros en las primeras 20 mn de la costa, no obstante que en los últimos años se localizaron más oceánicamente. Por otro lado, el análisis de los CG indica que la desembocadura del río Loa es la zona de desove principal.



X. BASE DE DATOS

La estructura de las bases de datos, con toda la informaci3n recopilada durante la ejecuci3n del proyecto FIP 2006 - 06 "Evaluaci3n del stock desovante de anchoveta en la I y II Regiones, a3o 2006" se almacen3 en registros magn3ticos. Los archivos y el formato de grabaci3n de cada una de las componentes del proyecto se detallan a continuaci3n.

1. Datos oceanogr3ficos y meteorol3gicos

La informaci3n oceanogr3fica y meteorol3gica de cada una de las estaciones oceanogr3ficas que se realizar3n durante el crucero de prospecci3n, se almacenar3n en el siguiente archivo: **CRUCEMPH**, cuyo formato de grabaci3n (Formulario de codificaci3n), corresponde a una modificaci3n del formato **NODC**. El formato **IFOP** est3 compuesto por un registro de identificaci3n y varios registros de informaci3n:

a) Registro de identificaci3n

Campo	Columna de inicio	Formato
país	1	E 2
buque	3	A 2
latitud grados	5	E 2
minutos	7	R 3.1
longitud grados	10	E 2
minutos	13	R 3.1
marsden	16	E 3
año	19	E 2
mes	21	E 2
día	23	E 2
hora local	25	R 3.1
instituci3n	28	E 2
crucero	30	E 3
estaci3n	33	A 3
prof.ecosonda	36	E 4



máxima profundidad	40	E 2
n° observaciones	42	E 2
trans. Secchi	44	E 2
dirección olas	46	E 2
altura olas	48	E 1
período olas	49	E 1
dirección viento	50	E 2
velocidad viento	52	E 2
presión barométrica	54	R 3.1
bulbo seco	57	R 3.1
bulbo húmedo	60	R 3.1
tiempo	63	E 2
tipo nubes	65	E 1
cant. Nubes	66	E 1
visibilidad	67	E 1
latitud n-s	68	A 1
longitud w-e	69	A 1
tipo de datos	76	A 1
control	80	E 1

b) Registros de datos

identificación	1	35 (Repetición)
profundidad (m)	36	E 4
temperatura (°C)	40	R 4.2
salinidad	44	R 5.3
oxígeno (ml/l)	49	R 4.4
control	80	E 1

Observaciones:

Formato tipo: A n: Alfanumérico

E n: Entero

R n: Real sin el punto (ej. 34.356 en formato R 5.3 es 34356)

n: Número de columnas

Columna 28 y 29 - códigos institución: 01=SHOA, 02=IFOP, 03=UCV, 04=SSP y 05=otros

Columna 76 - códigos del tipo de datos: B = botellas, C = CTD

Columna 80 - código control : 1 identificación de la estación y 2 último dato observado



Los datos meteorológicos se encuentran codificados de acuerdo las normas y códigos del NODC. A continuación se entregan codificaciones realizadas a los datos meteorológicos.

ALTURA OLA DOMINANTE	
CODIGO	altura de la Ola
X	X altura no determinada
0	0 a 0.25 m
1	0.25 a 0.75 m
2	0.75 a 1.25 m
3	1.25 a 1.75 m
4	1.75 a 2.25 m
5	2.25 a 2.75 m
6	2.75 a 3.25 m
7	3.25 a 3.75 m
8	3.75 a 4.25 m
9	> 4.25 m

PERIODO DE OLA	
CODIGO	período
X	calma o no determinado
2	5 seg o menos
3	6 seg
4	8 seg
5	10 seg
6	12 seg
7	14 seg
8	16 seg
9	18 seg
0	20 seg
1	> 21 seg

TIPO DE NUBE	
CODIGO	NUBE
s	sin nubes
X	nube no visible
0	cirrus
1	cirrocumulus
2	cirrostratus
3	altocumulos
4	altostratus
5	nimbostratus
6	stratocúmulos
7	stratus
8	cúmulos
9	cumulonimbus

VISIBILIDAD	
CODIGO	distancia de visibilidad
0	< 50 m
1	50 a 200 m
2	200 a 500 m
3	500 m a 1 km
4	1 a 2 km
5	2 a 4 km
6	4 a 10 km
7	10 a 20 km
8	20 a 50 km
9	50 km o más
x	no registrado

TIEMPO PRESENTE	
CODIGO	CONDICION
0	despejado
1	parcial nublado
2	capas continuas de nubes
3	ráfagas con polvo o nieve
4	neblina o bruma
5	chubascos
6	lluvia
7	nieve o lluvia y nieve
8	lluvia torrencial
9	tormenta
x	no registrado

OTROS	
Direcciones viento y olas grados verdaderos	
Intensidad del viento nudos	
cantidad de nubes de 0 a 8 partes, 9 = no observado	



2. Archivo Base datos Adultos 2006.xls

Descripción: Archivo con la base de datos de ejemplares adultos de anchoveta muestreados en los lances de pesca. Permite estimar los parámetros de adultos: Peso promedio de hembra, Proporción sexual, Fecundidad Parcial y Fracción diaria de hembras desovantes.

Hoja: Datos Hembras

Columnas corresponden a:

Lance	:	Orden del Lance.
Orden	:	Número de orden de la hembra del lance
LT(cm)	:	Longitud Total en centímetros
PT (g)	:	Peso Total en gramos
PE (g)	:	Peso Eviscerado en gramos
PG (g)	:	Peso Gónada en gramos
EMM	:	Estado de Madures Microscópico según escala en Informe
FPO	:	Presencia de Foículos PostOvulatorios (0, 1 o 2 días). 999: Sin FPO.
PC	:	Peso Corporal en gramos (PT-PG).

Hoja: Prop. Sexual

Columnas corresponden a:

Lance correlativo	:	Orden de lances de pesca correlativos.
LANCE	:	Número de Lance de Pesca
NO	:	Número de Orden del ejemplar.
PT	:	Peso Total en gramos del ejemplar
SEXO	:	Sexo del ejemplar. 1: Macho. 2: Hembra



Hoja: Fecundidad

NO	:	Número de orden del ejemplar
LT	:	Longitud Total en centímetros
PT	:	Peso Total en gramos
PE	:	Peso Eviscerado en gramos
PG	:	Peso Gónada en gramos
PC	:	Peso Corporal en gramos (PT-PG)
EMM	:	Estado de Madurez Microscópico según escala. 6: Hidratado
FECUNDIDAD	:	Fecundidad parcial estimada para el ejemplar, en número de ovocitos.

3. Archivo: Base de datos Po.xls

Descripción: Archivo con base de datos del número de huevos por estadio y estación de muestreo, temperatura a 10 m de profundidad y hora de muestreo. Entrada para la estimación de Producción diaria de huevos (Po)

Columnas

N° huevos por ESTADOS DE DESARROLLO, corregidos por DES

Del I al XI estadios de desarrollo de Huevos. En Filas el número de huevos en cada estadio por estación. Número de huevos ya está corregido por huevos desintegrados (DES).

Hora: Hora de muestreo de la estación. En hora y fracción de hora.

T° 10 m: Temperatura (°C) de la estación a 10 m de profundidad.



4. Clorofila -a

Descriptor

Crucero de invierno MPH cru486-clo

Estructura interna:

Columna A	crucero	número de crucero
Columna B	est	estación
Columna C	prof	profundidad
Columna D	cloa	clorofila a en $\mu\text{g/L}$
Columna E	feop	feopigmentos en $\mu\text{g/L}$



XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aitchison, J., & J. A.C. Brown. 1957.** The lognormal distribution. Cambridge University Press, Cambridge, MA. 387 p.
- Alheit, J., V.H. Alarcon and B.J. Macewicz. 1984.** Spawning frequency and sex ratio in the Peruvian anchovy, *Engraulis ringens*. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep. 25: 43-52.
- Augustin, H.N. D.L. Borchers, E.D. Clarke, S.T. Buckland & M. Walsh. 1998.** Spatiotemporal modelling for the annual egg production method of stock assessment using generalized additive models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55: 2608-2621.
- Bakun, A. 1973.** Coastal Upwelling Indices, West Coast of North America, 1946 – 1971. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Report NMFS-SSRF 671, 103 pp.
- Bakun, A. 1975.** Daily and weekly upwelling indices, West Coast of North America, 1967 – 1973. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Report NMFS-SSRF 693, 113 pp.
- Bakun A. And R. Parrish. 1982.** Turbulence, transport, and pelagic fish in the California and Peru Current System. CalCOFI. Rep., Vol XXIII, 99-112.
- Bakun, A. 1987.** Monthly variability in the ocean habitat off Perú as deduced from maritime observations, 1953 to 1984. In: The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of changes. D. Pauly & I. Tsukayama (Eds.) ICLARM Studies and Reviews 15: 46-74.



- Barbieri M. A., M. Bravo, M. Farías, A. González, O. Pizarro y E. Yáñez. 1995.** Fenómenos asociados a la estructura térmica superficial del mar observados a través de imágenes satelitales en la zona norte de Chile. Invest. Mar., Valparaíso, vol 23: 99-122.
- Blanco, J.L. 1996.** Variabilidad térmica y salina en la zona norte de Chile, Informe Interno para IFOP.
- Blanco, J. L. A. C. Thomas, M. E. Carr y P. T Strub. 2001.** Seasonal climatology of hydrographics conditions in the upwelling region off northern Chile. J. Geophys. Res., 106, C6, 11451-11467.
- Blaxter, J. and J. Hunter, 1982.** The biology of the clupeoid fishes. Adv. Mar. Biol. 20: 201 – 223.
- Borchers, D.L., S.T. Buckland, I.G. Priede and S. Ahmadi. 1997.** Improving the precision on the daily egg production method using generalized additive models. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 58:2330-2340.
- Braun, M.; H. Reyes; J. Osses, J. Castillo y V. Catasti. 2002.** Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas en la I y II Regiones, año 2001. Informe Final FIP N°2001-01. Instituto de Fomento Pesquero (Valparaíso, Chile).
- Braun, M., H. Reyes, V. Valenzuela, J. Castillo, J. Osses y V. Catasti. 2004.** Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas en la I y II Regiones, año 2002. Informe Final. FIP 2002-01. 156 pp + tablas y figuras.
- Braun, M., V. Valenzuela, G. Claramunt, H. Reyes, M. Pizarro, V. Catasti, G. Herrera, P. Moreno, C. Gaspar y E. Díaz. 2006.** Evaluación del stock desovante de la anchoveta en la I y II Regiones, año 2005. Informe Final FIP N° 2005-03, Instituto de Fomento Pesquero (Valparaíso, Chile). 164 p + 16 Tablas, 46 Figuras y 4 Anexos.



- Braun, M.; H. Reyes; E. Pizarro, J. Castillo, J. Saavedra, V. Catasti y V. Valenzuela. 2005a.** Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas en la I y IV Regiones, año 2004. Informe Final FIP N°2004-01. Instituto de Fomento Pesquero (Valparaíso, Chile). 300pp + Anexos.
- Braun, M.; H. Reyes; V. Valenzuela, E. Pizarro, J. Castillo, V. Catasti, J. Saavedra y J.L.Blanco. 2005b.** Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas en la I y II Regiones, año 2003. Informe Final FIP N°2003-01. Instituto de Fomento Pesquero (Valparaíso, Chile). 464pp + Anexos.
- Braun, M.; H. Reyes; J. Castillo, V. Valenzuela, E. Pizarro, V. Catasti y J. Saavedra. 2005c.** Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas en la I y IV Regiones, año 2005. Primer Informe Avance FIP N°2005-10. Instituto de Fomento Pesquero (Valparaíso, Chile). 172pp + Anexos.
- Braun, M.; G. Claramunt, V. Valenzuela, G. Herrera, H. Reyes; M. Pizarro, J. Saavedra, V. Catasti, Z. Young y R. Serra. 2005.** Evaluación del stock desovante de anchoveta en la I y II Regiones, año 2004. Informe Final Consolidado Corregido (Fase 1 y Fase 2), FIP N° 2004 - 04. Instituto de Fomento Pesquero (Valparaíso, Chile). 154pp + Anexos.
- Braun, M., V. Valenzuela, H. Reyes, J. Castillo, E. Pizarro, V. Catasti. 2007a.** Monitoreo de las Condiciones Bio-oceanográficas entre la I y IV Regiones, año 2006. Segundo Informe de Avance Proyecto FIP N° 2006-01.
- Braun, M., V. Valenzuela, H. Reyes, J. Castillo, E. Pizarro, V. Catasti, J. Saavedra. 2007b.** Monitoreo de las Condiciones Bio-oceanográficas entre la I y IV Regiones, año 2006. Tercer Informe de Avance Proyecto FIP N° 2006-01.



- Cañon, J. R. 1986.** Variabilidad ambiental en relación con la pesquería pelágica de la zona norte de Chile. In: “La pesca en Chile”, P. Arana (Ed.), Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso: 195 – 205.
- Castillo, J. y O. Guzmán. 1985.** Variaciones de la distribución espacial de la sardina española y jurel durante El Niño 1982-83. Invest. Pesq. (Chile), 32: 79-93.
- Castillo, J., M. Barbieri, A. Paillamán, U. Parker, J. L. Blanco, H. Reyes, M. Braun y J. Osses. 1995.** Evaluación hidroacústica de los stocks de sardina española, anchoveta y jurel en la zona norte, I a IV regiones. Informe Final FIP. Instituto de Fomento Pesquero (Valparaíso, Chile). 152 p + Tablas, figuras y anexo.
- Castillo, J., M. Barbieri, J. Córdova, S. Lillo, U. Parker, J. L. Blanco, M. Braun y J. Osses. 1996.** Evaluación Hidroacústica de los recursos anchoveta, jurel y sardina española de las regiones I a IV. Informe Final FIP–IT95-03. Instituto de Fomento Pesquero (Valparaíso, Chile). 165 p + Tablas y figuras.
- Claramunt, G., G. Herrera, J. Pizarro, P. Pizarro, R. Escribano, M. Oliva, A. Olivares, C. Guerra y A. Zuleta. 1996.** Evaluación del stock desovante de anchoveta por el “Método de Producción de Huevos” en la I y II Regiones. Informe Final, Proyecto FIP 95-01. Fondo de Investigación Pesquera. Universidad “Arturo Prat” Iquique. 49 p + anexos.
- Claramunt, G., G. Herrera, P. Pizarro, J. Pizarro, R. Escribano, M. Oliva, A. Olivares y A. Zuleta. 1997.** Evaluación del stock desovante de anchoveta por el “Método de Producción de Huevos” en la I y II Regiones. Informe Final, Proyecto FIP 96-01. Fondo de Investigación Pesquera. Universidad “Arturo Prat” Iquique. 75 p. + anexos.



- Eastman, J.R. 1997.** IDRISI for windows: User's Guide, Version 2.0. Clark University, Worcester, MA, USA, 346 pp.
- Fonseca y Farias. 1987.** Estudio del proceso de surgencia en la costa chilena utilizando percepción remota. Invest. pesq. (chile). 34.
- Frontier, S. 1966.** Zooplancton de la región Nosy-Bé I (Programa des recortes et techniques d'étude. II). Plancton de surface aux stations 5 et 10. Cah orstom (Oceanog.), 4(3):3-37.
- García, M. 1993.** Fluctuaciones ambientales y su relación con pesquerías pelágicas del Pacífico suroriental. Tesis para optar al título de Ingeniero Pesquero, Esc. Cs. del Mar, UCV. Valparaíso. 104 pp.
- Gordon, S., H. Chisheng & K. Stephen. 1992.** Spatial analysis of Bearing Sea groundfish survey data using generalized additive models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1366-1378.
- Hastie, T. J. and Tibshirani, R.J. 1990.** Generalized Additive Models, Chapman & Hall, London.
- Hewitt, R. and Bindman and N. Lo. 1984.** Procedures for Calculating the Egg Production Estimate of Spawning Biomass. Administrative report LJ-84-19. National Marine Fisheries Service. Southwest Fisheries Center. La Jolla. Ca. U.S.A. 46 p.
- Hunter, J. R. and B. J. Macewicz. 1980.** Sexual maturity, batch fecundity, spawning frequency and temporal pattern of spawning for the northern anchovy, *Engraulis mordax*, during the 1979 spawning season. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep. 21: 139-149.



- 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: 63-65.
- Hunter, J.R. and B.J. Macewicz. 1985.** Rates of atresia in the ovary of captive and wild northern anchovy, *Engraulis mordax*. Fishery Bulletin: Vol 83 N° 2. 119-136.
- Hunter, J.R., 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.
- Jacob, B. 2002.** Variabilidad espacio temporal de las condiciones oceanográficas físicas y biológicas asociadas a la Anchoveta (*Engraulis ringens*) en la zona norte de Chile durante los periodos Pre El Niño (1995-96) y El Niño (1997-98). Tesis para optar al título de Ingeniero de Ejecución en Pesca y Acuicultura. Universidad del Mar.
- Krzanowski, W. 1998.** An Introduction to Statistical Modelling. Arnold, London.
- Lo, N. 1985.** A model for temperature – dependent northern anchovy egg development an automatic procedure for the assignment of egg to staged eggs. NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 43 – 50.



- Lo, N.C.H. 1997.** Empirical analyses of the precision of regression estimates of daily egg production and egg mortality of pelagic fish for daily egg production method. *Ozanografika*. 2: 71-89.
- Lohrenz, S. E., D. Wiesenburg, I. P. Depalma, K. S. Jhonson y D. E. Gustafson, Jr. 1988.** Interrelationships among primary production, chlorophyll, and environmental conditions in frontal regions of the western Mediterranean Sea. *Deep-Sea. Res.* 35(5):793-810.
- Macewicz, B. and R. Hunter. 1993.** Spawning frequency and batchfecundity of jack mackerel, *Trachurus symmetricus*, off California during 1991. *CalCOFI Rep.*, Vol. 34. 112-121.
- Macewicz, B. J.; J. J. Castro; C. E. Coto and J. R. Hunter. 1996.** Adult reproductive parameters of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) during 1994. *CALCOFI-REP*, 1996, vol 37, pp. 140-151.
- Martínez, C., L. Caballero, G. Böhm, J. Oliva, R. Gili, V. Böcic, P. Barria y R. Serra. 1992.** Diagnóstico de las principales pesquerías pelágicas zona norte 1991. Estado de situación y perspectivas del recurso. Convenio CORFO-IFOP. Chile. 51 p.
- Martínez, C., U. Parker, L. Caballero, G. Böhm, J. Oliva, S. Peña, R. Gili, H. Hidalgo, V. Fernández, P. Barria y R. Serra. 1993.** Diagnóstico de las principales pesquerías pelágicas zona norte 1992. Estado de situación y perspectivas del recurso. Convenio CORFO-IFOP. 135 p.
- Martínez, C., L. Caballero, U. Parker, G. Böhm, J. Oliva, V. Fernández, S. Peña, R. Gili, H. Hidalgo, P. Barria, R. Serra y M. Nilo. 1994.** Diagnóstico de las principales pesquerías pelágicas zona norte 1993. Estado de situación y perspectivas del recurso. Convenio CORFO-IFOP. 135 p.



- Martínez, C., L. Caballero, U. Parker, G. Böhm, J. Oliva, V. Fernández, S. Peña, R. Gili, H. Hidalgo, P. Barría, R. Serra y M. Nilo. 1995.** Diagnóstico de las principales pesquerías pelágicas zona norte en 1993. Estado de situación y perspectivas del recurso. Convenio CORFO-IFOP. Chile. 135 p.
- Martínez, C. y G. Böhm. 2006.** Informe biológico pesquero mensual. Marzo 2006. 8 págs.
- McCullagh, P. And Nelder, J.A. 1989.** Generalized Linear Models (2nd Edition), Chapman & Hall, London.
- Microimages. 1997.** TNTmips The Map & Image Processing System 5.8, User's Guide and Technical References. MicroImages, Inc, Nebraska, USA.
- Millero, F. and A. Poisson. 1981.** International one atmosphere equation of state of seawater. Deep Sea Res., 28A, 625-629.
- Morales, C. M. Braun y H. Reyes. 1996.** Distribución de larvas de anchoveta en la zona costera del Norte de Chile: el efecto de bajas concentraciones de oxígeno disuelto y de una secuencia fría-cálida (1990-95). En: Invest. Mar., Valparaíso, 24: 77-96.
- Morales, C. E., J. L. Blanco, M. Braun, H. Reyes AND A. G. Davies. 1996.** Anchovy larval distribution in the coastal zone off northern Chile: The effect of low dissolved oxygen concentrations and of a cold-warm sequence (1990-1995). Invest. Pesq., Valparaíso: 24, 77-96.
- 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.



Neter J., W. Wasserman & M. Kutner. 1990. Applied Linear Statistical Models. 3rd ed. R. D. IRWIN, INC. 1181 p.

NOAA, 2006. El Niño/southern oscillation (ENSO) diagnostic discussion. Climate Prediction Center / NCEP. Agosto 2006 a marzo 2007.
url:http://products/analysis_monitoring/enso_advisory/

NODC. 1991. Key to Oceanographic Record Documentation N°14. National oceanographic data Center. NOAA. USA.

Oliva J., J. Barañados Y M. Tirado. 1989. Determinación de la fecundidad y frecuencia del desove de la sardina (*Sardinops sagax*), 1986. Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS). Rev. Pacífico Sur (Número Especial): 341-348.

Oliva J., M. Braun, J. Castillo, J. Blanco y O. Rojas. 1998. Evaluación del stock desovante de la anchoveta en la I y II Regiones (1997). Instituto de Fomento Pesquero. Informe Final. Proyecto FIP 97-01. 133 p.

Oliva J., M. Braun, J. Cordoba, J. Castillo, V. Catasti, V. Valenzuela, O. Rojas, J. Blanco Y C. Martínez. 2000. Evaluación del stock desovante de la anchoveta en la I y II Regiones (1999). Instituto de Fomento Pesquero. Informe Final. Proyecto FIP 99-10. 133 p.

Oliva J., C. Montenegro, M. Braun, O. Rojas, E. Díaz, V. Catasti, H. Reyes, P. Barría, R. Serra, G. Claramunt, G. Herrera, P. Pizarro, J. Pizarro, R. Escribano y M. Oliva. 2001. Evaluación del stock desovante de la anchoveta en la I y II Regiones, año 2000. Instituto de Fomento Pesquero. Informe Final. Proyecto FIP 2000-06. 114 p. + anexos.



Oliva J., C. Montenegro, M. Braun, O. Rojas, H. Reyes, V. Catasti, E. Díaz, P. Barría, R. Serra, V. Baros, A. Vargas, G. Claramunt, G. Herrera, P. Pizarro, J. Pizarro, Y. Muñoz, R. Escribano y M. Oliva. 2002. Evaluación del stock desovante de la anchoveta por el método de producción de huevos en la I y II Regiones, año 2001. Instituto de Fomento Pesquero. Informe Final. Proyecto FIP 2001-10. 86 p. + anexos.

Oliva J., H. Reyes, V. Baros, E. Díaz, C. Montenegro, V. Catasti, G. Claramunt, G. Herrera, J. Pizarro, P. Pizarro y S. Soto. 2003. Evaluación del stock desovante de la anchoveta por el método de producción de huevos en la I y II Regiones, año 2002. Instituto de Fomento Pesquero. Informe Final. Proyecto FIP 2002-10. 87 p. + anexos.

Parker, K. 1980. A direct method for estimating northern anchovy, *Engraulis mordax*, spawning biomass. Fish. Bull., U.S. 78: 541-544.

Parsons, T.R , Y. Maita y C.M. Lalli. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press 173 pp.

Pennington. M. 1983. Efficient estimators of abundance for fish and plankton surveys. Biometrics 39:281-286.

Pennington, M. 1986. Some statistical techniques for estimating abundance indices from trawl surveys. Fish. Bull. (U.S.) 84:519-525.

Picquelle, S.J. and R.P. Hewitt. 1984. The 1983 spawning biomass of the northern anchovy. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep. 25: 16-27.

Picquelle, S.J. and G. Stauffer. 1985. Parameter estimation for an egg production method of northern anchovy biomass assesment. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish:



application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 7-15.

Pizarro J., W. Palma y Claudio Flores. 1998. Validación de la hipótesis de mortalidad por inanición en larvas de *Engraulis ringens* Jenyns, 1842 (Pisces: Engraulidae), utilizando el criterio histológico en un área de surgencia costera en el norte de Chile. En: Invest. Mar., Valparaíso, 26: 97-108.

Reynolds, R. 1982. A monthly averaged climatology of Sea Surface Temperature. Techival Report NNS-31, National Metereological Center, NOAA, Silver Springs, Md.

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

Rojas, R. y N. Silva. 1996. Atlas Oceanográfico de Chile. (18°21'S – 50°00'S). Volumen I. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada. 234 pag.

Santander, H., P. E. Smith y J. Alheit. 1982. Determinación del esfuerzo de muestreo requerido para el estimado de producción de huevos de anchoveta, *Engraulis ringens*, frente al Perú. Bol. Inst. Mar. Perú, Callao. 7(1):16p.

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.



- SEABIRD. 2004.** Manual de Proceso de datos de CTD Sea Bird.
http://www.seabird.com/pdf_documents/manuals/SBEDataProcessing_5.32a.pdf
- 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.
- SERNAPESCA, 2004.** Anuario Estadístico de Pesca.
- Serra, J.R. 1976.** Escalas de madurez sexual para sardina española (*Sardinops sagax musica*), y jurel (***Trachurus murphyi***). Investigación Pesquera IFOP (24), 20 págs.
- Silva, C., E. Yañez. M. A. Barbieri y K. Nieto. 2003.** Asociaciones entre la pesquería de pequeños pelágicos, la clorofila a y la temperatura superficial del mar en la zona norte de Chile. In: Actividad pesquera y de acuicultura en Chile. Valparaíso, 157-162.
- Simpson, J. y E. Gil. 1967.** Maduración y desove de la anchoveta (***Engraulis ringens***) en Chile. Bol. Cient. Instituto de Fomento Pesquero. Santiago-Chile. 4:55 p.
- Smith. P. E., W. Flerx and R. P. Hewitt. 1985.** The CalCOFI vertical egg tow (CalVET) net. In: R. Lasker (ed.). An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 27-32.



Somarakis, S.; I. Palomera; A. García; L. Quintanilla, C. Koutsikopoulos; A. Uriarte and L. Motos. 2004. Daily egg production of anchovy in European waters. *ICES Journal of Marine Sciences*, 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.

Stefansson, G. 1996. Analysis of groundfish survey abundance data: combining the GLM and delta approaches. *ICES. Journ. Of Mar. Sci.* 53(3). Pp577-588 (12).

Thompson, S.K. 1992. "Sampling". John Wiley & Sons, Inc. 343 pp.

UNESCO, 1981a. The practical salinity scale 1978 and the international Equation of State of Seawater 1980. *UNESCO Tech. Papers in Mar. Sci.*, N°36.

UNESCO, 1981b. Background papers and supporting data on the Practical Salinity Scale 1978. *UNESCO Tech. Papers in Mar. Sci.*, N°37.

UNESCO, 1981c. Background papers and supporting data on the International Equation of State of Seawater. *UNESCO Tech. Papers in Mar. Sci.* N°38.

Wallace, R. and k. Selman. 1981. Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleosts. *Amer. Zool.* 21:325-343.

Yamamoto, K. and H. Yoshioka. 1964. Rhythm of development in the oocyte of the medaka, *Oryzias latipes*. *Bull. Fac. Fish., Hokkaido Univ.* 15: 5-19.



Yañez E.; C. Canales; M. A. Barbieri; A. González y V. Catasti. 1993. Estandarización del esfuerzo de pesca y distribución espacial e interanual de la CPUE de anchoveta y sardina en la zona norte de Chile entre 1987 y 1992. En: Invest. Mar., Valparaíso, 21: 111-132.

Yañez, E., A. Gonzalez Y M. A. Barbieri. 1995. Estructura térmica superficial del mar asociada a la distribución espacio-temporal de sardina y Anchoveta en la zona norte de Chile entre 1987 y 1992. Invest. Mar., Valparaíso, 23: 123-147.

FIGURAS

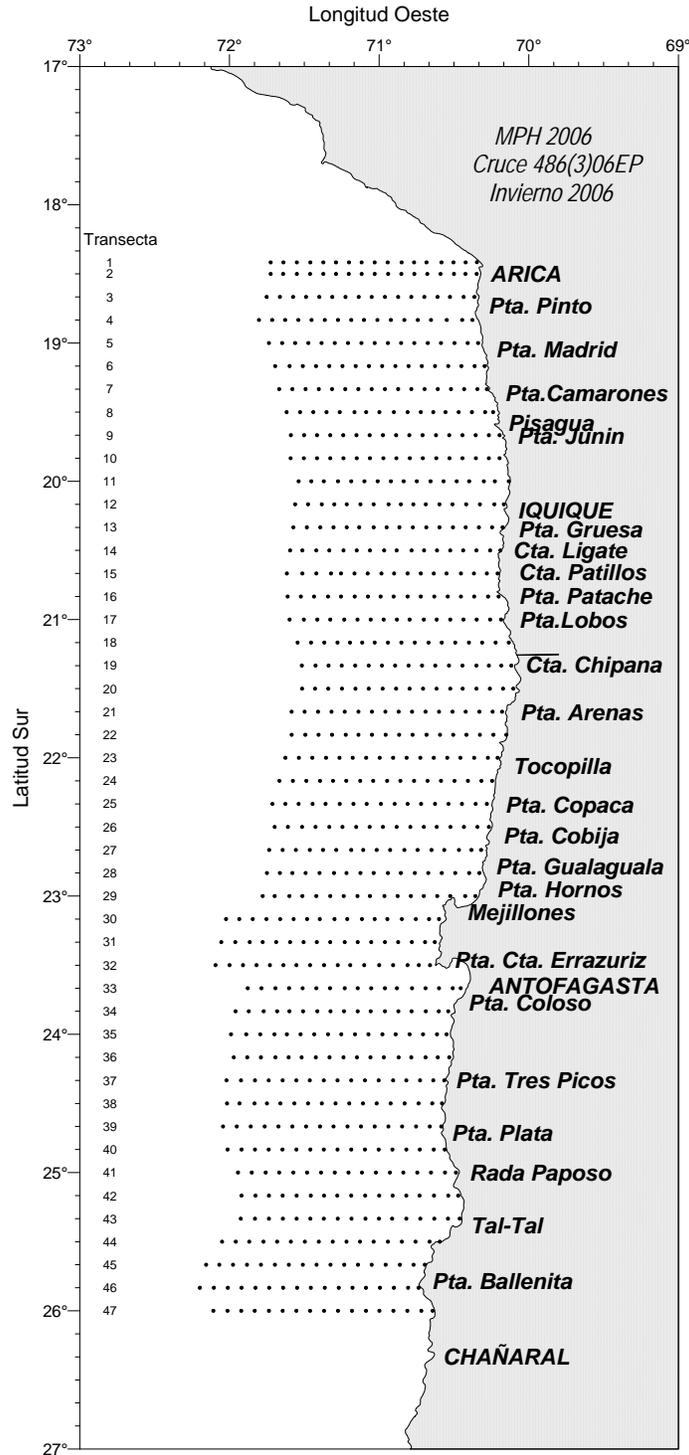


Figura 1. Posici3n geogr3fica de las estaciones bio-oceanogr3ficas. Crucero MPH 486(3)06 EP - Invierno 2006.

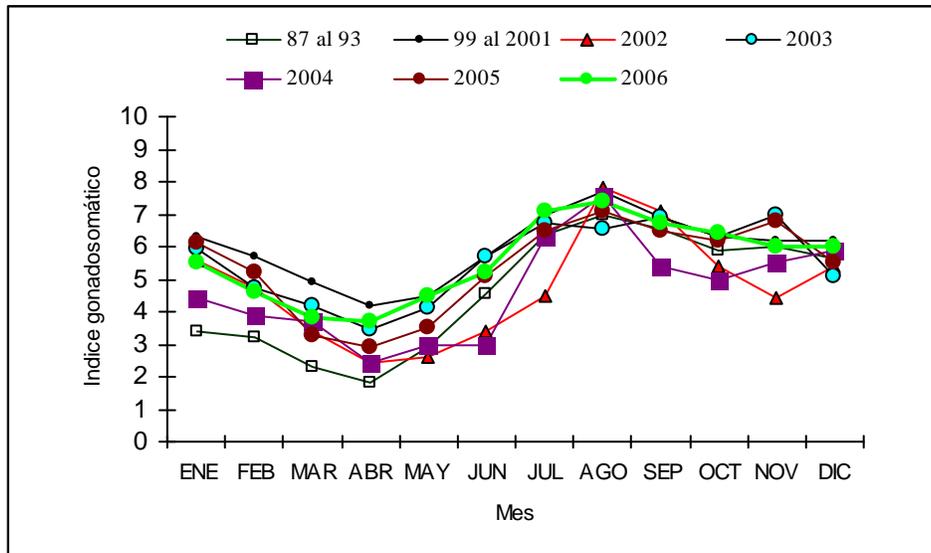


Figura 2. Evoluci3n mensual del 3ndice gonadosom3tico de la anchoveta en la I y II Regi3n, a3os 1987 - 2006.

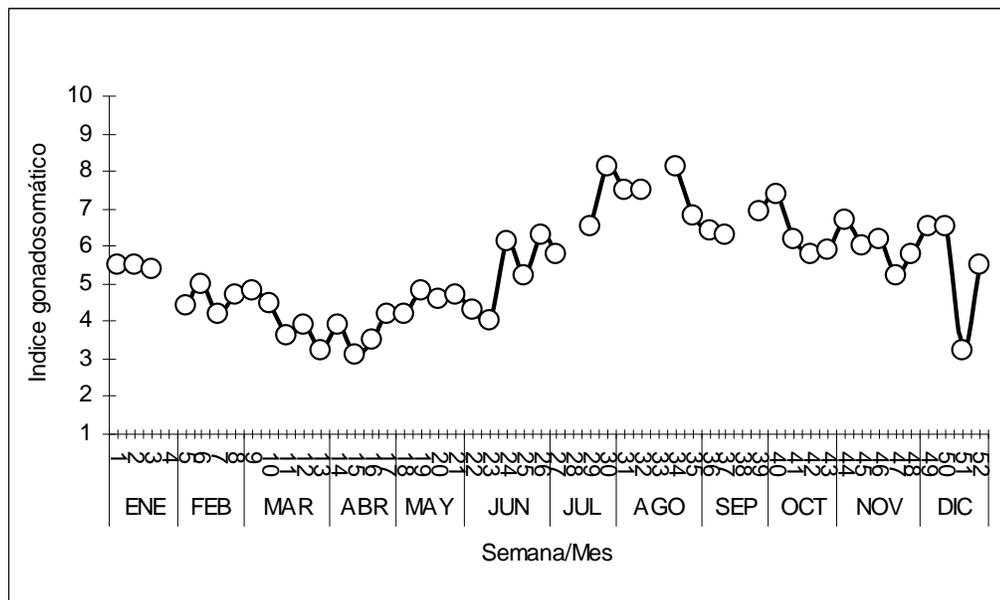


Figura 3. Evoluci3n semanal del 3ndice gonadosom3tico de la anchoveta en la I y II Regi3n, a3o 2006.

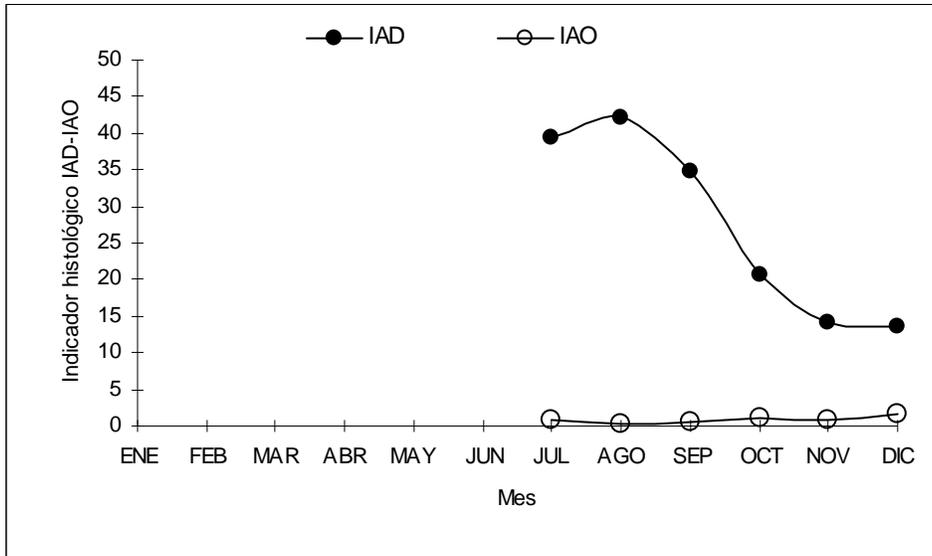


Figura 4. Evoluci3n mensual de los 3ndices de actividad de desove (IAD) y atresia ov3rica (IAO) (3 de julio al 31 de diciembre de 2006).

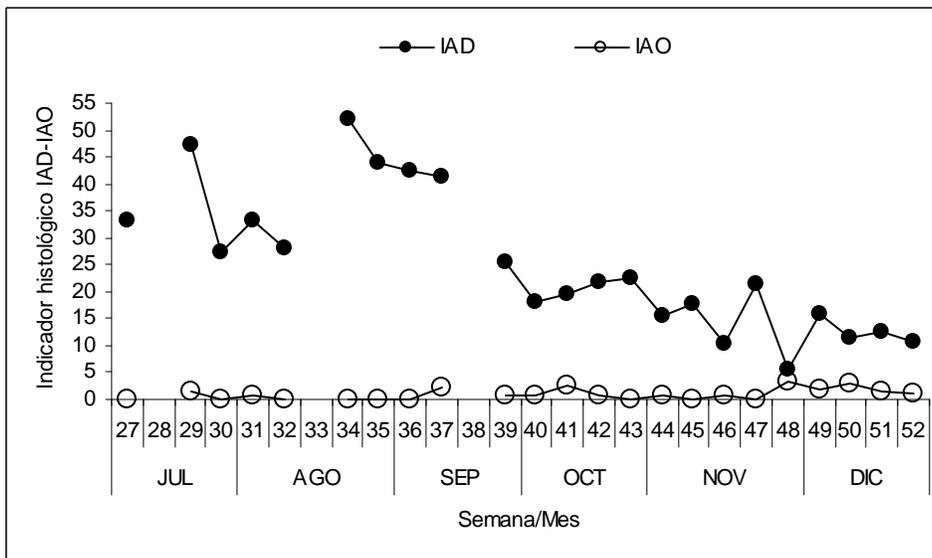


Figura 5. Evoluci3n semanal de los 3ndices de actividad de desove (IAD) y atresia ov3rica (IAO) (3 de julio al 31 de diciembre de 2006).

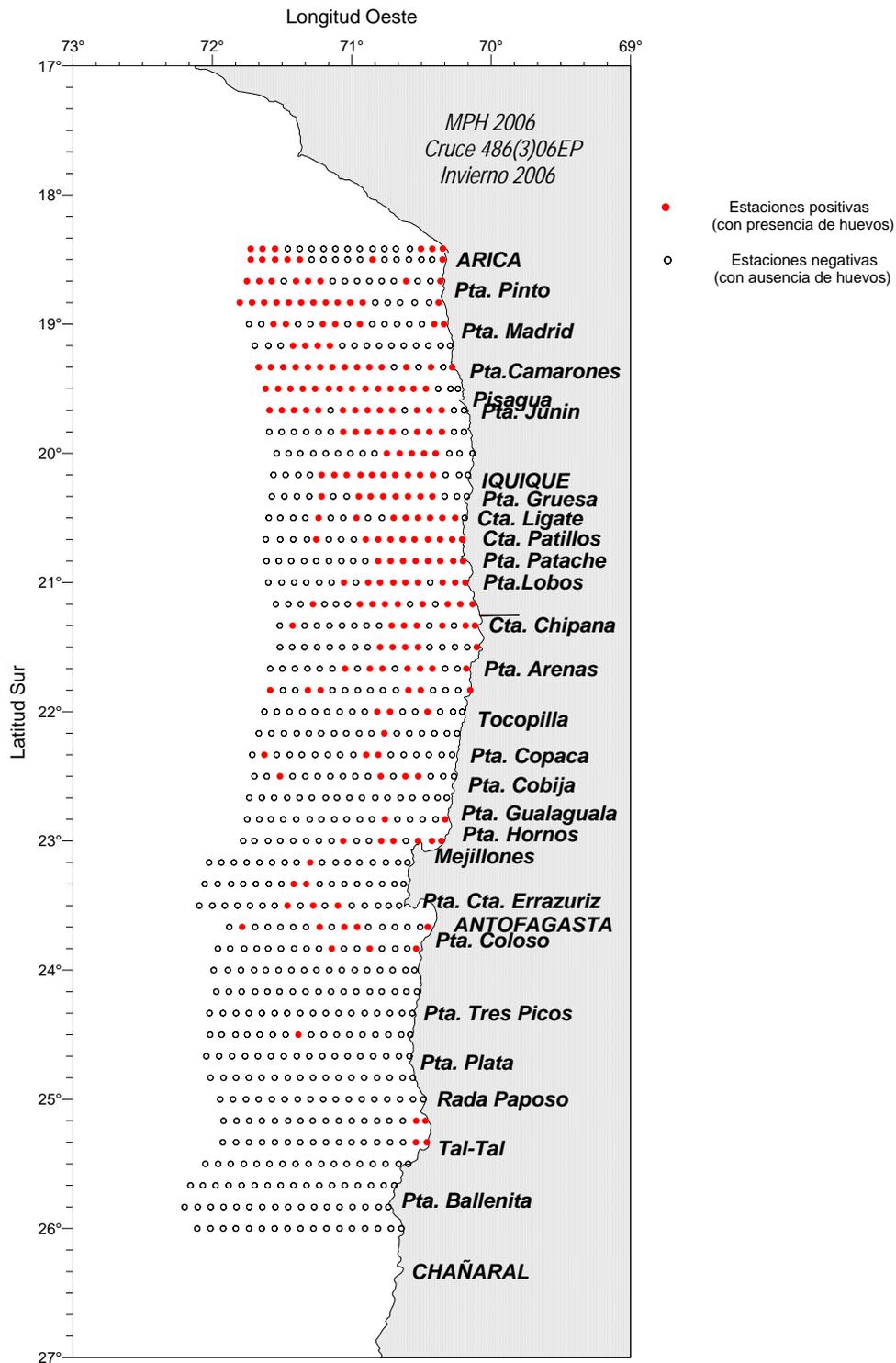


Figura 6. Distribuci3n geogrÁfica de las estaciones planct3nicas con presencia y ausencia de huevos de anchoveta. Crucero MPH 486(3)06 EP - Invierno 2006.

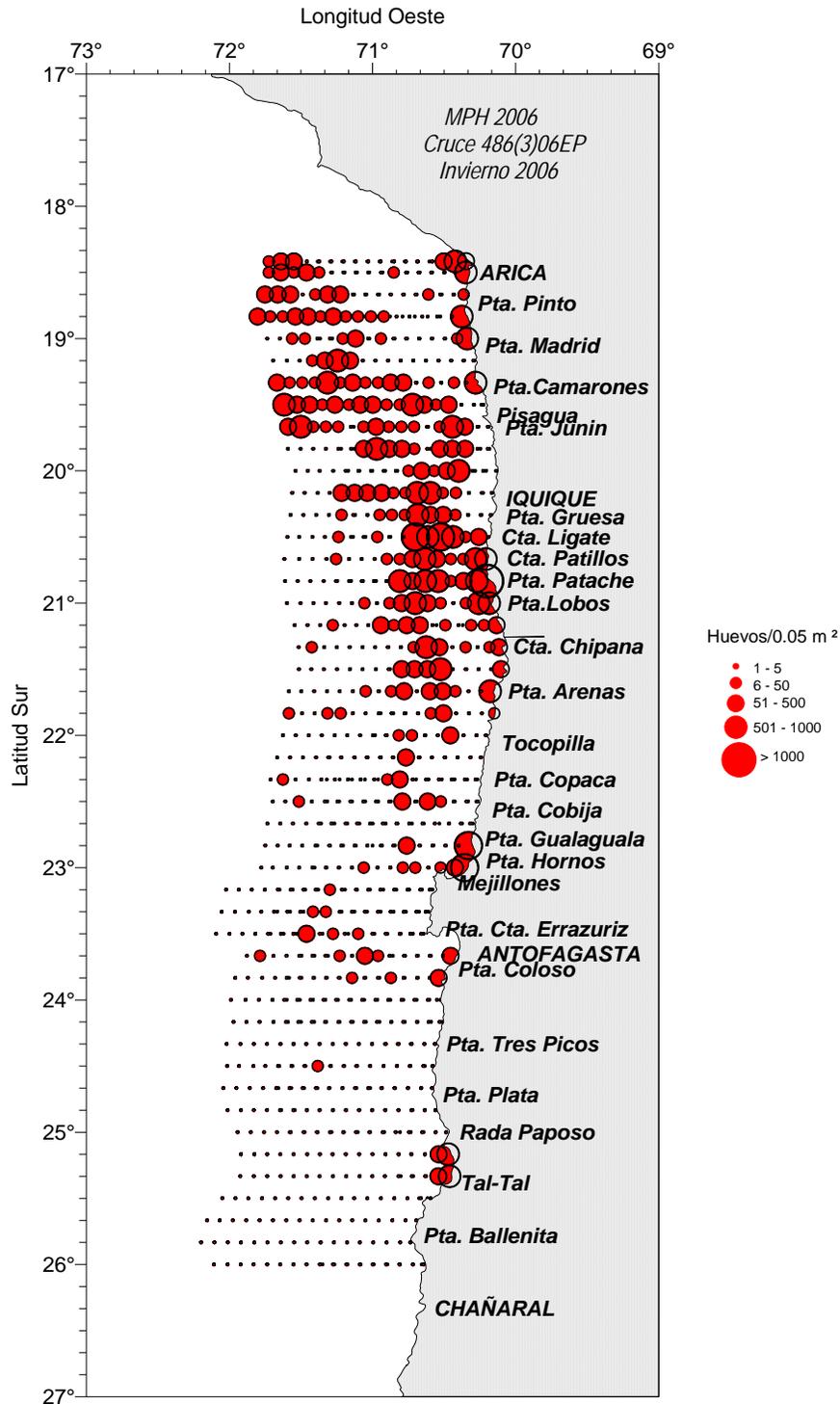


Figura 7. Distribuci3n y abundancia de huevos de Anchoveta. Crucero MPH - Invierno 2006.

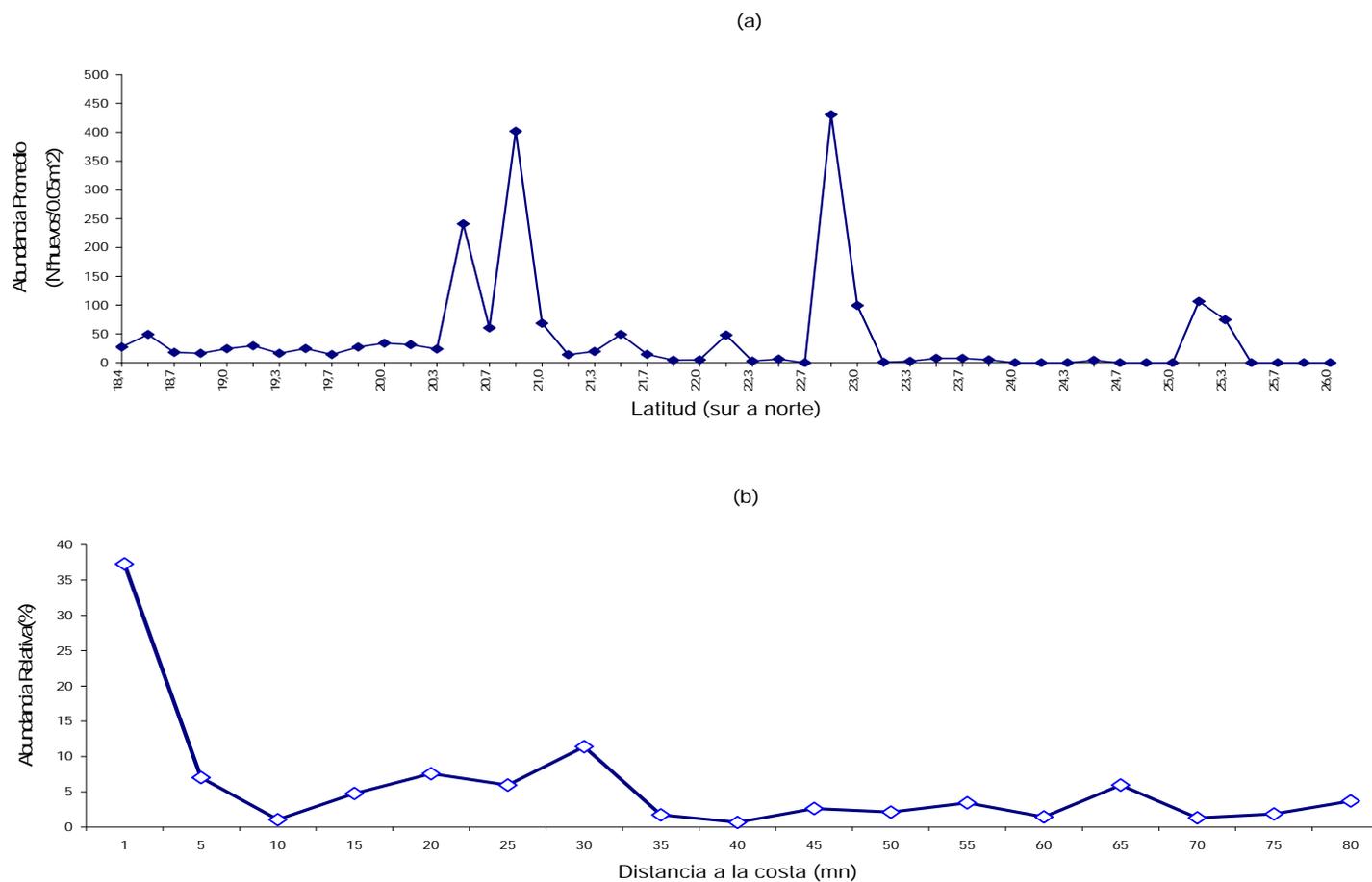


Figura 8. Distribuci3n de la abundancia promedio de huevos de anchoveta por transecta, con respecto a la latitud (a) y a la distancia de la costa (b). Crucero MPH - Invierno 2006.

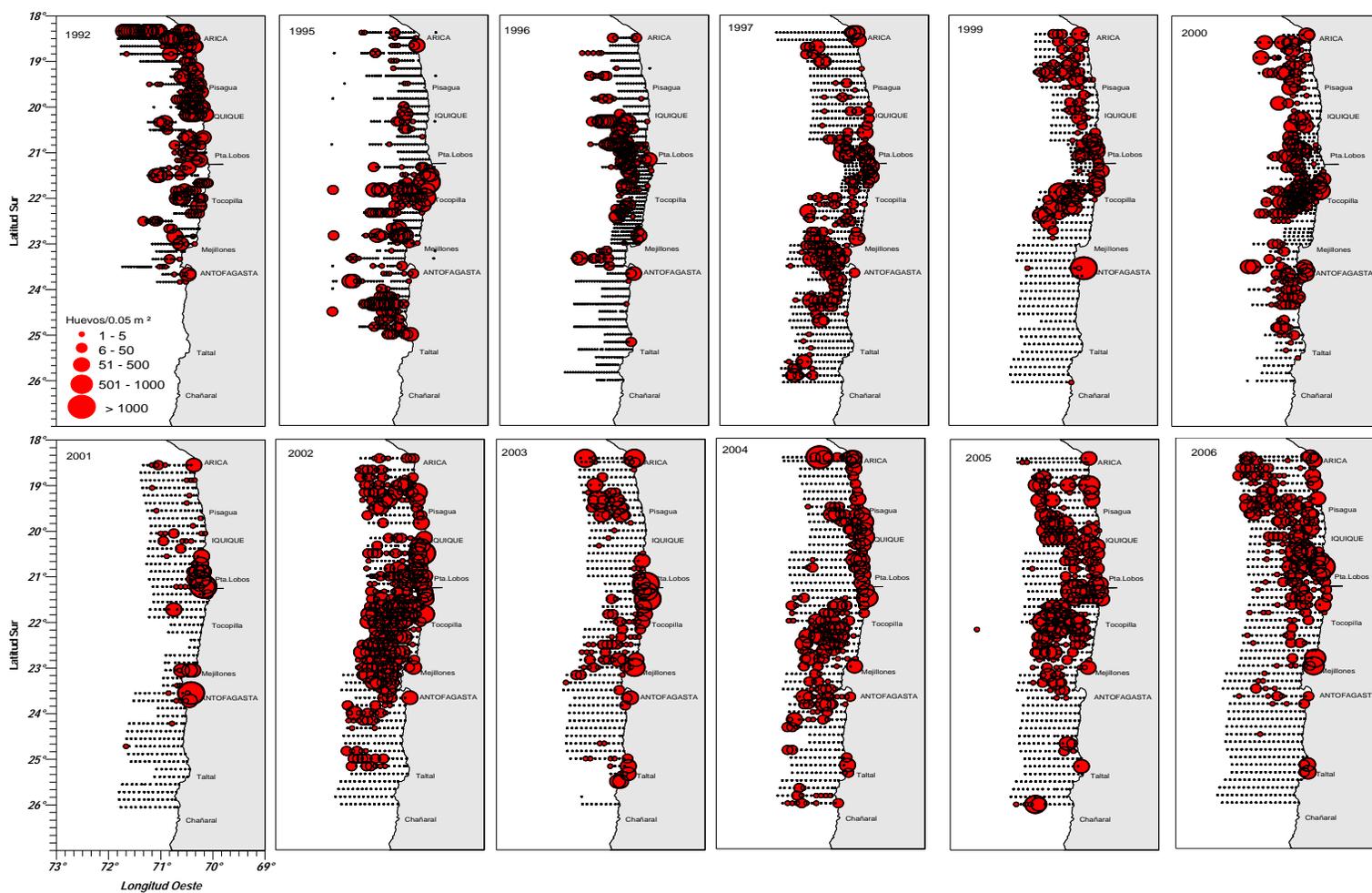


Figura 9. Distribuci3n espacial y abundancia de huevos de anchoveta. Cruceros MPH Inviernos 1992 - 2006.

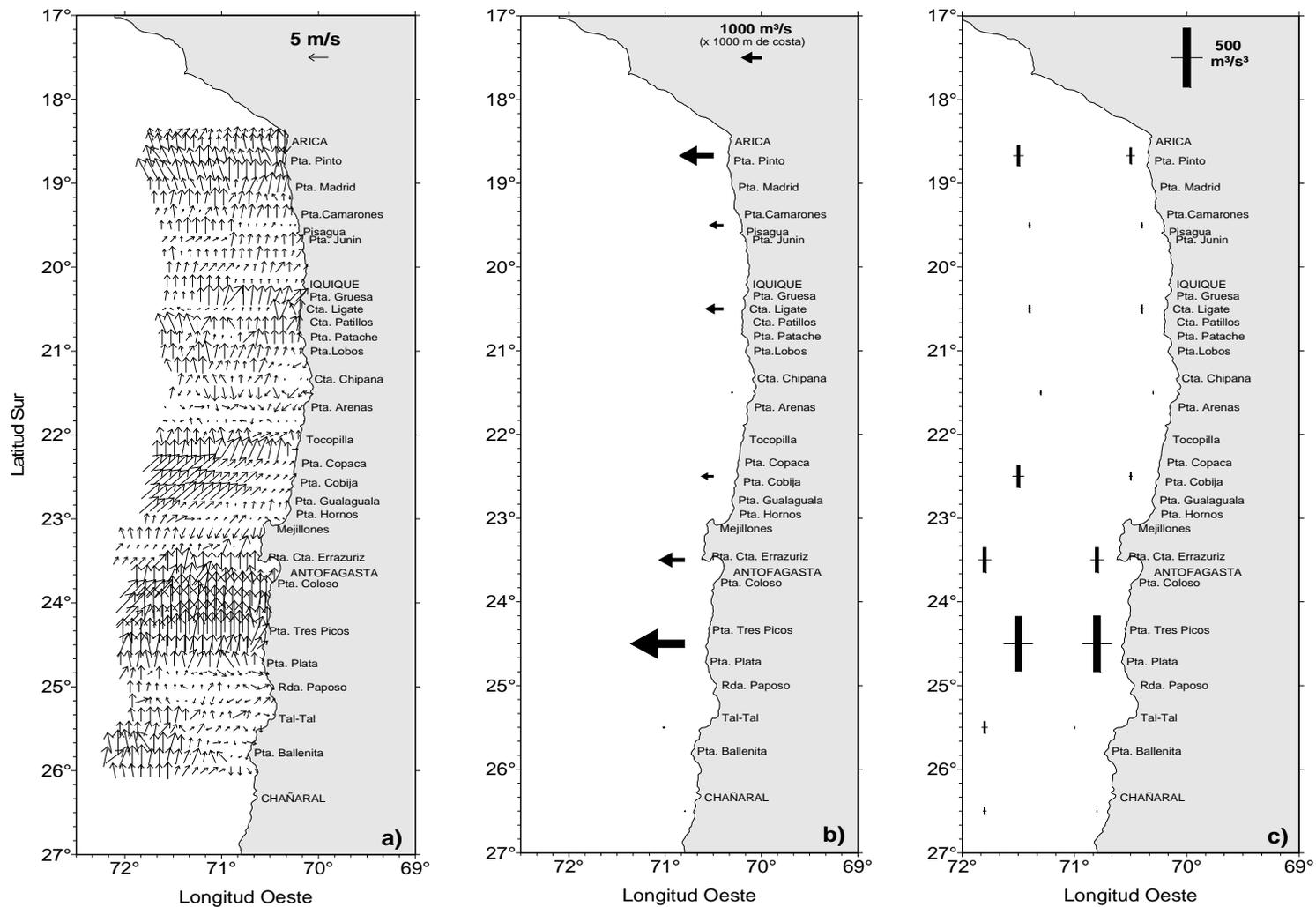


Figura 10. Direcci3n e intensidad del viento (m/s) (a) e índice de surgencia promedio de las observaciones en las primeras 30 mn por grado de latitud (b) e índice de turbulencia promedio costero y oceánico por grado de latitud (c) del viento predominante medido en las estaciones oceanográficas. Crucero MPH - Invierno 2006.

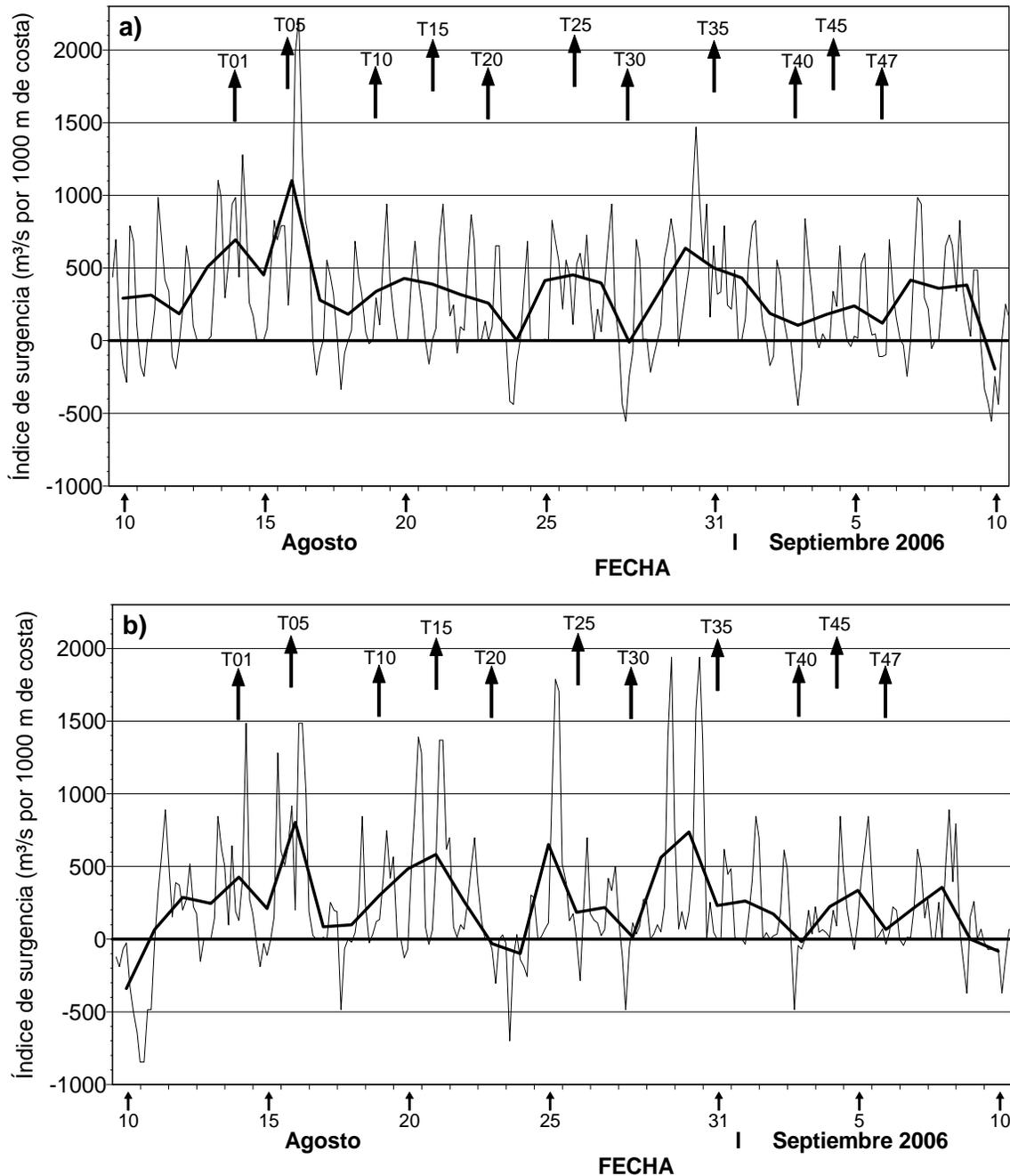


Figura 11. Serie de tiempo del Índice de surgencia (IS) instantáneo (línea delgada) y el promedio diario del IS (línea gruesa) obtenido con el viento registrado cada 3 horas en los aeropuertos de a) Antofagasta (Cerro Moreno) y b) Iquique (Diego Aracena) entre el 10 de Agosto y 10 de Septiembre de 2006. Se indican sobre el gráfico el número de la transecta realizada durante el desarrollo del crucero.

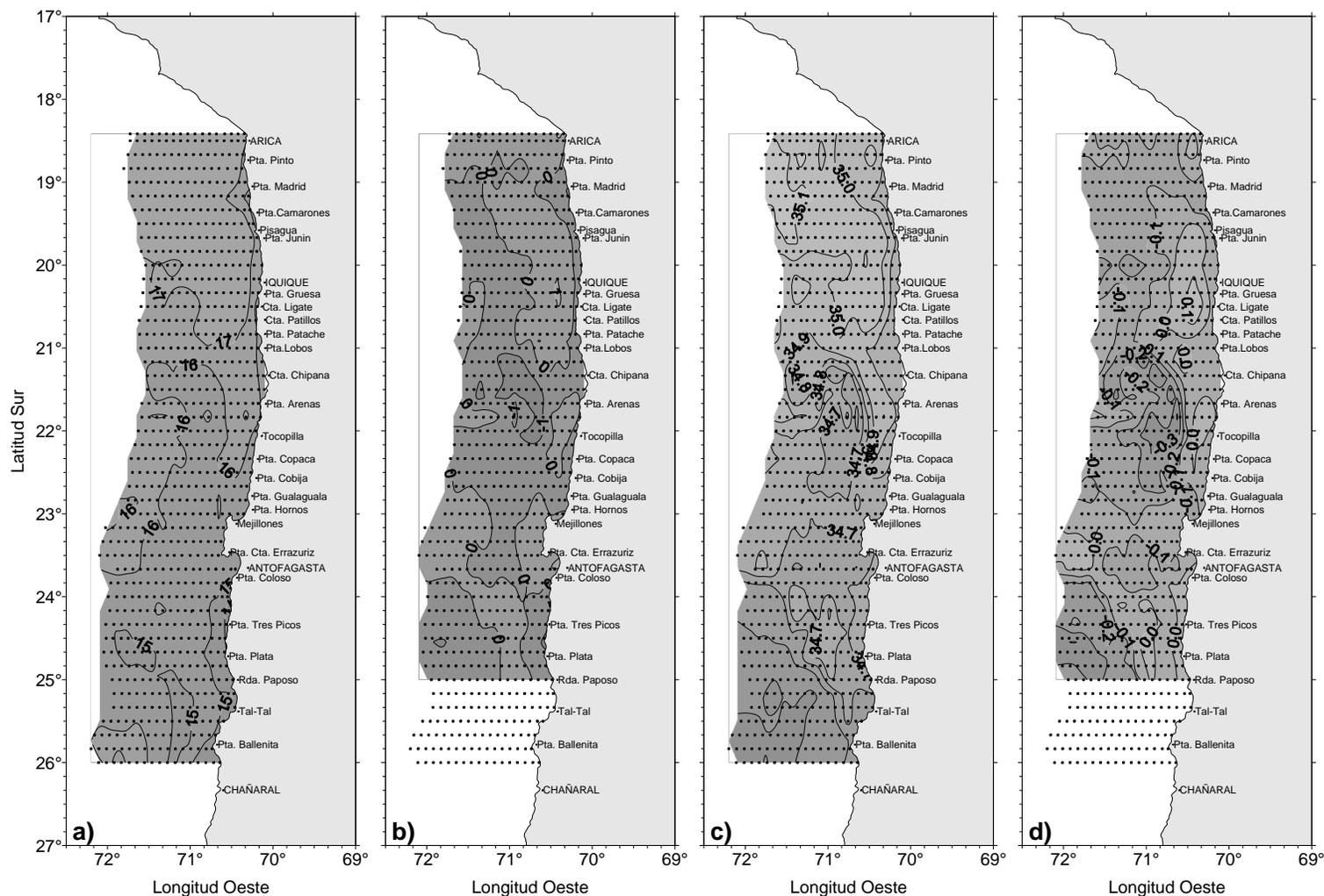


Figura 12. Distribuci3n superficial de a) temperatura ($^{\circ}\text{C}$), b) anomala de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), c) salinidad (psu) y d) anomala de salinidad (psu). Crucero MPH - Invierno 2006.

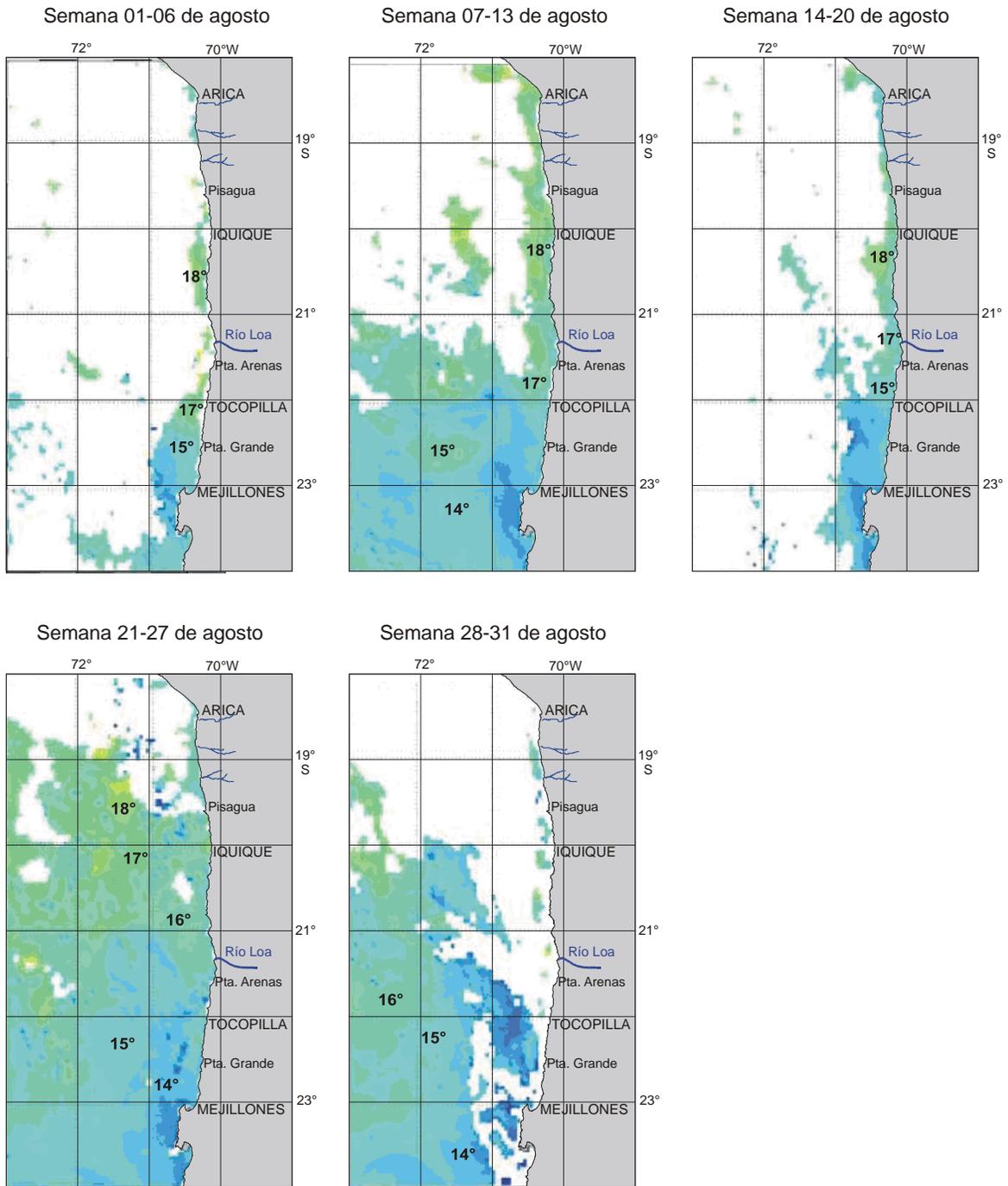


Figura 13. Distribuci3n semanal de la TSM satelital en la zona norte de Chile, agosto 2006.

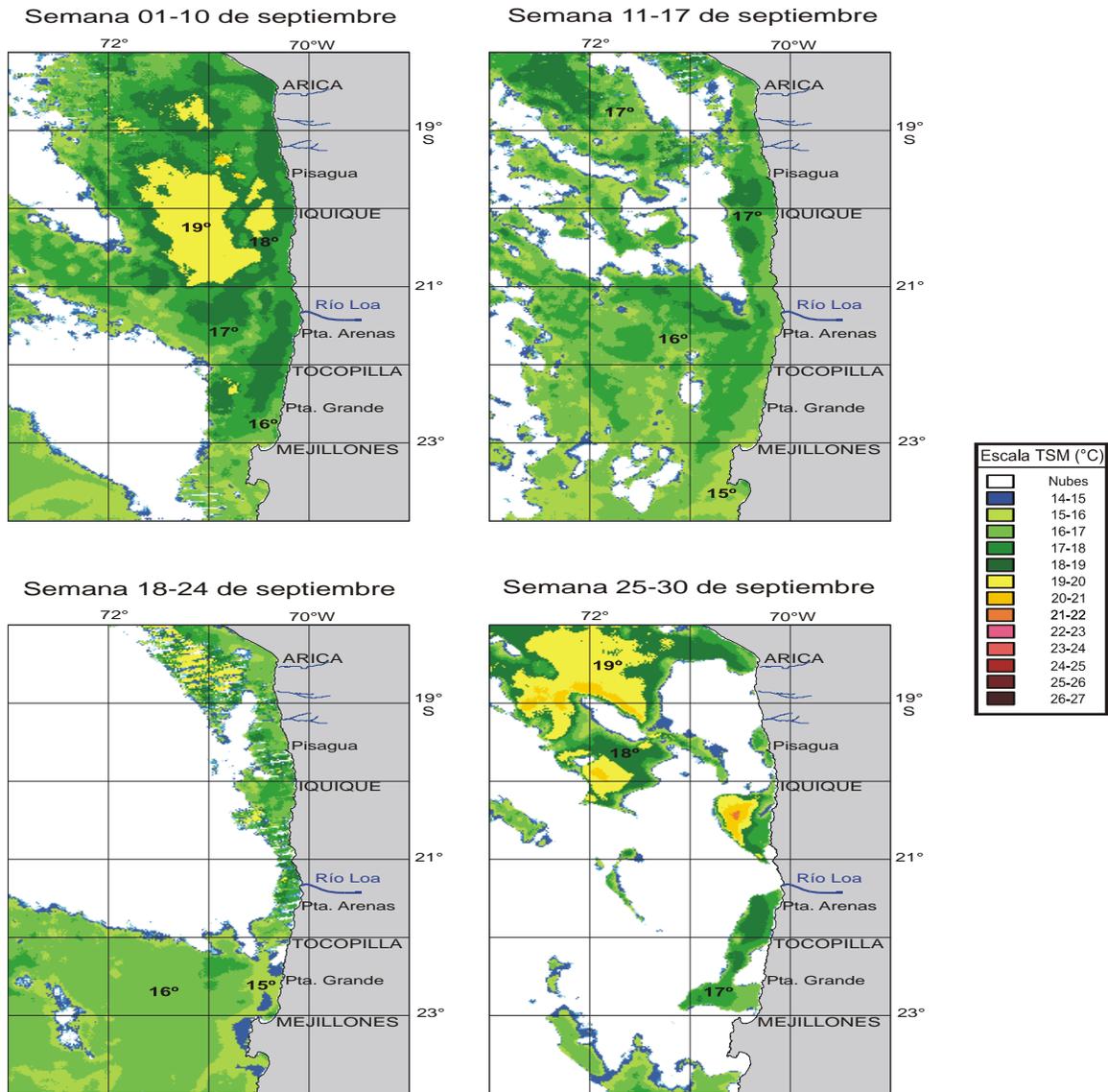


Figura 14. Distribuci3n semanal de la TSM satelital en la zona norte de Chile, septiembre 2006.

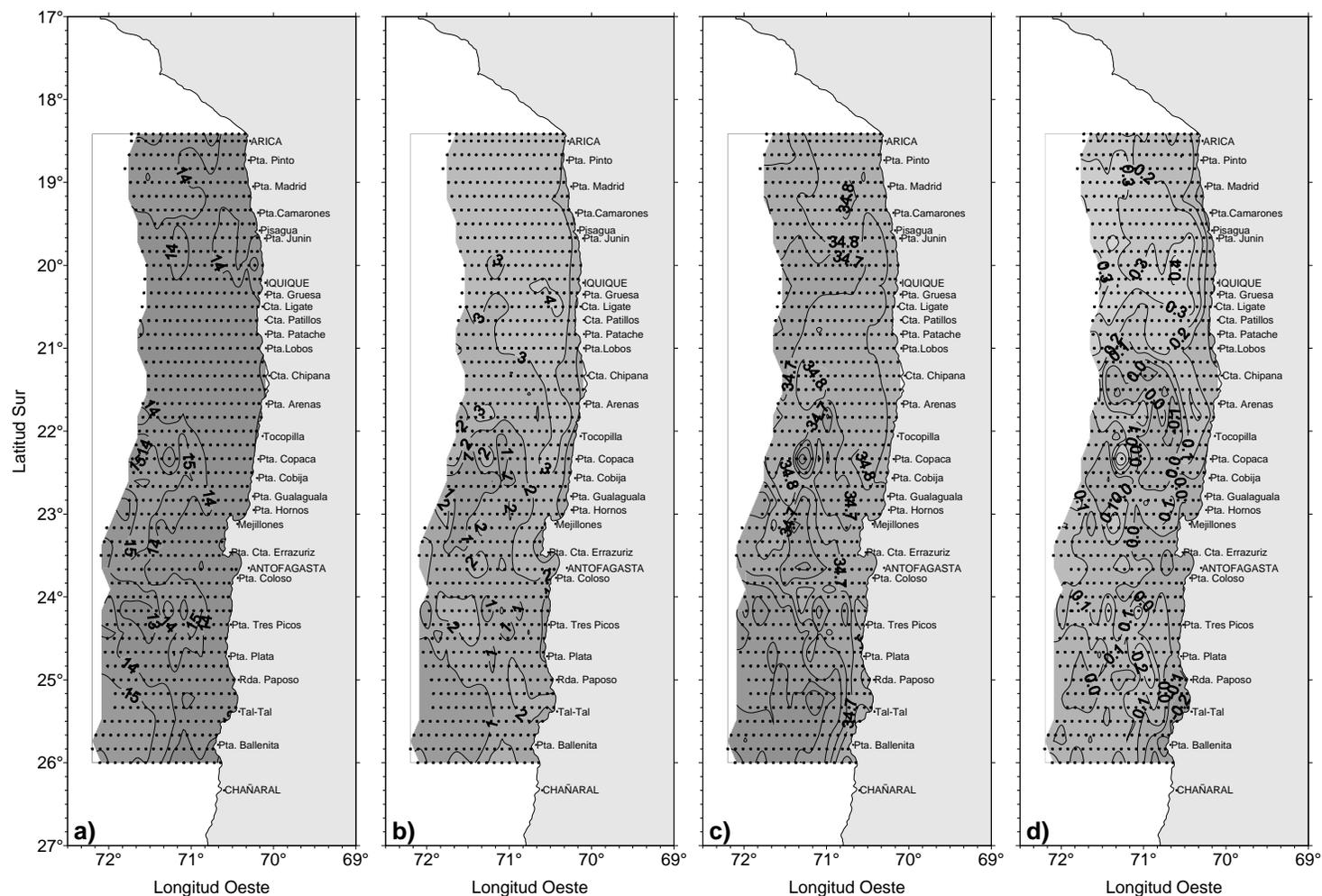


Figura 15. Distribuci3n de a) temperatura (°C) en el nivel de 50 m de profundidad, b) diferencia t3rmica (°C) entre superficie y el nivel de 50 m, c) salinidad (psu) en el nivel de 50 m de profundidad y d) diferencia de salinidad (psu) entre superficie y el nivel de 50 m. Crucero MPH - Invierno 2006

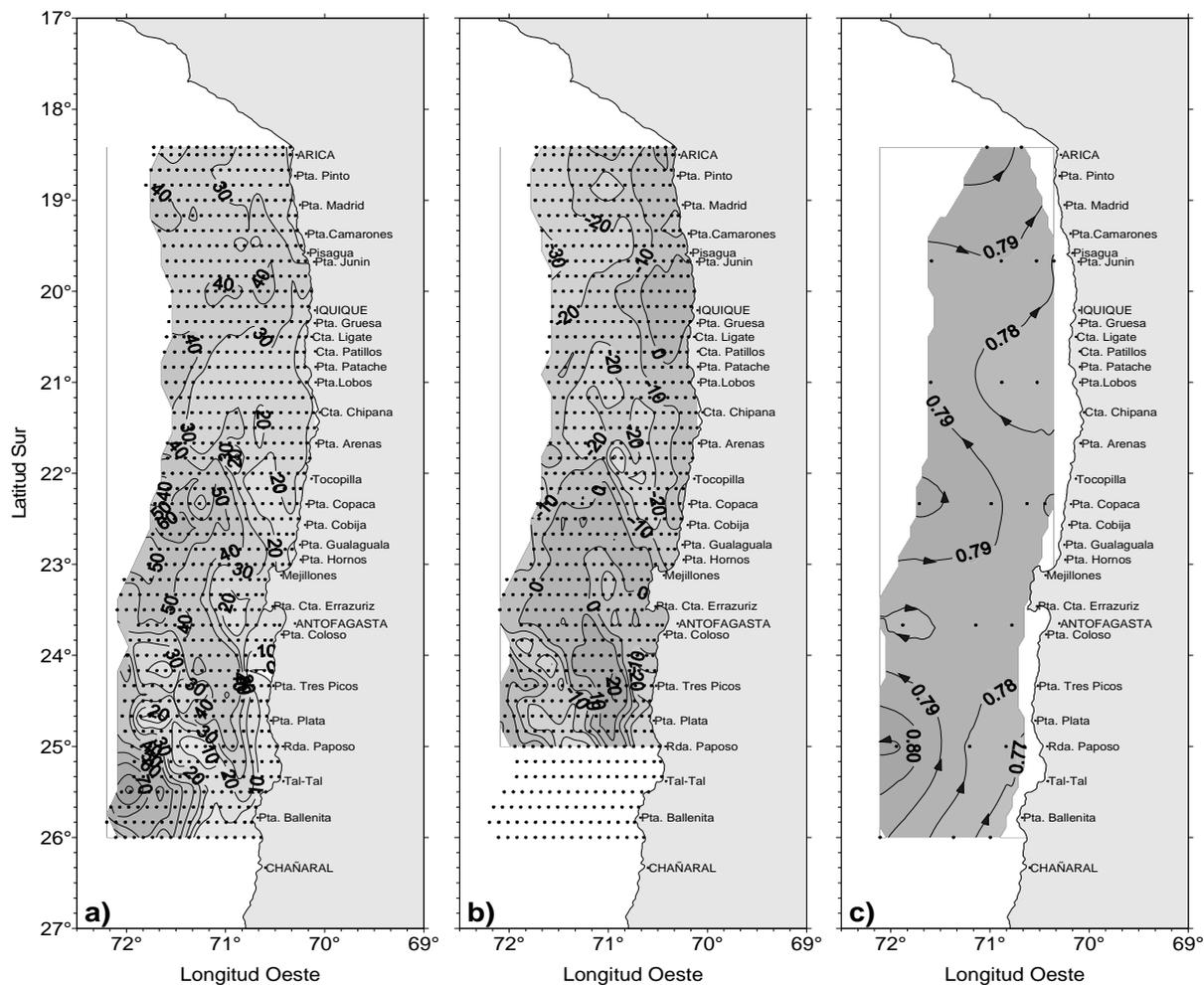


Figura 16. Distribuci3n superficial de a) profundidad de la isoterma de 15°C (m), b) anomalía de profundidad de la isoterma 15°C (m) y c) Anomalía geopotencial de superficie referida a 500 (db). Crucero MPH - Invierno 2006.

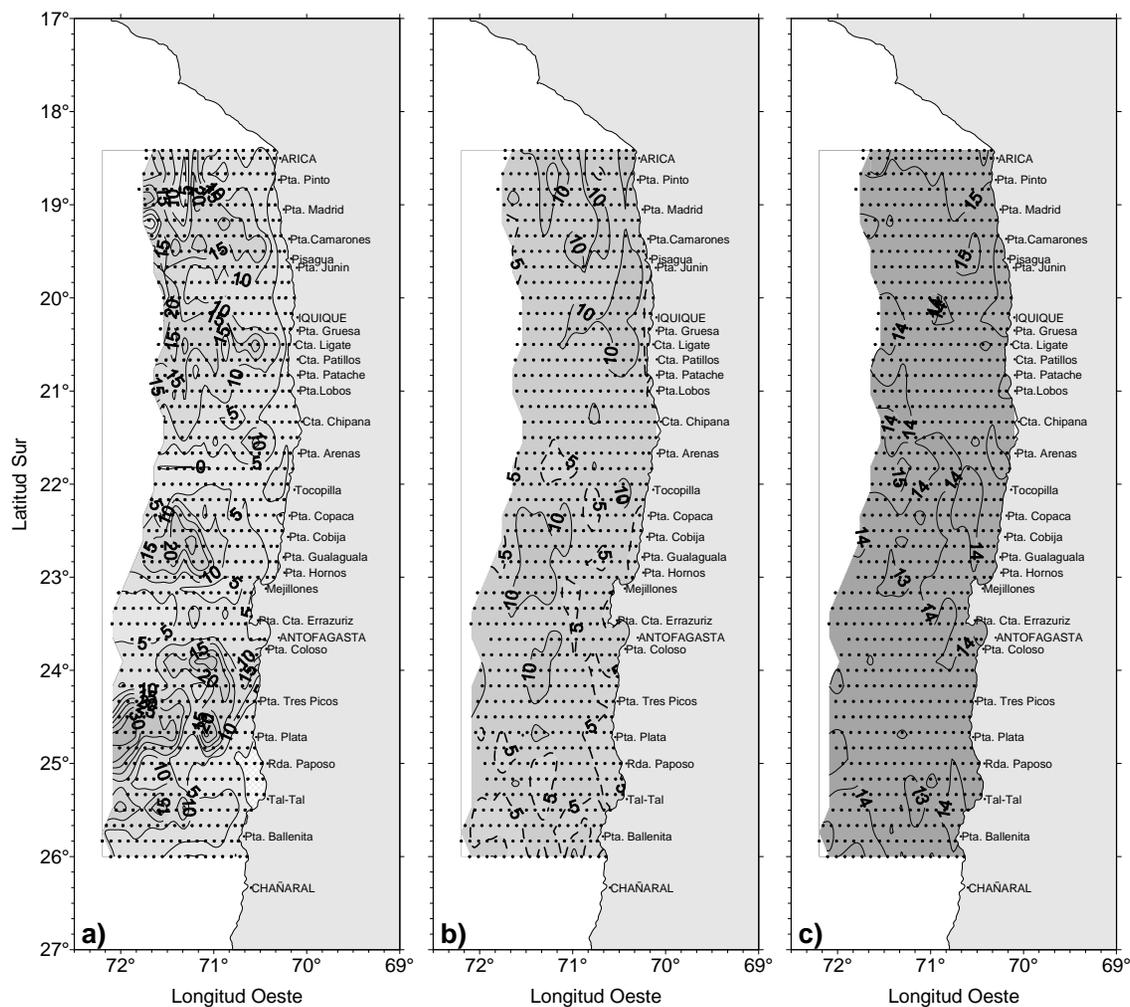


Figura 17. Espesor de la capa de mezcla (m) (a), espesor de la termoclina (m) (b) y temperatura base de la termoclina (°C) (c). Crucero MPH - Invierno 2006.

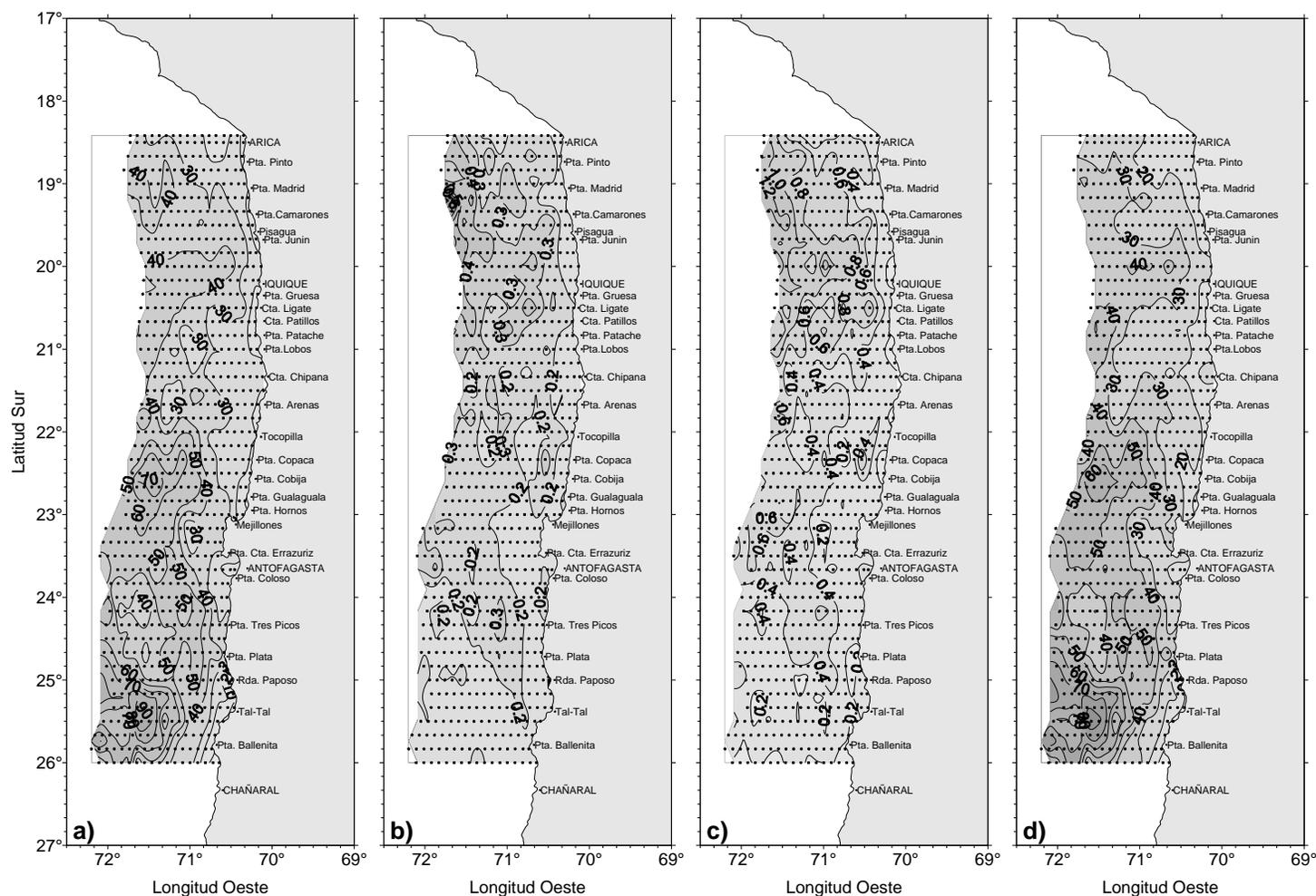


Figura 18. Profundidad de la base de la termoclina (m) (a), gradiente de temperatura promedio de la termoclina ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$) (b), m3ximo gradiente de temperatura en la termoclina ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$) (c) y profundidad del m3ximo gradiente de temperatura en la termoclina (m) (d). Crucero MPH - Invierno 2006.

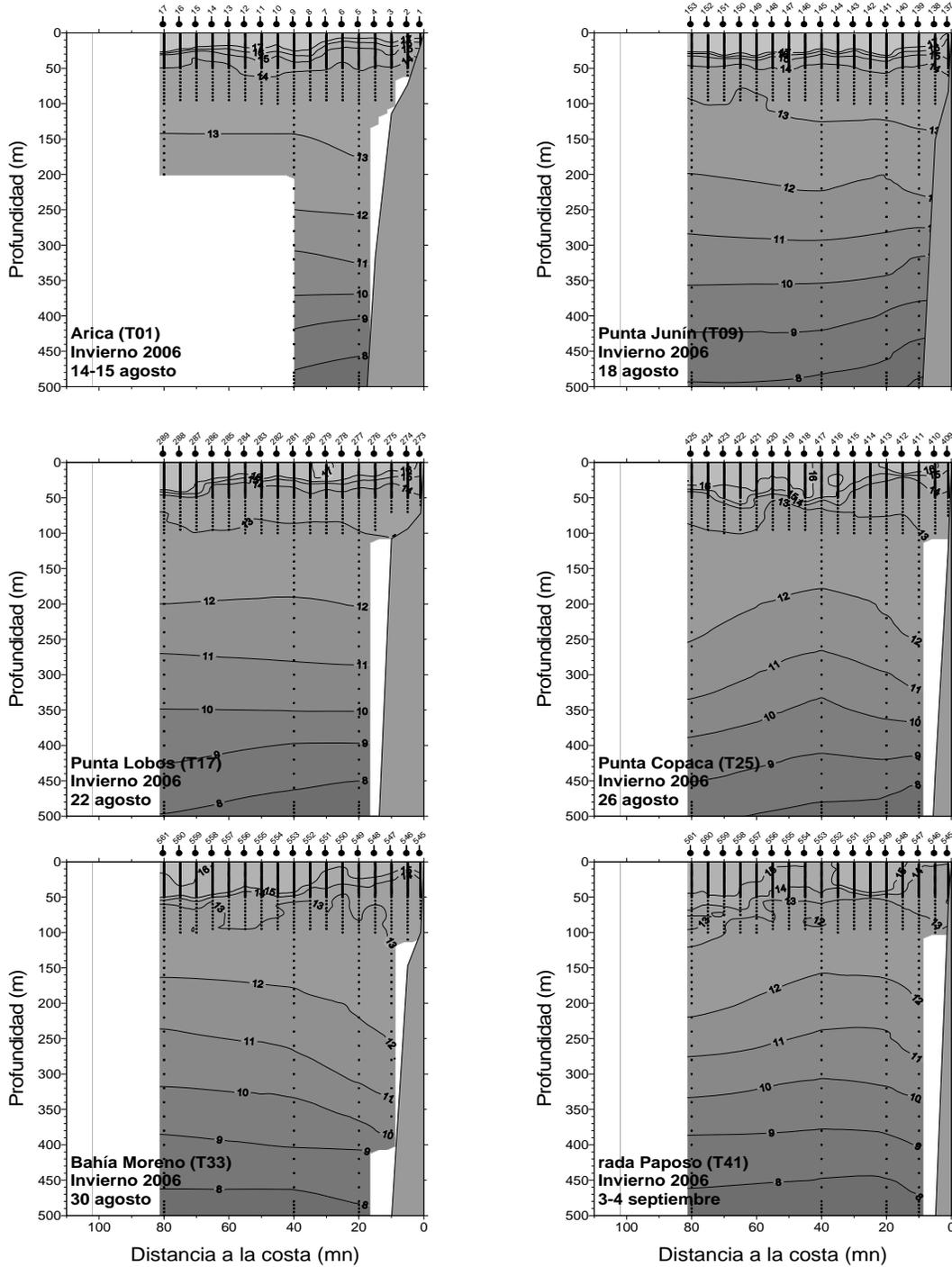


Figura 19. Distribuci3n vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en las transectas Arica ($18^{\circ}25'S$) (T1), punta Jun3n ($19^{\circ}40'S$) (T9), punta Lobos ($21^{\circ}00'S$) (T17), punta Copaca ($22^{\circ}20'S$) (T25), Bah3a Moreno ($23^{\circ}40'S$) (T33) y rada Paposo ($25^{\circ}00'S$) (T41). Crucero MPH - Invierno 2006.

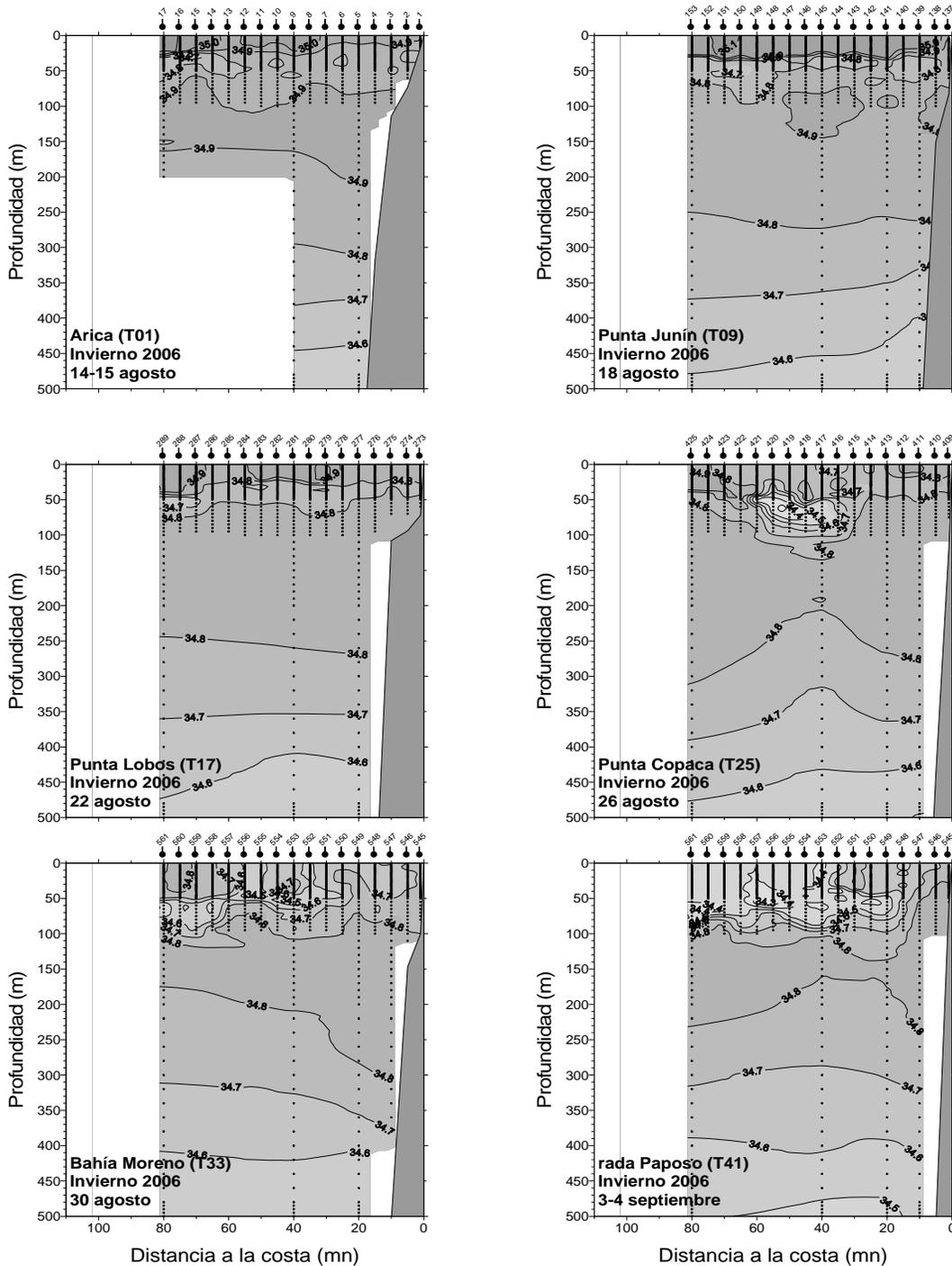


Figura 20. Distribuci3n vertical de salinidad (psu) en las transectas Arica (18°25'S) (T1), punta Jun3n (19°40'S) (T9), punta Lobos (21°00'S) (T17), punta Copaca (22°20'S) (T25), Bah3a Moreno (23°40'S) (T33) y Rada Paposo (25°00'S) (T41). Crucero MPH - Invierno 2006.

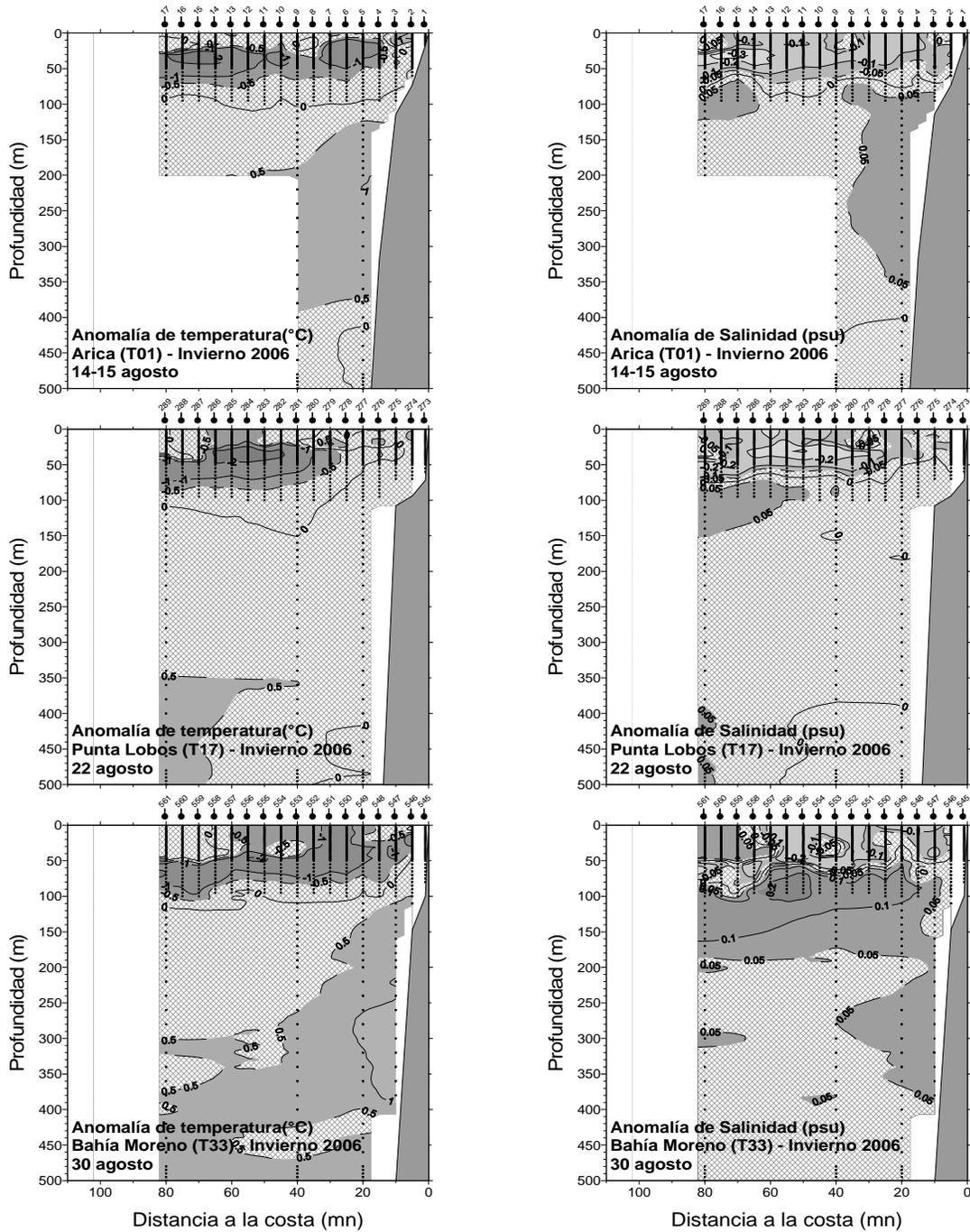


Figura 21. Anomalia vertical de temperatura (°C) y salinidad (psu) en las transectas: de Arica (18°25'S) (T1), punta Lobos (21°00'S) (T17) y Bahía Moreno (23°40'S) (T33). Crucero MPH - Invierno 2006.

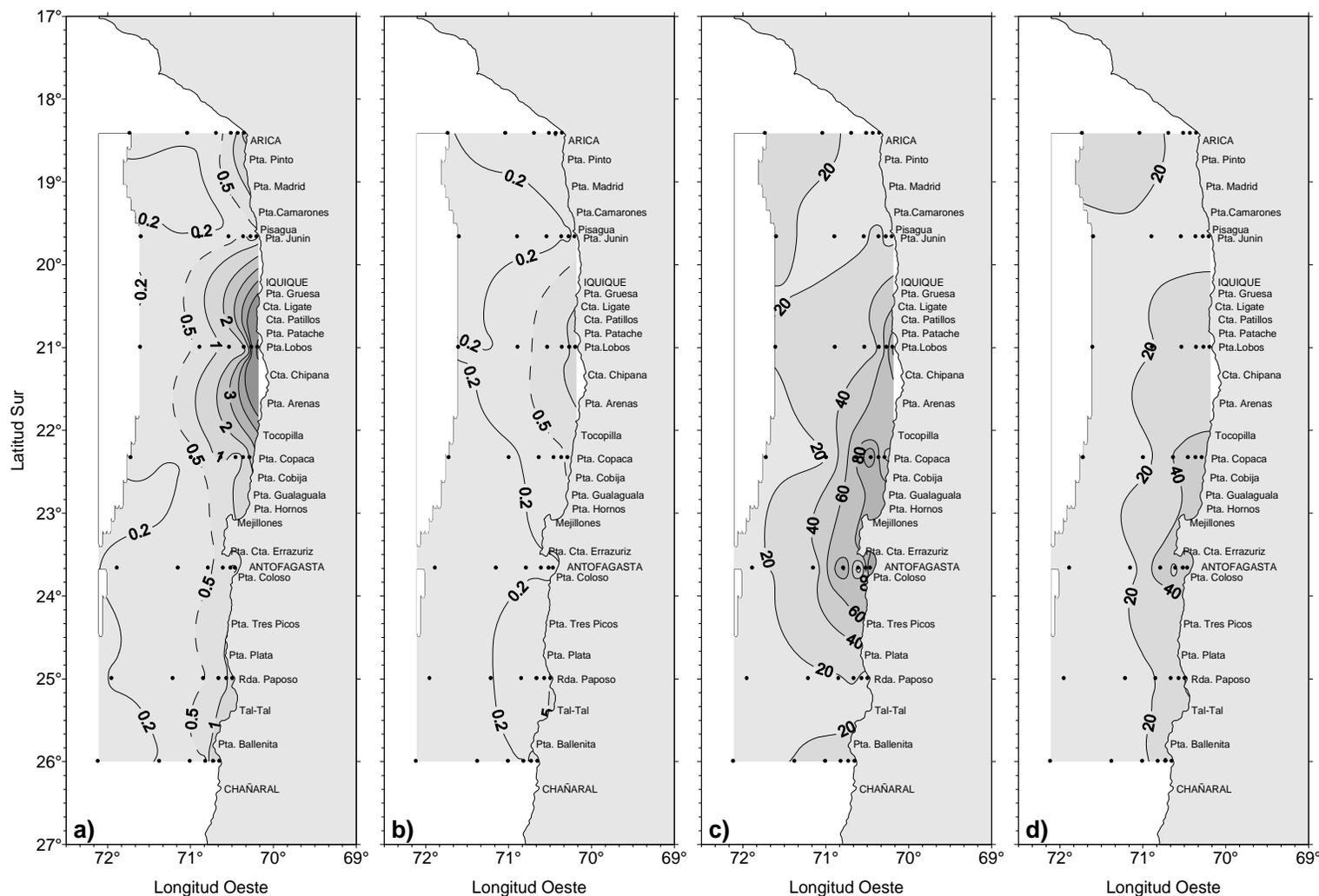


Figura 22. Distribuci3n de a) clorofila a superficial ($\mu\text{g/L}$), b) feopigmento superficial ($\mu\text{g/L}$) c) clorofila integrada (mg/m^2) y d) feopigmentos integrados (mg/m^2) Crucero MPH - Invierno 2006.

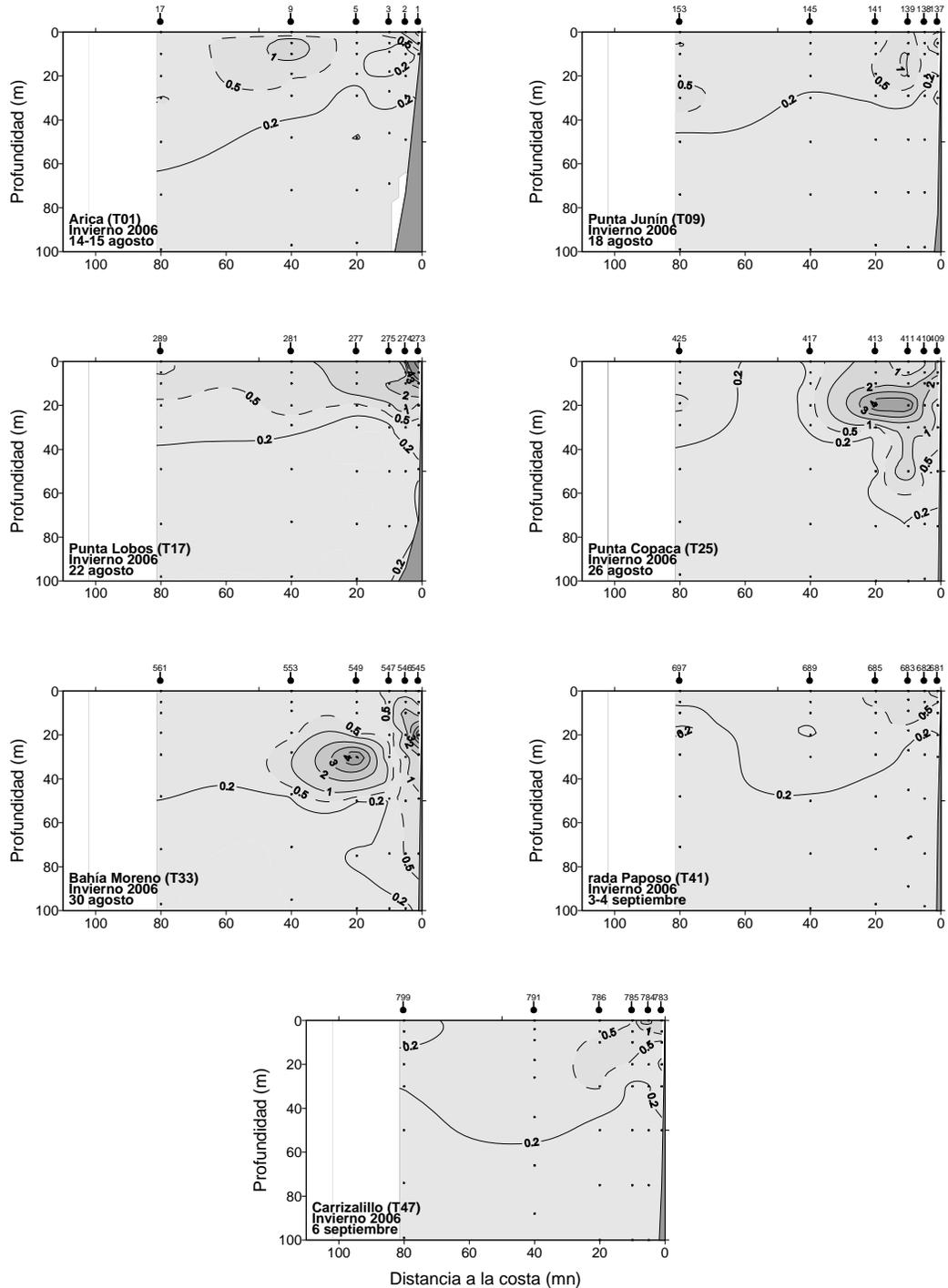


Figura 23. Distribuci3n vertical de clorofila a ($\mu\text{g/L}$), en las transectas 1, 9, 17, 33, 41 y 47. Crucero MPH - Invierno 2006.

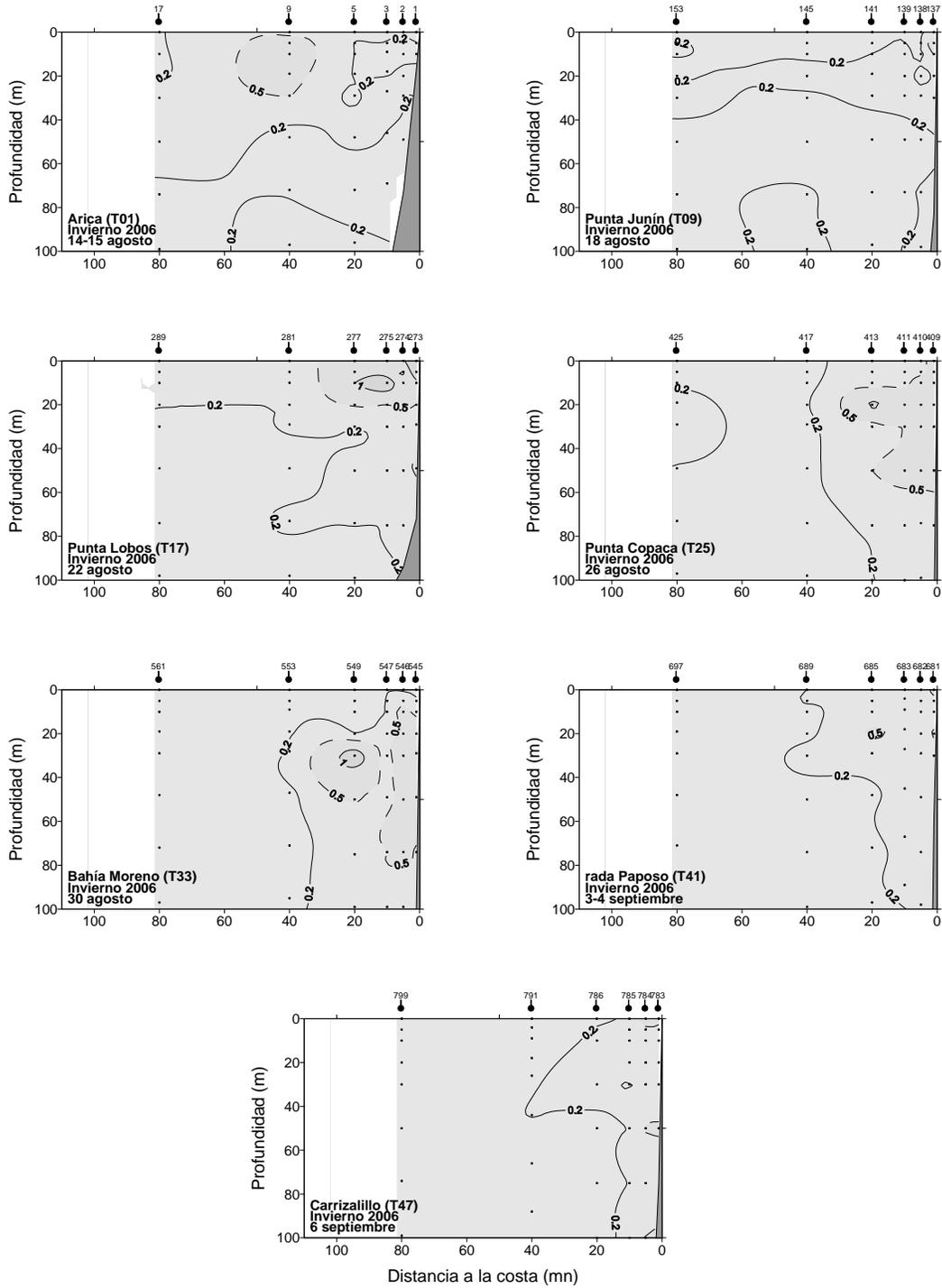


Figura 24. Distribuci3n vertical de feopigmentos ($\mu\text{g/L}$), en las transectas 1, 9, 17, 33, 41 y 47. Crucero MPH - Invierno 2006.

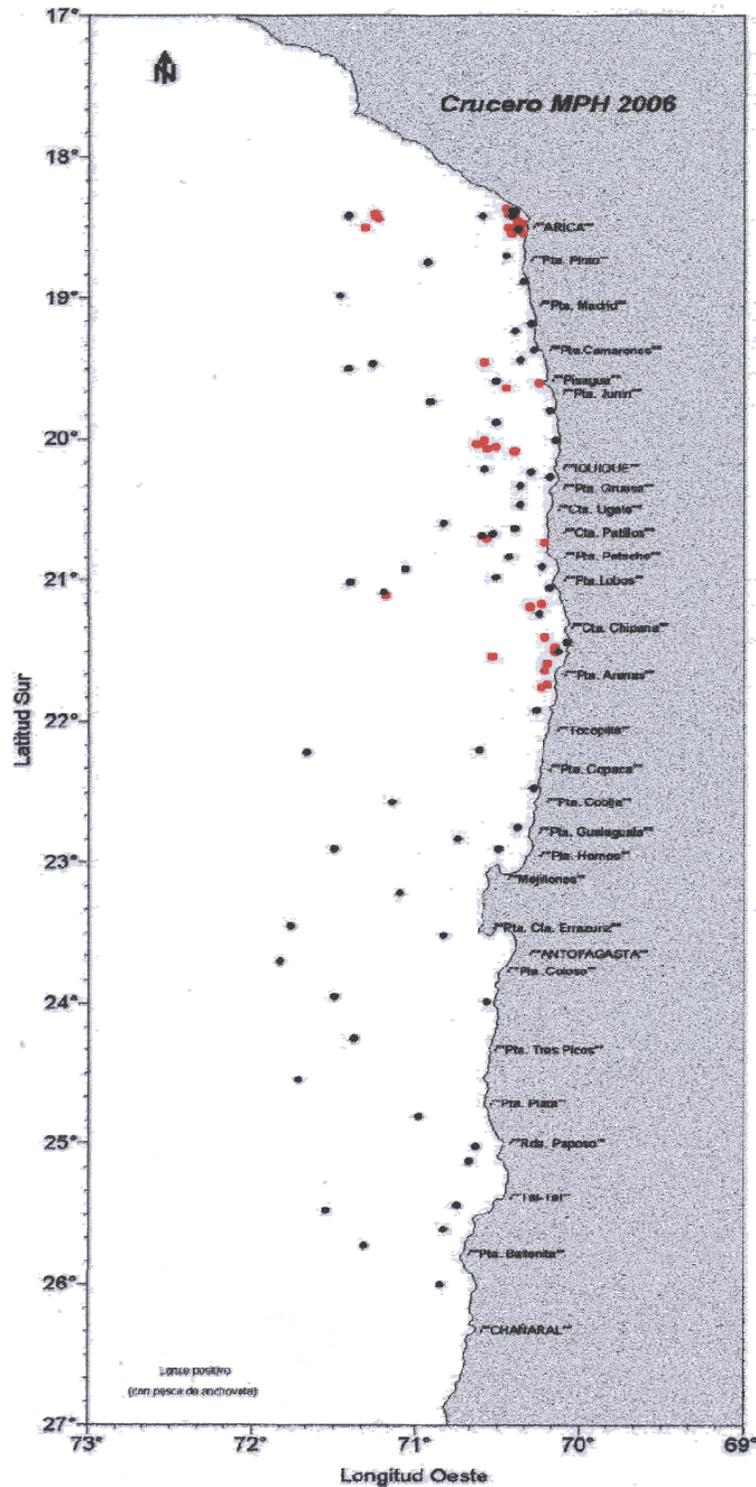


Figura 25. Distribuci3n espacial de los lances de pesca. Crucero MPH – Invierno 2006. Color rojo: lances efectivos; color negro: lances no efectivos.

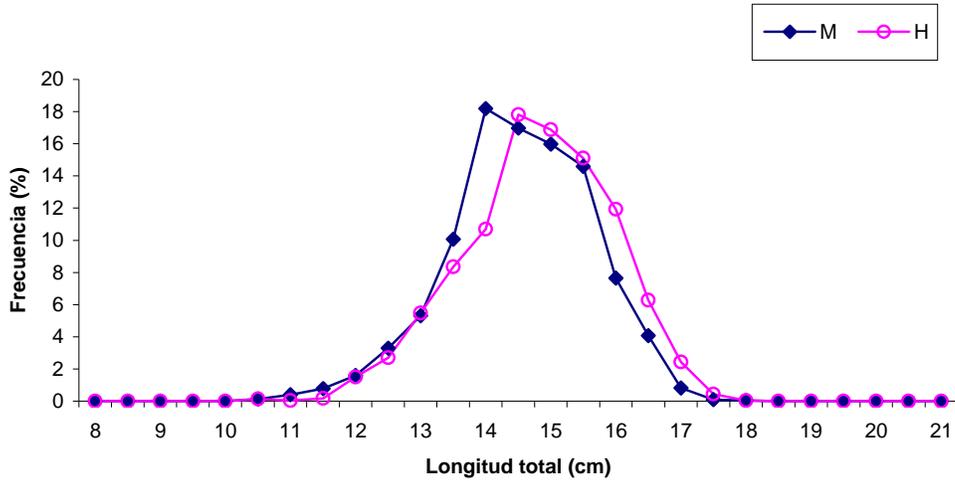


Figura 26. Distribuci3n de tama1os de anchoveta por sexo (M: machos, H: hembras), capturadas entre la I y II Regi3n. Crucero MPH – Invierno 2006.

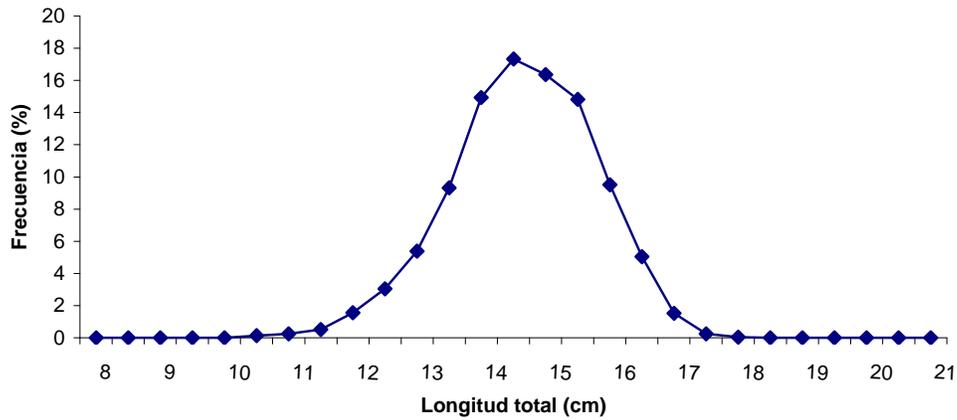


Figura 27. Distribuci3n total de tama1os de anchovetas capturadas entre la I y II Regi3n. Crucero MPH – Invierno 2006.

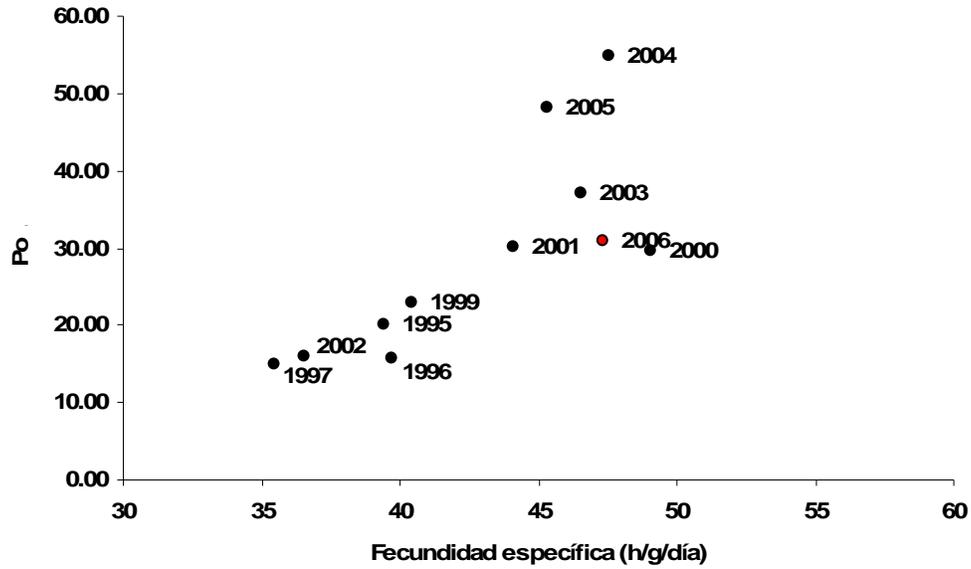


Figura 45. Relaci3n entre la fecundidad especifca (huevo/g/día) y la producci3n diaria de huevos (P_o , huevo/0,05 m²/día).

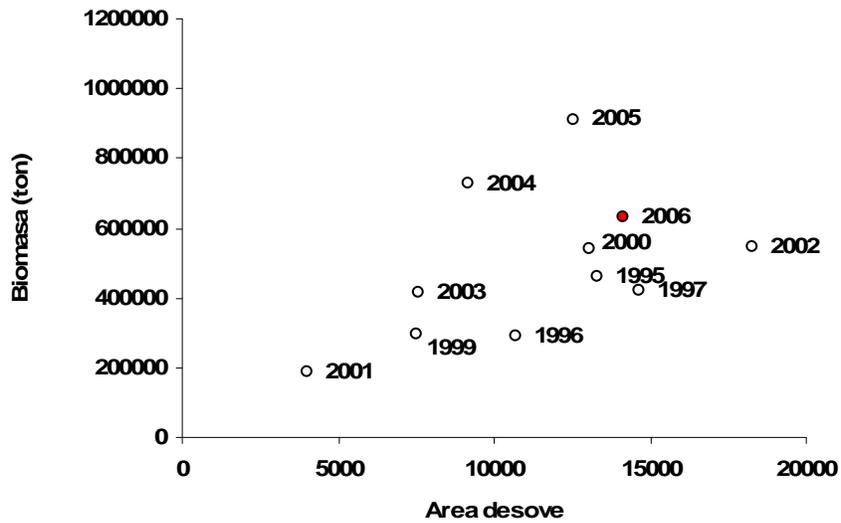


Figura 46. Relaci3n entre área de desove (mn²) y la Biomasa desovante (ton).

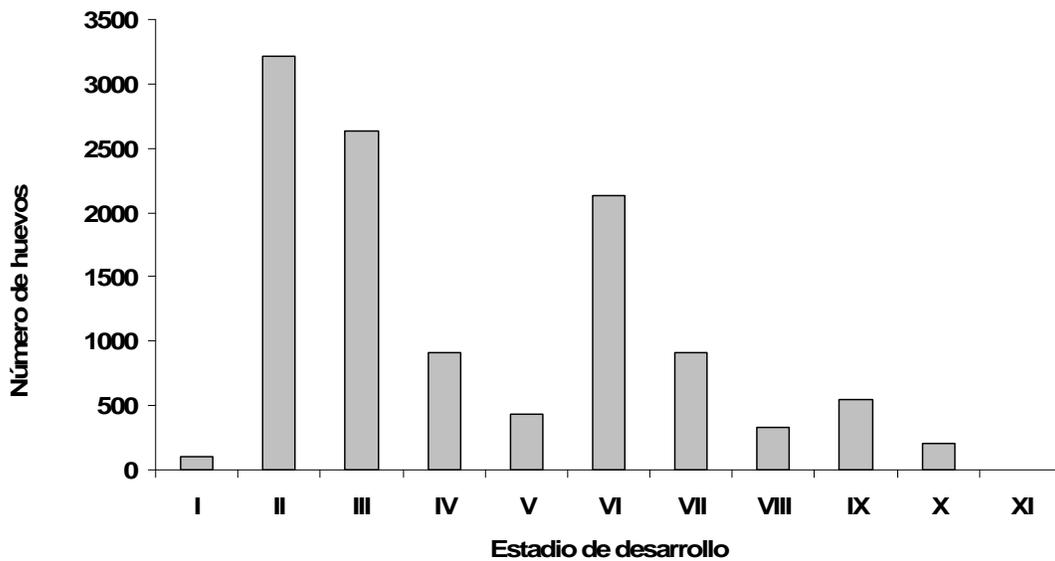


Figura 28. Frecuencia (Nº) de huevos de anchoveta por estadio de desarrollo.

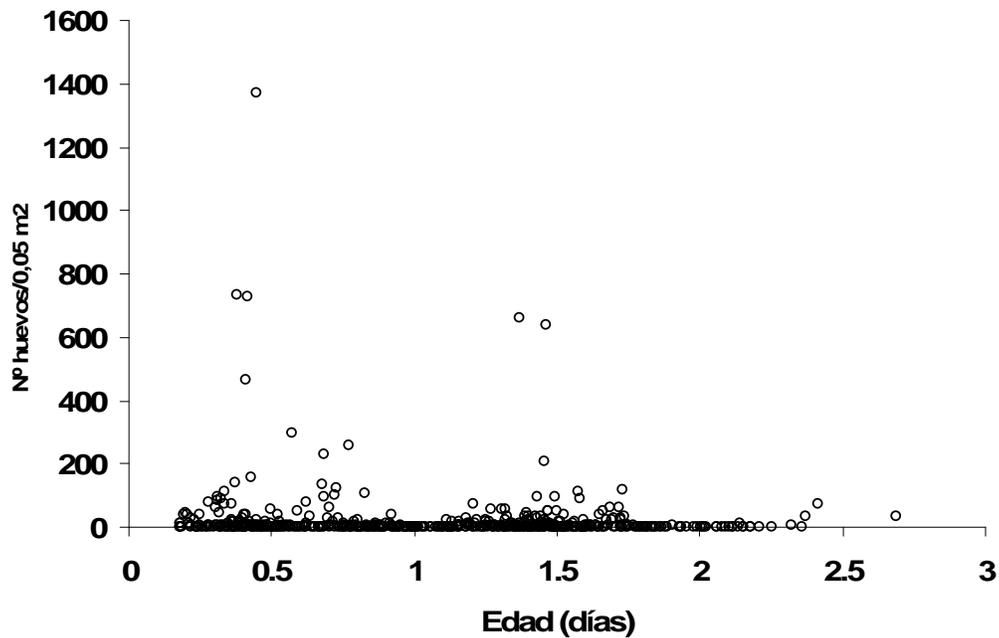


Figura 29. Número de huevos por unidad de muestreo (0,05 m²) en función de su edad (días).

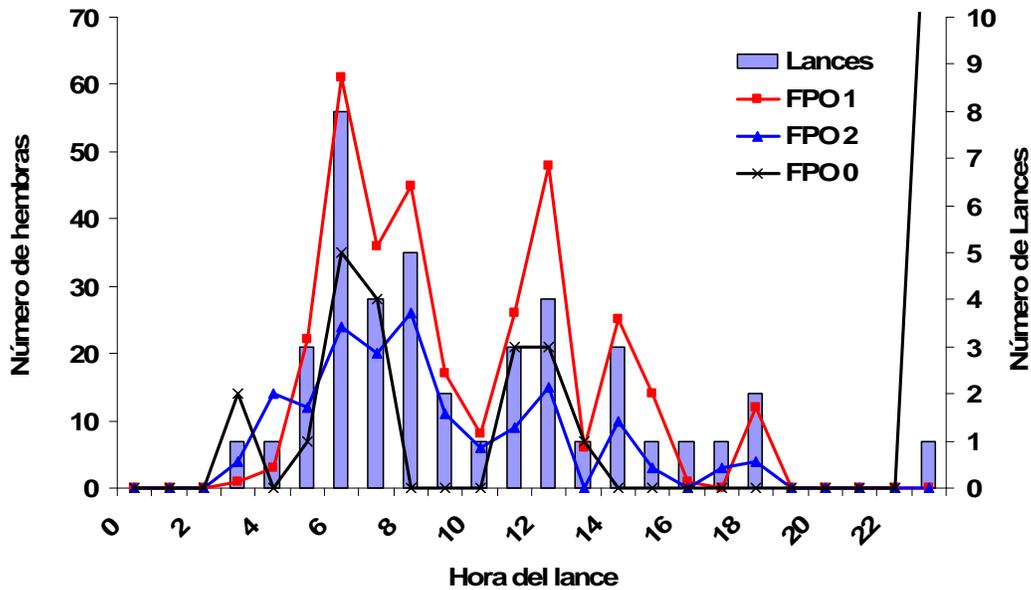


Figura 30. Distribuci3n de frecuencia (Nº) de Folículos Postovulatorios de día 0, 1 y día 2 para el total de hembras analizadas en funci3n de la hora de captura y número de lances por hora del día.

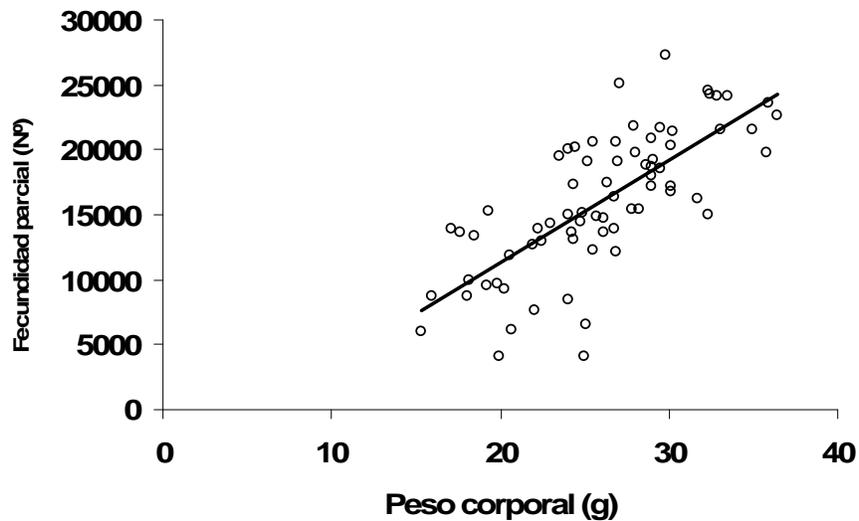


Figura 31. Fecundidad parcial en funci3n del peso corporal para el ańo 2006.

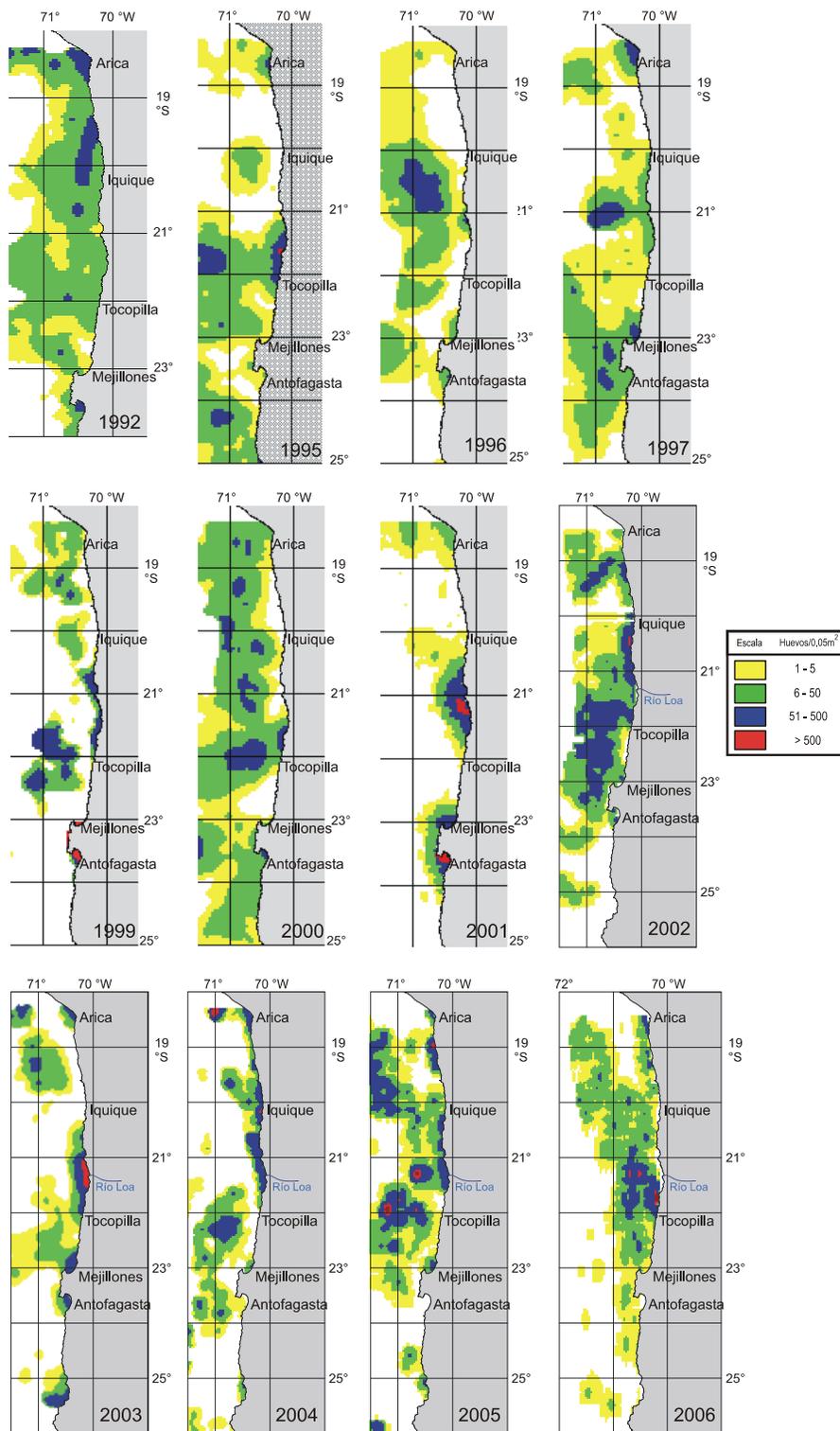


Figura 32. Distribuci3n espacial y temporal de los huevos de anchoveta. Per3odo 1992 - 2006.

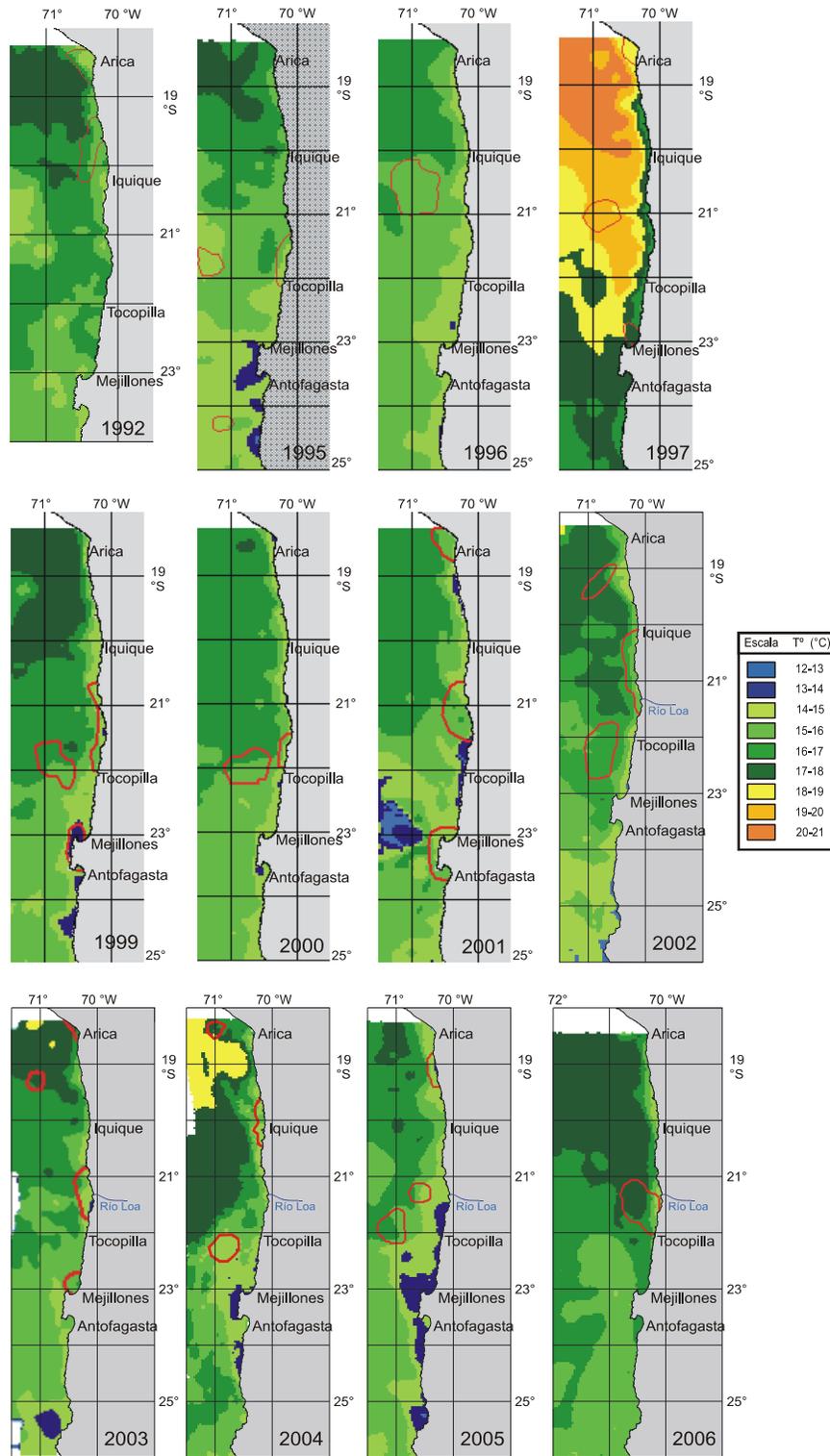


Figura 33. Distribuci3n espacial y temporal de la temperatura a 10 m. Per3odo 1992 - 2006.

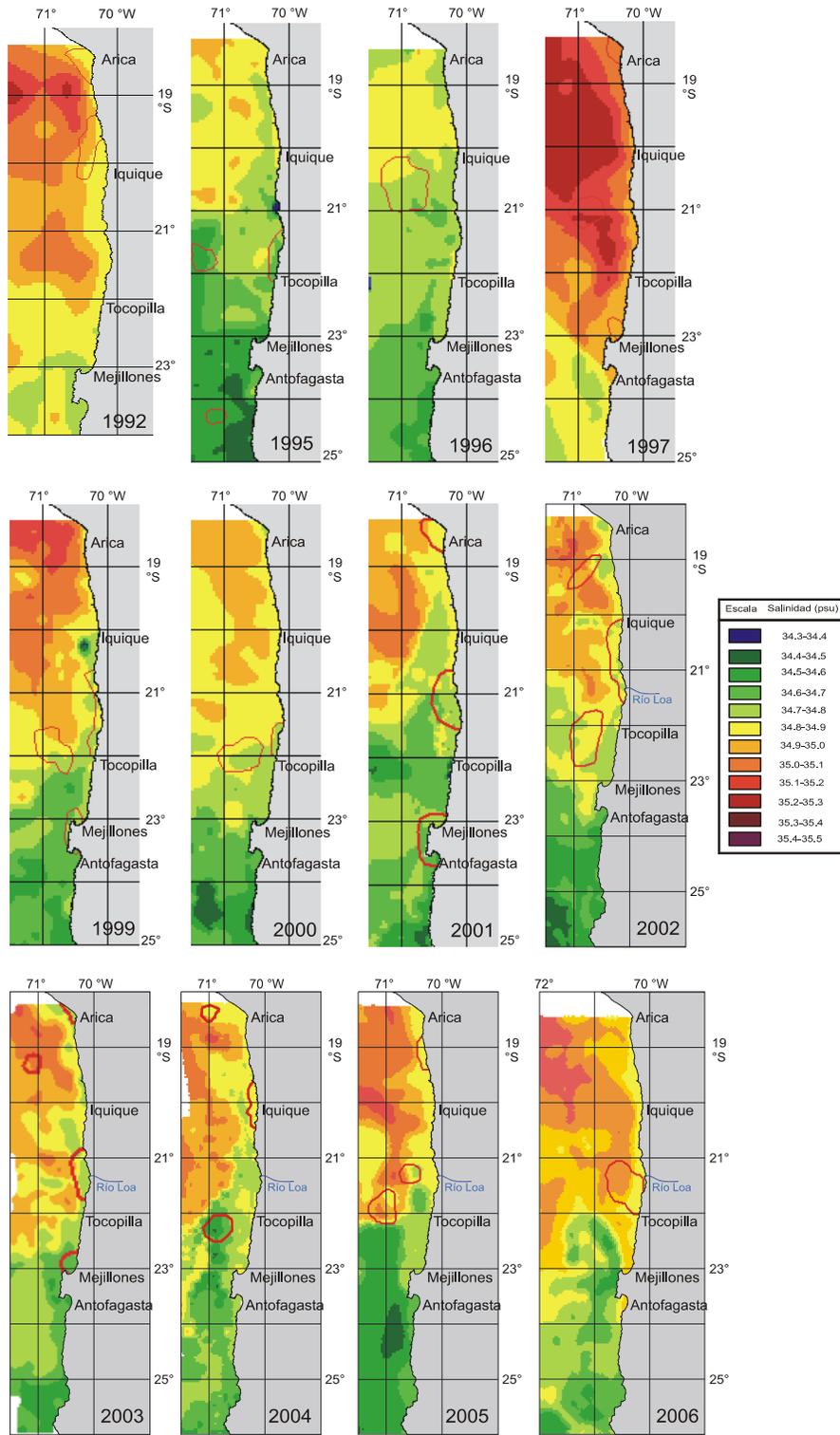


Figura 34. Distribuci3n espacial y temporal de la salinidad superficial. Per3odo 1992 - 2006.

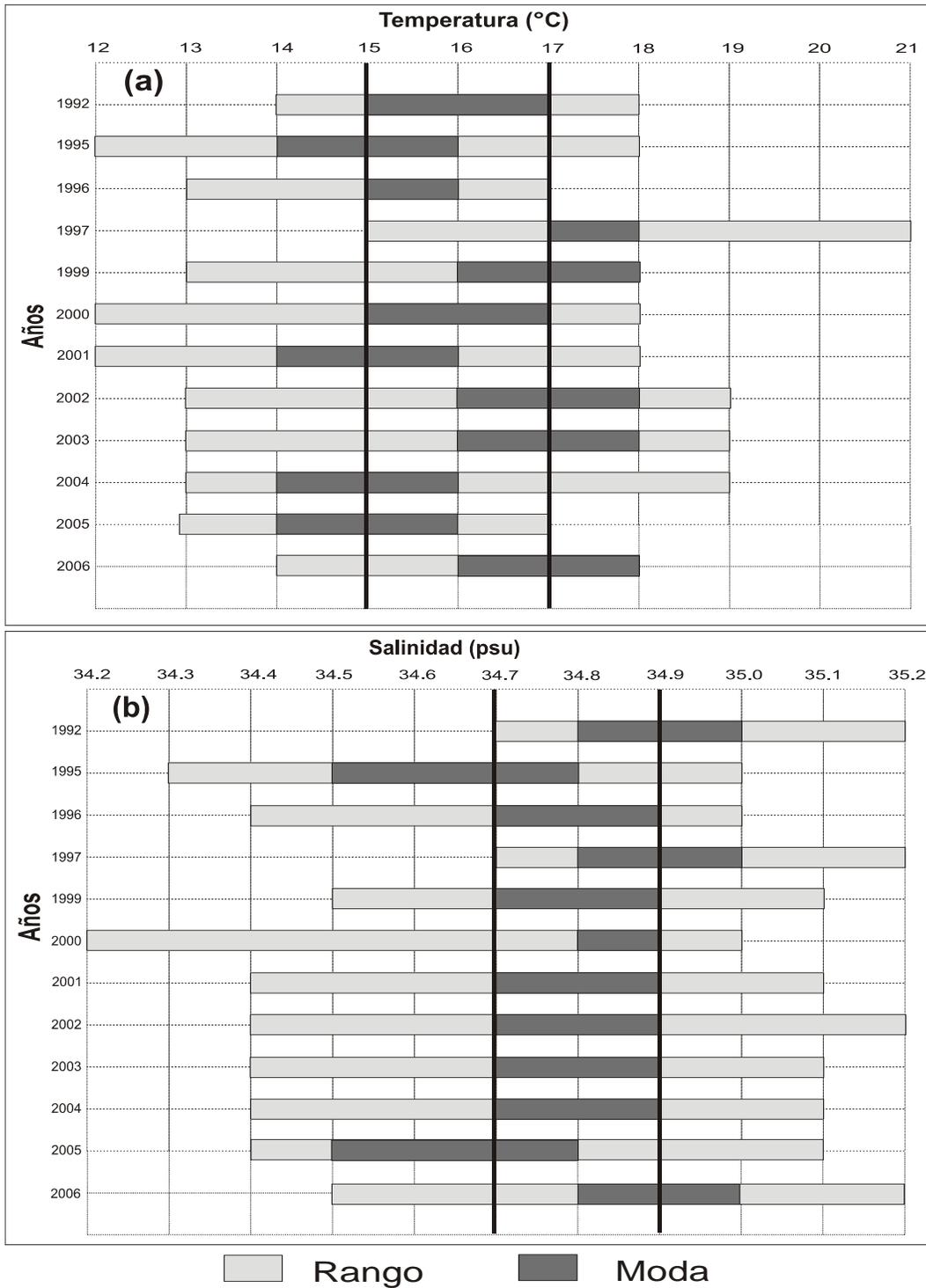


Figura 35. Rangos de distribuci3n preferencial de los huevos de anchoveta respecto de: a) temperatura (°C) y b) salinidad (psu). Per3odo 1992-2006.

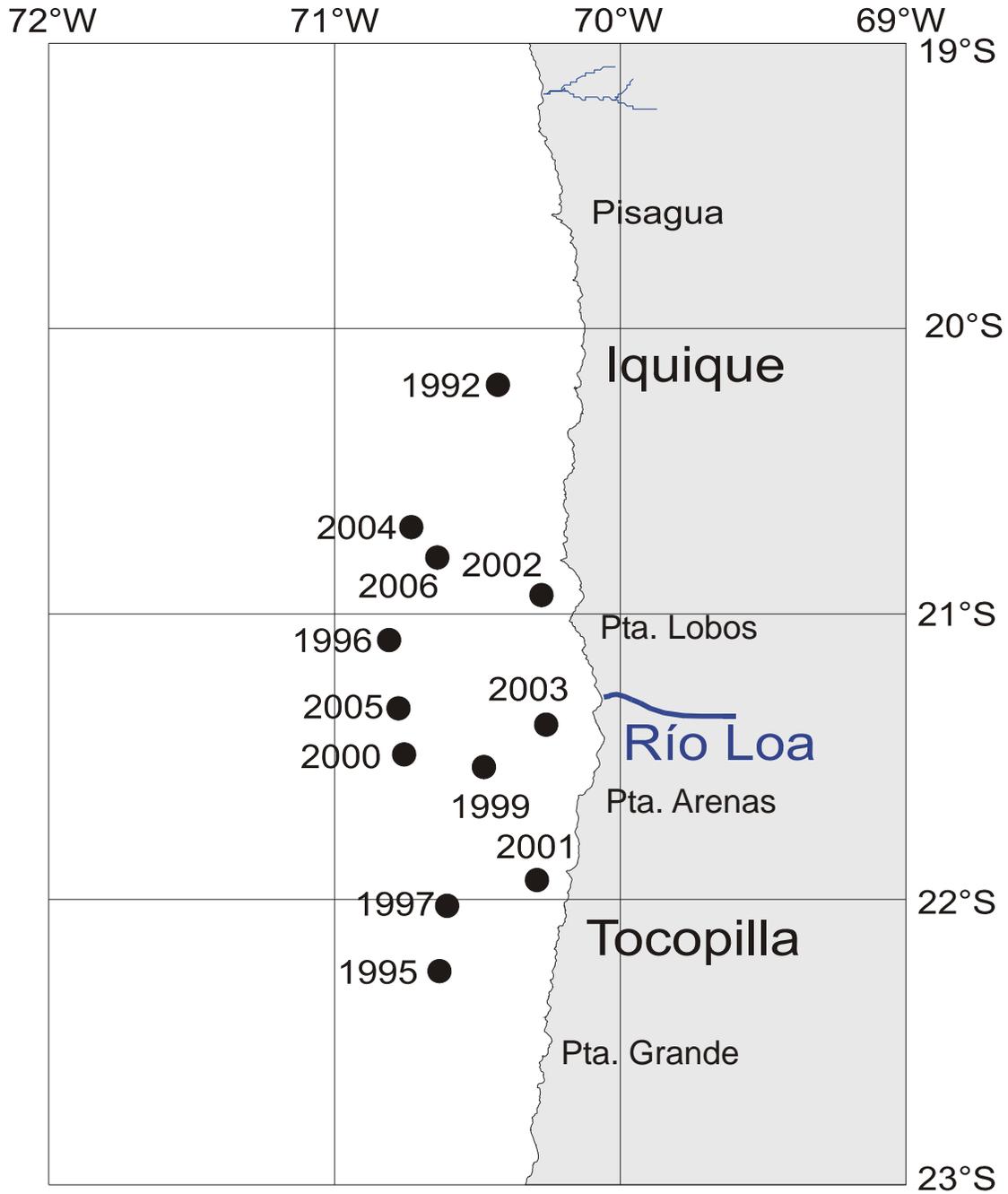


Figura 36. Distribución espacial de los centros de gravedad de las distribuciones de huevos de anchoveta. Período 1992-2006.

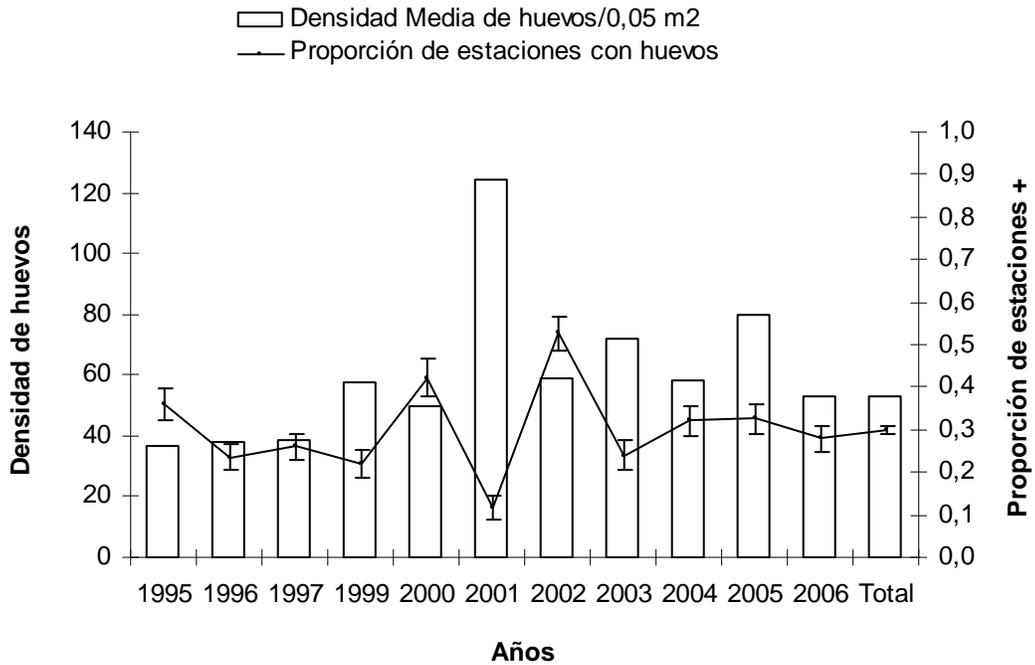


Figura 37. Densidad media e intervalo de confianza para la proporci3n de estaciones con presencia de huevos de anchoveta, por a3o y total. Cruceros realizados entre la I y II Regi3n.

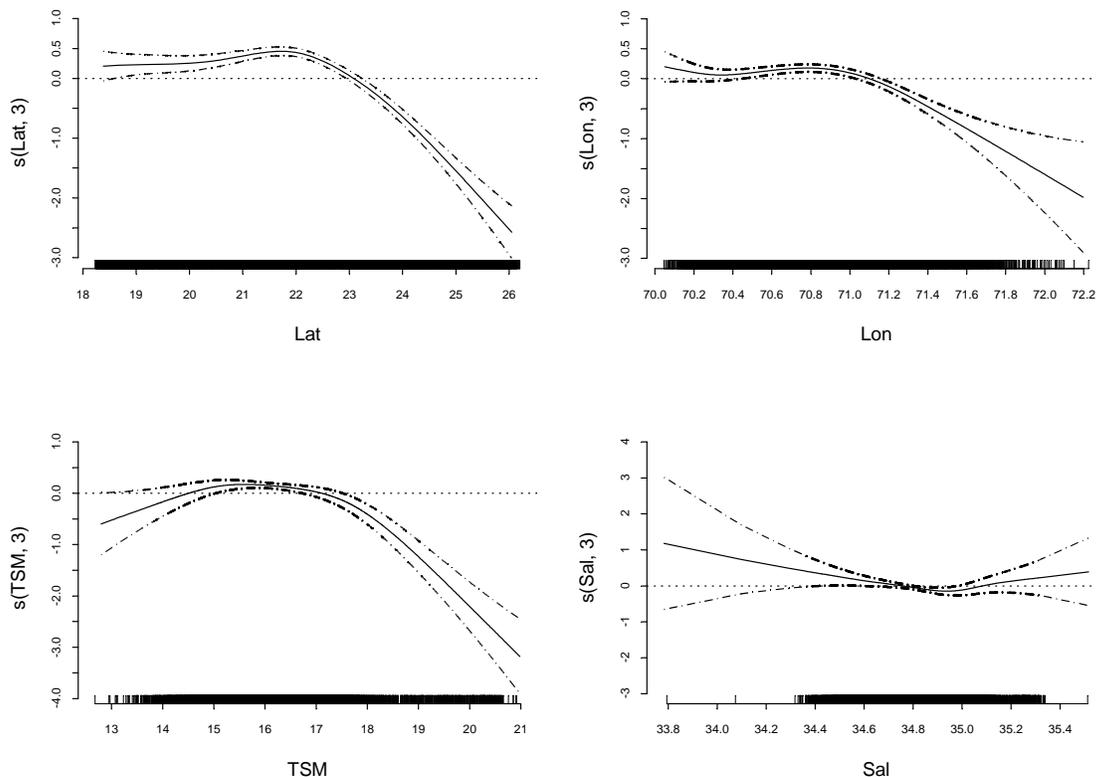


Figura 38. Efectos de los predictores latitud (Lat), longitud (Lon), temperatura (TSM) y salinidad (Sal) superficial sobre la variable presencia/ausencia de huevos de anchoveta por estaci3n, ajustado un modelo binomial con sobre-dispersi3n (GAM). El cero en el eje vertical indica que no existe efecto del predictor sobre la variable respuesta, l3neas segmentadas corresponden a las bandas de confianza y $s(X, P)$ corresponde a la funci3n suavizadora spline para la variable X con P grados de libertad. A3os 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006.

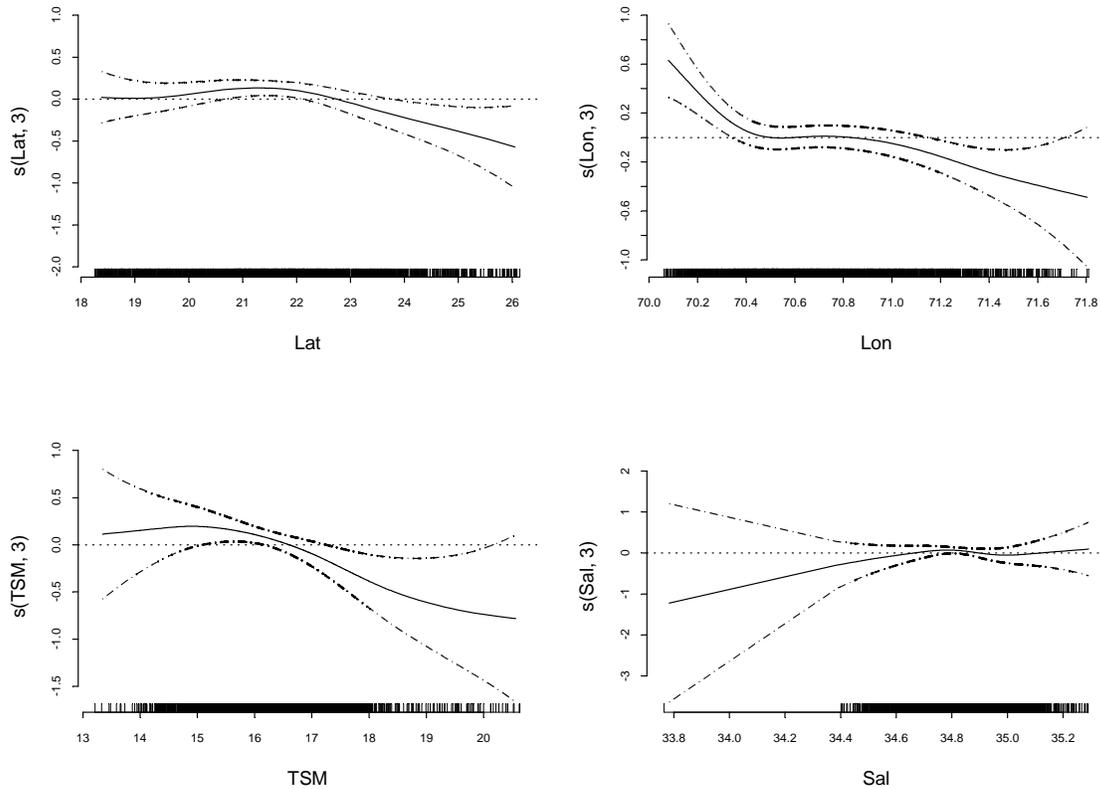


Figura 40. Efectos de los predictores latitud (Lat), longitud (Lon), temperatura (TSM) y salinidad (Sal) superficial sobre la variable logaritmo de la densidad de huevos de anchoveta en las estaciones positivas, ajustado un modelo normal (GAM). El cero en el eje vertical indica que no existe efecto del predictor sobre la variable respuesta, líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza y $s(X, P)$ corresponde a la funci3n suavizadora spline para la variable X con P grados de libertad. Años 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006.

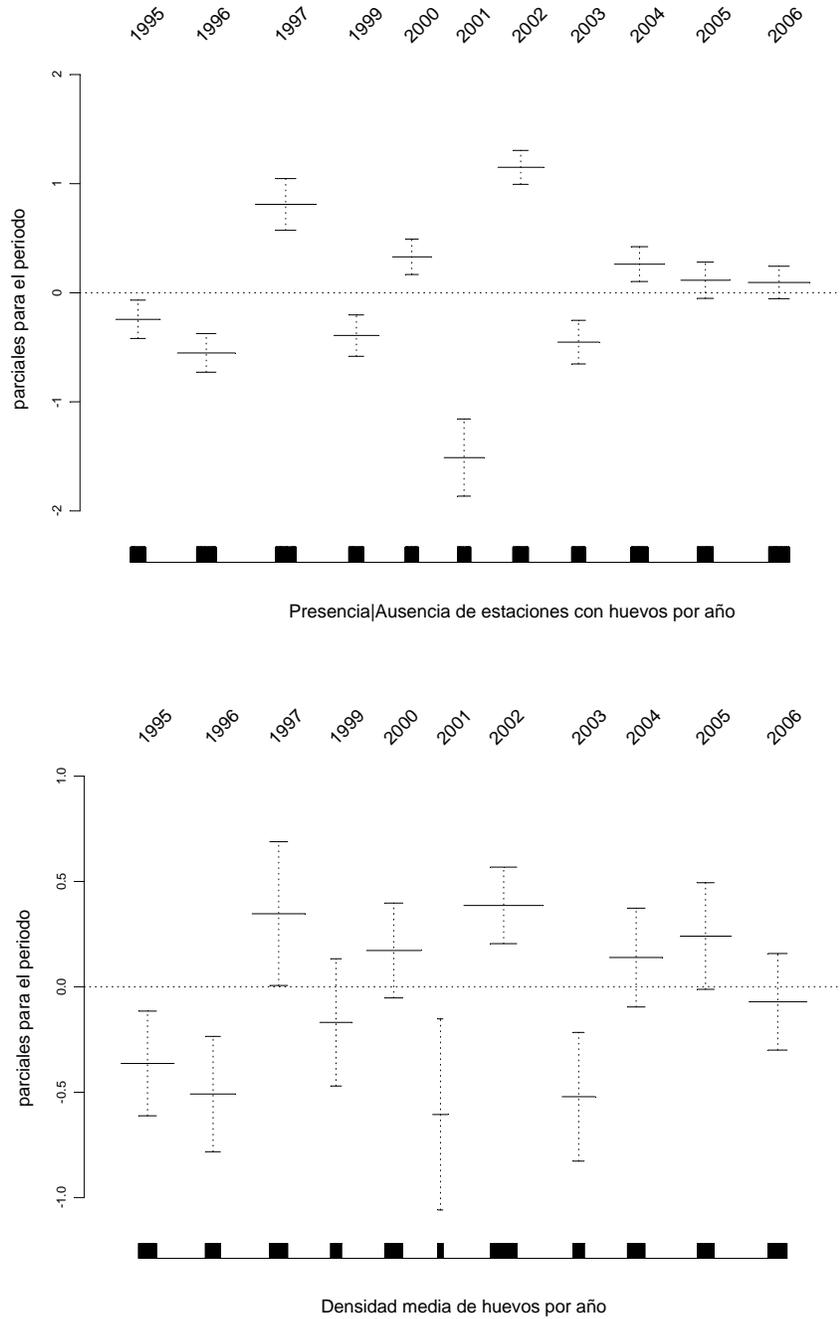


Figura 39. Tendencias de los 3ndices por a1o obtenidos del ajuste de modelos GAM para la presencia/ausencia y la densidad de huevos de anchoveta. L3neas segmentadas corresponden a las bandas de confianza. A1os 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006.

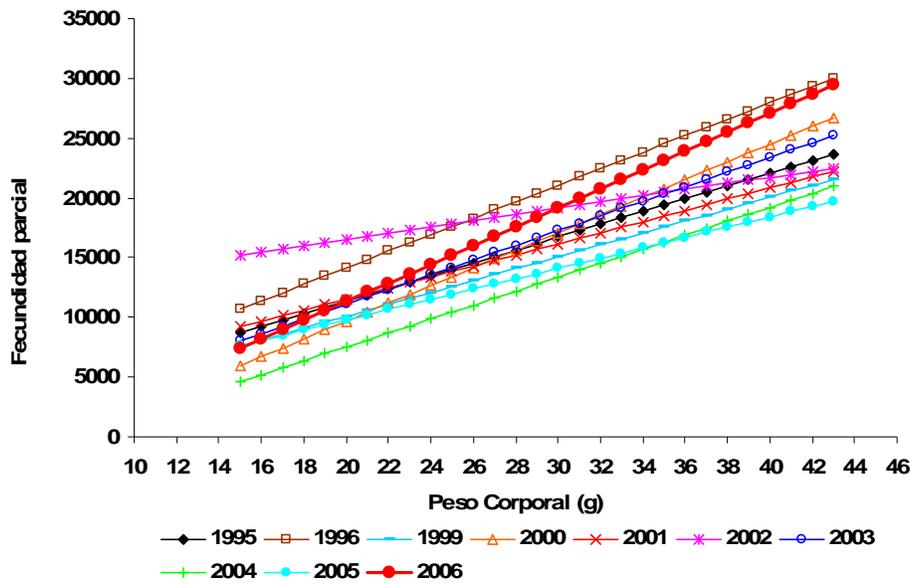


Figura 43. Rectas ajustadas a la fecundidad parcial en funci3n del peso corporal para cada a1o de aplicaci3n del MPH.

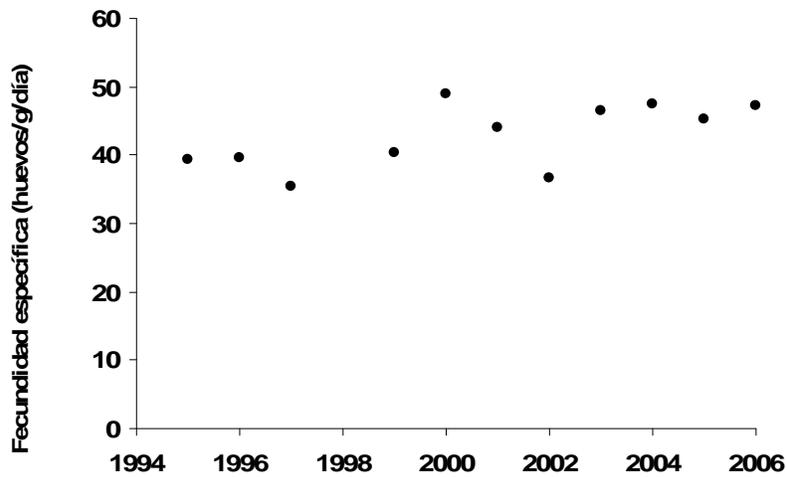


Figura 44. Fecundidad espec3fica a trav3s de los a1os para anchoveta zona norte.

T A B L A S



Tabla 1. Caracterizaci3n de los estadios ov3ricos de peces pel3gicos (Wallace y Selman, 1981; Hunter y Macewicz, 1985).

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 c3lulas foliculares. Ves3cula germinativa grande y central, con prominentes nucl3olos esf3ricos y perif3ricos. Citoplasma escaso, finamente granular y fuertemente bas3filo. En ovocitos previtelog3nicos tard3os debuta la presencia de peque1as ves3culas perif3ricas.
Estadio III: Parcialmente vitelad	Predominio de ovocitos en estado temprano de depositaci3n de vitelo, el cual no abarca m3s de las 3/4 partes del citoplasma. Destaca la presencia de ves3culas perif3ricas. Ves3cula germinativa grande y central, con m3ltiples nucl3olos perif3ricos y rodeada por peque1as gotas de l3pidos que inician su fusi3n. La zona radiata es delgada, subyacente a c3lulas foliculares de poca altura.
Estadio IV: Vitelado	Predominio de ovocitos cargados de gl3bulos de vitelo distr. buido desde la periferia hasta la regi3n perinuclear. La ves3cula germinativa mantiene su posici3n central, permaneciendo los nucl3olos en la periferia. Zona radiata bien desarrollada. C3lulas foliculares c3bicas bajas con n3cleo esf3rico, central y el citoplasma finamente granular, ligeramente bas3filo.
Estadio V: En maduraci3n	Citoplasma con grandes gl3bulos de vitelo (t3rmino de la depositaci3n de vitelo) y ves3culas lip3dicas que coalescen (2 a 3), ubic3ndose al lado opuesto de la direcci3n de migraci3n de la ves3cula germinativa, la que es exc3ntrica, migrante hacia el polo animal. Alto n3mero de peque1os nucl3olos perif3ricos. C3lulas foliculares c3bicas con n3cleo desplazado a la base. Citoplasma claro, de aspecto espumoso, areolar, ligeramente bas3filo.
Estadio VI: Hidratado (hialino)	Con o sin ves3cula germinativa en el polo animal, seg3n se haya iniciado la maduraci3n. Por incorporaci3n de fluidos el ovocito incrementa considerablemente su tama1o. El vitelo se presenta en forma de placas por ingreso de l3quido al citoplasma, d3ndole un aspecto hialino. La granulosa y zona radiata pierden espesor.
Estadio VII: En desove	Co-existencia de ovocitos hidratados y fol3culos postovulatorios nuevos, entre ovocitos en depositaci3n temprana de vitelo.
Estadio VIII: Desovado	Predominio de ovocitos inmaduros. Se aprecia abundante atresia folicular, tanto alfa como beta. Ovocitos vitelados residuales y eventualmente fol3culos postovulatorios viejos.



Tabla 2. Caracterizaci3n histol3gica de los fol3culos postovulatorios (FPO) (Hunter y Goldberg, 1980); ajustados para *E. ringens*, en FIP N° 95-01).

EDAD	APARIENCIA HISTOLOGICA DEL FPO
NUEVOS (< 24 h)	Fol3culos postovulatorios presentes en hembras en desove al momento de la colecta. Aspecto irregular formado por un epitelio columnar bien organizado, con numerosas involuciones y corrugaciones. Lumen amplio e irregular, con abundante material granular eosin3filo. Epitelio constituido por c3lulas c3bicas o cil3ndricas bien delimitadas entre s3. N3cleo esf3rico y basal, con cromatina regularmente condensada. Citoplasma finamente granular, ligeramente eosin3filo. Escasa presencia de espacios vac3os tipo c3lula secretora intraepitelial, siendo 3stas alc3an blue d3bilmente positivo. Adyacente a la granulosa se ubican las c3lulas tecales aplanadas e imbricadas.
EDAD DIA 1 (> de 24 - < 48 h)	Los presentan las hembras que desovaron la noche anterior a la captura. Son m3s peque1os que los FPO nuevos, de aspecto glandular con ligera infiltraci3n linfocitaria, lumen estrecho e irregular. Granulosa columnar, corrugada, con disposici3n lineal de las c3lulas foliculares, algunas de las cuales presentan signos de degeneraci3n: n3cleo picn3tico, micropicnosis, de forma irregular, citoplasma vacuolado, pero mantienen la individualidad entre ellos. Se aprecian abundantes espacios vac3os intraepitelial que se ti1en intensamente con alc3an blue.
EDAD DIA 2 (> 48 h)	Estructura de aspecto glomerular con marcada degeneraci3n celular. Epitelio desorganizado, perdiendo la disposici3n lineal de sus c3lulas. L3mina tecal hipertrofiada, capilares sangu3neos desarrollados. Lumen ocluido o ausente, c3lulas sin individualidad aparente y en avanzado estado degenerativo: forma irregular n3cleos picn3ticos, micropicnosis, citoplasma vacuolado, representando la fase terminal de degeneraci3n del epitelio columnar. Abundantes espacios con material granular alc3an blue fuertemente positivo. Notoria infiltraci3n linfocitaria.



Tabla 3. Síntesis de la información utilizada para el cálculo de los promedios históricos estacionales de temperatura y salinidad vertical para las transectas de Arica , punta Lobos y bahía Moreno. Crucero MPH - Invierno 2006.

	Transecta 1 Arica 18°25' S	Transecta 17 Punta Lobos 21°00' S	Transecta 33 Bahía Moreno 23°40' S
Número Cruceros	21	21	16
Número Estaciones	355	351	321
Datos Temperatura reales	1951	2144	2171
Datos Temperatura Interpolados	550	424	531
Datos Salinidad reales	1954	2144	2173
Datos Salinidad Interpolados	553	431	532



Tabla 4
Clasificación de los estadios de desarrollo embrionario (Santander *et al.*, 1984).

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

**Tabla 5.** Evolución semanal de la actividad reproductiva microscópica de la anchoveta en la I y II Región, julio – octubre de 2006.

semana	PERIODO	IAD	IAO
27	03/07 – 09/07	33,3	0,0
28	10/07 – 16/07	SIN REGISTRO	SIN REGISTRO
29	17/07 – 23/07	47,1	1,3
30	24/07 – 30/07	27,5	0,0
31	31/07 – 06/08	33,1	0,7
32	07/08 – 13/08	28,2	0,0
33	14/08 – 20/08	SIN REGISTRO	SIN REGISTRO
34	21/08 – 27/08	52,2	0,0
35	28/08 – 03/09	44,0	0,0
36	04/09 – 10/09	42,3	0,0
37	11/09 – 17/09	41,3	2,1
38	18/09 – 24/09	SIN REGISTRO	SIN REGISTRO
39	25/09 – 01/10	25,3	0,7
40	02/10 – 08/10	18,1	0,7
41	09/10 – 15/10	19,7	2,6
42	16/10 – 22/10	21,8	0,7

IAD: Índice de actividad de desove**IAO: Índice de atresia ovárica**



Tabla 6. Resultados de los valores consignados para los huevos de anchoveta, *Engraulis ringens* en las distintas aplicaciones del MPH.

	1992	1995	1996	1997	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
N° Total Estaciones	542	578	752	800	598	502	514	589	537	649	658	799
N° Estaciones positivas	212	208	176	209	132	212	60	310	129	208	214	226
Abundancia (N°H/0,05 m2)	10974	7555	6718	8054	7582	10473	7586	18305	9264	12079	17066	11434
Minimo Est (+)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Máximo Est (+)	331	1536	611	947	1649	518	1987	1609	1386	1288	2100	2563
Std. Dev Est (+)	73,61	126,38	79,83	96,54	175,98	86,11	354,36	128,42	211,76	140,6	212,4	202,2
Media Est. Positivas	52	36	38	39	57	49	126	59	72	58	80	51
Media Est. Totales	20	13	9	10	13	21	15	31	17	19	26	14
Constancia	39,11	35,99	23,40	26,13	22,07	42,23	11,67	52,55	24,02	32,05	32,52	27,91
CV (%)	1,42	3,51	2,10	2,48	3,09	1,76	2,81	2,18	2,94	2,42	2,66	3,82
Area crucero (mn2)	17055	18137	18353	19627	27374	19539	25921	30264	26986	30152	30368	41448
Area desove (mn2)	10332	13315	10698	14660	7525	13059	4026	18309	7597	9193	12521	14408
Temp (°C)10 m	16,25	15,64	15,28	18,26	15,84	15,72	15,56	15,94	15,84	16,29	15,55	16,14



Tabla 7. Número de lances efectuados durante el crucero Módulo Adultos, en la I y II Región. Agosto – septiembre de 2006.

BARCO	LANCE N°	FECHA	HORA COLECCIÓN	LATITUD	LONGITUD	CAPTURA ESTIMADA (t)	LANCES ANCHOVETA
Petrohue II	1	21-08-2006	5:43	18°32'	70°21'	15	X
Petrohue II	2	21-08-2006	7:28	18°30'	70°22'	20	X
Audaz	1	22-08-2006	14:03	20°41'	70°36'	0.025	X
Audaz	2	22-08-2006	23:29	21°55'	70°16'	S/P	
Petrohue II	1	22-08-2006	18:24	18°53'	70°21'	S/P	
Relampago	1	22-08-2006	3:45	22°13'	71°40'	S/P	
Relampago	2	22-08-2006	9:25	22°34'	71°09'	S/P	
Relampago	3	22-08-2006	14:55	23°08'	70°42'	S/P	
Relampago	4	22-08-2006	22:20	23°27'	71°46'	S/P	
Audaz	1	23-08-2006	23:48	20°13'	70°35'	S/P	
Audaz	3	23-08-2006	9:08	20°42'	70°34'	0.025	X
Audaz	4	23-08-2006	12:30	20°41'	70°36'	S/P	
Petrohue II	2	23-08-2006	5:33	19°11'	70°18'	S/P	
Petrohue II	3	23-08-2006	8:05	19°22'	70°17'	S/P	
Petrohue II	4	23-08-2006	11:21	19°36'	70°15'	1	X
Petrohue II	5	23-08-2006	13:50	19°48'	70°11'	S/P	
Petrohue II	6	23-08-2006	16:18	20°00'	70°09'	S/P	
Petrohue II	7	23-08-2006	20:49	20°16'	70°11'	S/P	
Relampago	5	23-08-2006	6:51	23°59'	70°34'	S/P	
Relampago	6	23-08-2006	13:00	23°57'	71°30'	S/P	
Relampago	7	23-08-2006	17:27	23°42'	71°50'	S/P	
Tornado	1	23-08-2006	9:05	19°38'	70°27'	5	X
Tornado	2	23-08-2006	13:10	19°44'	70°55'	S/P	
Tornado	3	23-08-2006	17:12	19°30'	71°25'	S/P	
Tornado	4	23-08-2006	19:38	19°28'	71°16'	S/P	
Audaz	2	24-08-2006	4:10	20°36'	70°50'	S/P	
Audaz	3	24-08-2006	9:09	20°55'	71°04'	S/P	
Audaz	4	24-08-2006	12:36	21°05'	71°12'	S/P	
Audaz	5	24-08-2006	14:45	21°06'	71°11'	20	X
Claudia Alejandra	1	24-08-2006	6:48	24°15,3'	71°22,9'	S/P	
Claudia Alejandra	2	24-08-2006	8:25	25°07,3'	70°40,4'	S/P	
Claudia Alejandra	3	24-08-2006	12:21	25°26,1'	70°45,1'	S/P	
Claudia Alejandra	4	24-08-2006		25°36,2'	70°50,1'	S/P	
Claudia Alejandra	5	24-08-2006		26°00,2'	70°51,1'	S/P	
Claudia Alejandra	6	24-08-2006		25°43,1'	71°19,3'	S/P	
Petrohue II	8	24-08-2006	5:58	21°26'	70°05'	S/P	
Petrohue II	9	24-08-2006	9:22	21°03'	70°11'	S/P	
Petrohue II	10	24-08-2006	11:20	20°54'	70°14'	S/P	
Petrohue II	11	24-08-2006	13:51	20°44'	70°13'	0.025	X
Relampago	8	24-08-2006	0:30	23°31'	70°50'	S/P	
Relampago	9	24-08-2006	7:43	22°54'	71°30'	S/P	
Relampago	10	24-08-2006	11:50	23°13'	71°06'	S/P	
Relampago	11	24-08-2006	18:52	22°45'	70°23'	S/P	
Tornado	1	24-08-2006	23:40	19°53'	70°31'	S/P	
Tornado	5	24-08-2006	2:00	19°14'	70°24'	S/P	
Tornado	6	24-08-2006	6:55	19°27'	70°35'	50	X
Audaz	1	25-08-2006	6.5	20°59'	70°31'	S/P	
Audaz	2	25-08-2006	9:35	20°50'	70°26'	S/P	
Audaz	3	25-08-2006	12:22	20°38'	70°24'	S/P	
Audaz	4	25-08-2006	14:55	20°28'	70°22'	S/P	
Audaz	5	25-08-2006	17:23	20°20'	70°22'	S/P	
Audaz	6	25-08-2006	19:38	20°14'	70°18'	S/P	
Claudia Alejandra	7	25-08-2006		25°28,1'	71°33,1'	S/P	
Claudia Alejandra	8	25-08-2006	7:26	25°01,2'	70°38,1'	S/P	



Tabla 7. Continuación

BARCO	LANCE N°	FECHA	HORA COLECCIÓN	LATITUD	LONGITUD	CAPTURA ESTIMADA (t)	LANCES ANCHOVETA
Claudia Alejandra	9	25-08-2006		24°48,3'	70°59,2'	S/P	
Claudia Alejandra	10	25-08-2006	14:49	24°32,8'	71°43,2'	S/P	
Relampago	12	25-08-2006	0:30	22°50'	70°45'	S/P	
Relampago	13	25-08-2006	6:18	22°54'	70°30'	S/P	
Relampago	14	25-08-2006	10:22	22°28'	70°17'	S/P	
Relampago	15	25-08-2006	14:30	22°12'	70°37'	S/P	
Tornado	2	25-08-2006	12:30	18°59'	71°28'	S/P	
Tornado	3	25-08-2006	16:20	18°45'	70°56'	S/P	
Tornado	4	25-08-2006	20:30	18°42'	70°27'	S/P	
Tornado	5	26-08-2006	2:50	18°25'	71°25'	S/P	
Tornado	6	26-08-2006	7:05	18°25'	70°25'	S/P	
Tornado	7	26-08-2006	9:20	18°25'	70°36'	S/P	
Tornado	8	26-08-2006	16:20	19°26'	70°22'	S/P	
Tornado	9	27-08-2006	5:00	19°35'	70°31'	S/P	
Audaz	1	28-08-2006	12:15	18°24'	71°15'	10	X
Claudia Alejandra	1	28-08-2006	12:11	18°26,3'	71°13,8'	0.025	X
Claudia Alejandra	2	28-08-2006	18:33	18°25,2'	71°14,8'	15	X
Claudia Alejandra	3	28-08-2006	23:00	18°30,5'	71°18,6'	15	X
Petrohue II	1	28-08-2006	5:16	18°27'	70°23'	13	X
Petrohue II	2	28-08-2006	6:42	18°24'	70°24'	15	X
Petrohue II	3	28-08-2006	8:20	18°22'	70°27'	27	X
Petrohue II	1	29-08-2006	8:06	18°29'	70°23'	0.025	X
Petrohue II	1	30-08-2006	4:27	18°31'	70°23'	S/P	
Petrohue II	2	30-08-2006	8:31	18°23'	70°25'	S/P	
Tornado	1	30-08-2006	4:50	21°01'	71°24'	80 t jurel-caballa	
Relampago	1	31-08-2006	15:12	20°04'	70°34'	10	X
Relampago	2	31-08-2006	18:11	20°00'	70°35'	30	X
Tornado	2	31-08-2006	12:30	20°03'	70°31'	40	X
Tornado	3	31-08-2006	16:00	20°02'	70°36'	30	X
Tornado	4	31-08-2006	17:55	20°02'	70°38'	15	X
Tornado	1	01-09-2006	4:10	20°05'	70°24'	15	X
Petrohue II	1	05-09-2006	6:45	18°31'	70°22'	27	X
Petrohue II	2	05-09-2006	8:20	18°30'	70°26'	18	X
Claudia Alejandra	1	06-09-2006	7:01	21°35'	70°12'	30	X
Claudia Alejandra	2	06-09-2006	11:00	21°38'	70°13'	60	X
Claudia Alejandra	3	06-09-2006	23:40	20°40'	70°32'	S/P	
Petrohue II	1	06-09-2006	8:10	18°32'	70°25'	40	X
Petrohue II	1	07-09-2006	6:50	18°24'	70°25'	25	X
Relampago	1	07-09-2006	6:20	21°11'	70°18'	80	X
Relampago	2	07-09-2006	10:18	21°14'	70°15'	S/P	
Tornado	1	07-09-2006	6:11	21°11'	70°18'	90	X
Tornado	2	07-09-2006	8:40	21°10'	70°14'	100	X
Claudia Alejandra	1	08-09-2006	3:56	21°44'	70°12'	40	X
Claudia Alejandra	2	08-09-2006	6:11	21°45'	70°14'	20	X
Claudia Alejandra	3	08-09-2006	14:45	21°24'	70°13'	0.025	X
Petrohue II	1	08-09-2006	6:50	18°24'	70°26'	5	X
Relampago	1	08-09-2006	7:10	21°32'	70°32'	70	X
Relampago	2	08-09-2006	9:45	21°30'	70°08'	S/P	
Relampago	3	08-09-2006	11:57	21°28'	70°09'	40	X
Tornado	1	08-09-2006	10:02	21°30'	70°09'	50	X
Tornado	2	08-09-2006	12:00	21°28'	70°09'	40	X
Petrohue II	1	09-09-2006	7:41	18°27'	70°23'	0.025	X
Petrohue II	1	11-09-2006	5:17	18°28'	70°21'	10	X
Petrohue II	1	12-09-2006	4:49	18°23'	70°24'	15 t bacaladillo	

S/P: SIN PESCA



Tabla 8. Estimaciones de Producci3n diaria de huevos por unidad de muestreo (P_o) y tasa de mortalidad diaria (Z) con sus respectivas desviaciones est3ndares, en cada a3o de aplicaci3n del MPH (n es el n3mero de puntos utilizados en el ajuste).

A3o	P_o	SP_o	Z	SZ	n
1992	41,8	7,71	1,15	0,138	659
1995	20,0	7,63	0,63	0,221	748
1996	15,8	4,68	0,48	0,204	574
1997	14,9	4,74	0,44	0,365	738
1999	23,0	8,18	0,78	0,236	410
2000	29,7	7,06	0,77	0,169	698
2001	30,2	29,37	0,80	0,520	239
2002	15,9	3,04	0,62	0,152	2048
2003	37,1	16,03	0,83	0,299	492
2004	54,8	13,27	0,85	0,178	562
2005	48,2	9,55	0,81	0,212	555
2006	30,8	11,27	0,67	0,297	519



Tabla 9. Resumen de los datos de los lances. Hora del lance en hora y fracción de hora. Estadios de Madurez Microscópico (EMM), Folículos postovulatorios (FP), número de hembras (n), peso total (PT; Corregido) fecundidad parcial estimada (FECUNDIDAD) y Proporción de hembras en peso (Prop. H).

Lance	Hora	ESTADIOS DE MADUREZ OVÁRICA						FOLÍCULOS POSTOVULATORIOS			n	PT	FECUNDIDAD	Prop. H	
		EMM 1	EMM 2	EMM 3	EMM 4	EMM 5	EMM 6	EMM 7	FPO 0	FPO 1					FPO 2
1	6.33	0	0	0	30	0	0	0	1	2	9	30	25.62	14568	0.43
2	6.83	0	0	0	24	6	0	0	0	4	5	30	19.75	10096	0.52
3	3.93	0	0	0	26	4	0	0	2	1	4	30	26.64	15120	0.52
4	13.85	0	0	0	12	1	17	0	1	6	0	30	20.54	10314	0.65
5	6.75	0	0	0	19	10	0	1	1	10	1	30	14.09	5954	0.43
6	6.18	0	0	0	20	8	2	0	3	7	0	30	26.46	14999	0.53
7	11.35	0	0	0	10	7	13	0	0	5	2	30	17.44	8138	0.53
8	8.10	0	0	0	23	5	2	0	0	14	2	30	19.38	9925	0.41
9	9.08	0	0	0	30	0	0	0	0	13	9	30	20.96	11044	0.40
10	18.55	0	0	0	19	0	11	0	0	12	3	30	20.44	10656	0.59
11	9.13	0	0	0	12	0	18	0	0	4	2	30	23.30	12764	0.37
12	8.17	0	0	0	29	1	0	0	0	13	4	30	18.16	9065	0.69
13	8.33	0	0	0	28	1	1	0	0	8	8	30	18.68	9354	0.55
14	12.00	0	0	0	20	4	6	0	0	13	2	30	24.94	13964	0.32
15	11.00	0	0	0	28	2	0	0	3	9	2	30	23.31	12899	0.54
16	8.33	0	0	0	19	8	3	0	0	7	3	30	15.62	7054	0.30
17	5.27	0	0	0	26	3	1	0	0	9	5	30	18.58	9296	0.86
18	7.02	0	0	0	29	1	0	0	4	10	4	30	26.78	15448	0.54
19	12.18	0	0	0	22	7	1	0	0	6	6	30	20.86	11001	0.35
20	16.00	0	0	0	3	2	25	0	0	1	0	30	29.08	16250	0.17
21	12.25	0	0	0	25	5	0	0	0	13	6	30	19.88	10288	0.36
22	7.47	0	0	0	27	1	2	0	0	6	6	30	18.48	9211	0.45
23	5.72	0	0	0	25	5	0	0	1	4	5	30	20.52	10627	0.50
24	23.00	0	0	0	17	1	6	6	14	0	0	30	20.50	10275	0.48
25	15.20	0	0	0	22	3	5	0	0	14	3	30	27.87	16164	0.21
26	7.68	0	0	0	28	2	0	0	0	10	4	30	18.50	9283	0.36
27	18.18	0	0	0	8	0	22	0	0	0	1	30	27.72	14427	0.46
28	5.28	0	0	0	25	5	0	0	0	9	2	30	18.66	9284	0.26
29	14.75	0	0	0	21	9	0	0	0	4	4	30	30.62	17383	0.55
30	11.95	0	0	0	23	3	4	0	0	12	5	30	24.48	13711	0.50
31	4.17	0	0	0	27	2	1	0	0	3	14	30	28.08	16243	0.32
32	12.50	0	0	0	26	4	0	0	3	16	1	30	31.21	18839	0.21
33	17.92	0	0	0	6	0	24	0	0	0	3	30	28.00	15234	0.18
34	10.03	0	0	0	25	5	0	0	0	8	6	30	24.70	13890	0.48
35	6.18	0	0	0	27	3	0	0	0	3	4	30	27.30	15764	0.45
36	6.83	0	0	0	20	9	1	0	0	3	4	30	19.42	9809	0.50
37	14.05	0	0	0	20	5	5	0	0	12	1	30	22.36	12085	0.28
38	8.67	0	0	0	29	1	0	0	0	3	9	30	26.68	15388	0.57
39	7.17	0	0	0	23	7	0	0	0	10	6	30	24.70	13862	0.33
40	6.70	0	0	0	30	0	0	0	0	17	0	30	13.11	5288	0.46
41	6.92	0	0	0	27	3	0	0	0	15	1	30	19.52	9891	0.55
42	14.75	0	0	0	23	4	3	0	0	9	5	30	23.15	12823	0.56

Tabla 10. Parámetros de adultos obtenidos en las distintas aplicaciones del MPH en la zona norte.

Año	Peso promedio		Fecundidad parcial		Fecundidad relativa Nº ovoc./g	Fracción desovante		Proporción hembras	
	(g)	CV (%)	Nº	CV (%)		día-1	CV (%)		CV (%)
1992	20.7	1.32	14917	1.62	721	0.160	6.22	0.48	2.95
1995	29.2	2.53	15405	2.77	528	0.180	4.65	0.42	5.83
1996	30.0	2.52	19658	2.87	654	0.170	12.79	0.45	8.01
1997	21.7	1.73	12102	1.95	559	0.130	3.07	0.51	2.76
1999	22.7	1.42	10600	2.75	467	0.170	3.81	0.46	5.19
2000	30.9	1.02	16279	2.86	528	0.189	7.50	0.50	4.39
2001	32.4	1.17	15911	2.27	492	0.188	27.02	0.47	5.36
2002	21.3	0.96	16761	1.59	787	0.137	6.87	0.51	3.09
2003	25.2	1.16	13327	2.07	530	0.182	10.47	0.49	3.47
2004	23.6	1.72	8777	3.22	371	0.176	7.16	0.52	3.53
2005	23.0	1.26	10560	2.25	460	0.190	6.70	0.44	4.80
2006	22.5	3.06	12088	5.21	537	0.203	5.17	0.45	4.93



Tabla 11. Frecuencia de estaciones con presencia y ausencia de huevos por a1o, para estaciones sin registro de salinidades (Cero) y con registro de salinidades (Positiva).

A1o	Salinidad	Ausencia	Presencia	Total
1992	Sin registro	286	180	466
	Con registro	44	32	76
	Total	330	212	542
1996	Sin registro	1		1
	Con registro	575	176	751
	Total	576	176	752
1997	Sin registro	8	1	9
	Con registro	583	208	791
	Total	591	209	800
1999	Sin registro	12	6	18
	Con registro	454	126	580
	Total	466	132	598
2001	Sin registro	1		1
	Con registro	453	60	513
	Total	454	60	514
2005	Sin registro	10	16	26
	Con registro	434	198	632
	Total	444	214	658
Total	Sin registro	318	203	521
	Con registro	4.330	1.864	6.194
	Total	4.648	2.067	6.715

* A1os que no aparecen en la tabla no presentan estaciones sin registro de salinidades

Tabla 12. S3ntesis por a1o del n1mero de estaciones totales, n1mero de estaciones sin y con presencia de huevos de anchoveta y densidad media de huevos/0,05 m² de las estaciones positivas para los a1os 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006.

A1o	Estaciones			Densidad Media de huevos/0,05 m ²
	Ausencia	Presencia	Total	
1995	370	208	578	36,32
1996	576	176	752	38,17
1997	591	209	800	38,54
1999	466	132	598	59,71
2000	290	212	502	49,40
2001	454	60	514	124,42
2002	279	310	589	59,05
2003	408	129	537	71,81
2004	441	208	649	58,07
2005	444	214	658	79,75
2006	576	223	799	52,97
Total	4895	2081	6976	55,92



Tabla 13. Resumen de estadísticas descriptivas para las variables longitud, latitud, temperatura superficial, salinidad superficial y densidad de huevos de anchoveta. Cruceros realizados en la I y II Región años 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006.

Año	Estadística	Latitud (° S)	Longitud (° W)	Temperatura superficial (° C)	Salinidad superficial (psu)	Densidad de huevos (h/0,05 m ²)	Año	Estadística	Latitud (° S)	Longitud (° W)	Temperatura superficial (° C)	Salinidad superficial (psu)	Densidad de huevos (h/0,05 m ²)
1992	Mínimo	18,33	70,10	14,51	34,72	1	2002	Mínimo	18,42	70,12	13,65	34,44	1
	Máximo	23,83	71,82	17,90	35,26	202		Máximo	26,00	71,85	18,10	35,14	1607
	Rango	5,50	1,72	3,39	0,54	201		Rango	7,58	1,73	4,45	0,70	1606
	Media	21,00	70,70	16,15	34,92	45		Media	22,27	70,89	16,11	34,78	59
	Mediana	21,00	70,56	16,11	34,88	22		Mediana	22,17	70,89	16,18	34,80	14
	Desv. típ	1,80	0,44	0,91	0,14	57		Desv. típ	2,22	0,38	1,16	0,18	128
1995	Mínimo	18,38	70,09	12,80	34,10	1	2003	Mínimo	18,42	70,10	13,34	34,47	1
	Máximo	25,00	71,67	19,40	35,13	1539		Máximo	26,00	71,71	18,30	35,22	1386
	Rango	6,62	1,58	6,60	1,03	1538		Rango	7,58	1,61	4,96	0,75	1385
	Media	21,60	70,72	15,64	34,70	37		Media	21,83	70,83	16,03	34,84	72
	Mediana	21,58	70,69	15,60	34,72	6		Mediana	21,83	70,81	15,81	34,83	4
	Desv. típ	1,96	0,33	1,06	0,15	127		Desv. típ	2,11	0,37	0,94	0,14	212
1996	Mínimo	18,50	70,09	13,20	34,29	1	2004	Mínimo	18,42	70,11	13,36	34,48	1
	Máximo	26,00	71,75	17,00	35,52	611		Máximo	26,00	71,83	19,29	35,15	1288
	Rango	7,50	1,66	3,80	1,23	610		Rango	7,58	1,72	5,93	0,67	1287
	Media	22,23	70,68	15,34	34,71	38		Media	22,03	70,92	16,64	34,81	58
	Mediana	22,17	70,65	15,30	34,71	6		Mediana	21,83	70,91	16,40	34,81	10
	Desv. típ	2,06	0,33	0,54	0,11	80		Desv. típ	2,22	0,39	1,26	0,15	141
1997	Mínimo	18,38	70,08	16,04	34,53	1	2005	Mínimo	18,42	70,10	13,05	34,41	1
	Máximo	26,05	71,92	20,98	35,32	947		Máximo	26,00	71,84	17,51	35,17	2100
	Rango	7,67	1,84	4,94	0,79	946		Rango	7,58	1,74	4,46	0,76	2099
	Media	22,16	70,85	18,38	35,02	39		Media	22,12	70,93	15,68	34,78	84
	Mediana	22,15	70,82	18,21	35,01	11		Mediana	22,00	70,94	15,56	34,80	15
	Desv. típ	2,30	0,41	1,36	0,20	97		Desv. típ	2,25	0,40	0,94	0,22	220
1999	Mínimo	18,42	70,05	13,12	33,78	1	2006	Mínimo	18,41	70,10	13,59	34,36	1
	Máximo	26,05	71,82	17,84	35,18	1649		Máximo	26,00	72,20	18,17	35,16	2563
	Rango	7,63	1,77	4,72	1,40	1648		Rango	7,59	2,10	4,58	0,80	2562
	Media	22,33	70,84	15,95	34,78	60		Media	22,17	71,07	16,25	34,78	53
	Mediana	22,38	70,81	15,69	34,75	8		Mediana	22,17	71,06	16,08	34,79	6
	Desv. típ	2,19	0,40	1,01	0,18	180		Desv. típ	2,26	0,48	0,99	0,22	202
2000	Mínimo	18,42	70,09	13,97	34,45	1	Total	Mínimo	18,33	70,05	12,80	33,78	1
	Máximo	26,00	71,55	17,30	35,00	518		Máximo	26,05	72,20	20,98	35,52	2563
	Rango	7,58	1,46	3,33	0,55	517		Rango	7,72	2,15	8,18	1,74	2562
	Media	22,04	70,66	15,93	34,78	49		Media	22,08	70,85	16,21	34,80	56
	Mediana	21,92	70,63	15,95	34,81	14		Mediana	22,00	70,80	16,00	34,79	9
	Desv. típ	1,99	0,31	0,68	0,13	86		Desv. típ	2,19	0,40	1,32	0,19	160
2001	Mínimo	18,55	70,11	13,72	34,41	1							
	Máximo	26,05	71,80	17,10	35,08	1977							
	Rango	7,50	1,69	3,38	0,67	1976							
	Media	22,15	70,83	15,70	34,74	124							
	Mediana	21,72	70,80	15,76	34,73	3							
	Desv. típ	2,33	0,37	0,79	0,16	343							



Tabla 14. Análisis de devianza para los efectos no-paramétricos y resumen de los ajustes de los modelos GAM binomial para la variable presencia/ausencia de huevos de anchoveta. Años 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006.

Modelo binomial presencia/ausencia de huevos

Predictores	Df	Df Npar	F	Pr(F)
(Intercept)	1			
Años	10			
s(Lat)	1	2,6	83,38	< 0,01
s(Lon)	1	1,9	28,36	< 0,01
s(TSM)	1	1,9	67,44	< 0,01
s(Sal)	1	1,9	11,85	< 0,01

Devianza modelo nulo	1443,7 sobre 6912 grados de libertad
Devianza residual	1245,6 sobre 6890 grados de libertad
Parámetro de dispersión	0,1747479
Pseudo R2	0,14

Tabla 15. Análisis de devianza para los efectos no-paramétricos y resumen de los ajustes de los modelos GAM normal para la variable logaritmo de la densidad de huevos de anchoveta. Años 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006.

Densidad de huevos

Predictores	Df	Df Npar	F	Pr(F)
Intercepto	1			
Año	10			
s(Lat)	1	2	5,76	< 0,01
s(Lon)	1	2	9,21	< 0,01
s(TSM)	1	2	2,78	0,063
s(Sal)	1	2	4,28	0,014

Devianza modelo nulo	6787,9 sobre 2053 grados de libertad
Devianza residual	6244 sobre 2031 grados de libertad
Parámetro de dispersión	2,944792
Pseudo R2	0,09

ANEXOS

A N E X O 1

**Certificados de calibración
del CTD Sea Bird
Modelo 19 Serie 2249**



SEA-BIRD ELECTRONICS, INC.

1808 136th Place N.E., Bellevue, Washington, 98005 USA

Phone: (425) 643 - 9866 Fax (425) 643 - 9954 Email: seabird@seabird.com

SENSOR SERIAL NUMBER: 2249
CALIBRATION DATE: 10-Apr-06

SBE19 PRESSURE CALIBRATION DATA
1000 psia S/N 178533 TCV: 515

QUADRATIC COEFFICIENTS:

PA0 = 4.953701e+002
PA1 = -1.306011e-001
PA2 = 1.875235e-007

STRAIGHT LINE FIT:

M = -1.305337e-001
B = 4.964675e+002

PRESSURE PSIA	INST OUTPUT(N)	COMPUTED PSIA	ERROR %FS	LINEAR PSIA	ERROR %FS
14.54	3702.0	14.45	-0.01	13.23	-0.13
199.66	2278.0	198.83	-0.08	199.11	-0.06
399.66	737.0	399.22	-0.04	400.26	0.06
599.63	-796.0	599.45	-0.02	600.37	0.07
799.57	-2320.0	799.37	-0.02	799.31	-0.03
999.34	-3837.0	999.25	-0.01	997.33	-0.20
799.55	-2323.0	799.77	0.02	799.70	0.01
599.62	-801.0	600.10	0.05	601.03	0.14
399.65	731.0	400.00	0.04	401.05	0.14
199.67	2268.0	200.13	0.05	200.42	0.07
14.54	3699.0	14.84	0.03	13.62	-0.09

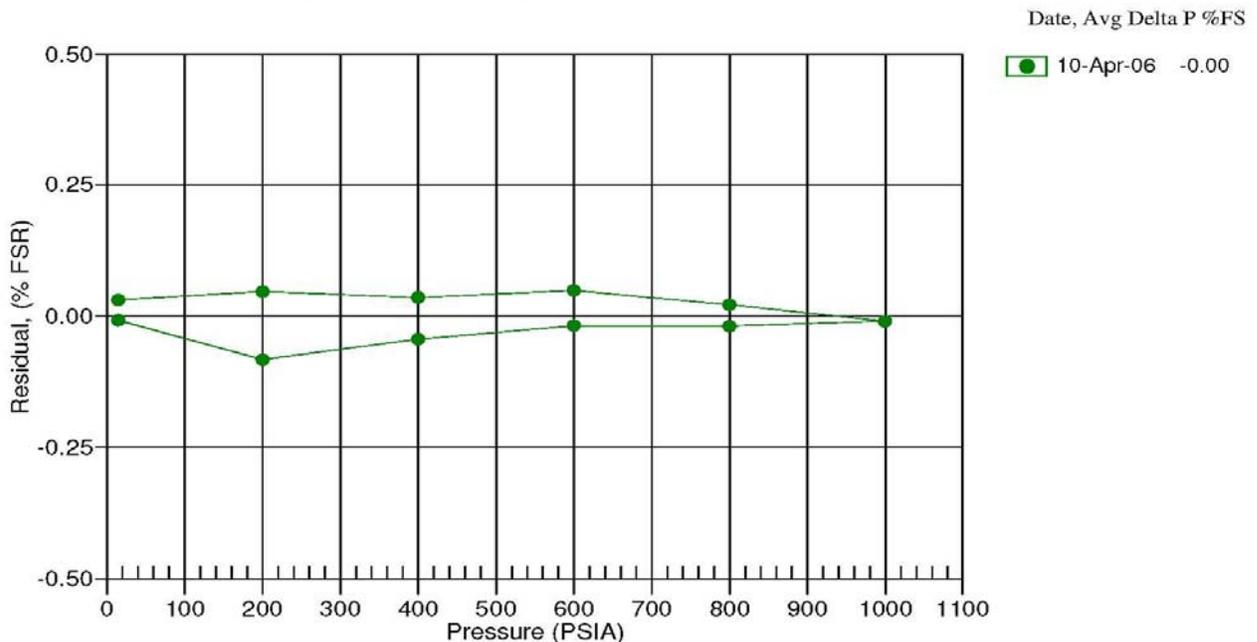
Straight Line Fit:

Pressure (psia) = M * N + B (N = binary output)

Quadratic Fit:

pressure (psia) = PA0 + PA1 * N + PA2 * N²

Residual = (instrument pressure - true pressure) * 100 / Full Scale Range





SEA-BIRD ELECTRONICS, INC.

1808 136th Place N.E., Bellevue, Washington, 98005 USA

Phone: (425) 643 - 9866 Fax (425) 643 - 9954 Email: seabird@seabird.com

SENSOR SERIAL NUMBER: 2249
CALIBRATION DATE: 07-Apr-06

SBE19 TEMPERATURE CALIBRATION DATA
ITS-90 TEMPERATURE SCALE

ITS-90 COEFFICIENTS

g = 4.16462710e-003
h = 5.90998336e-004
i = -2.23168533e-006
j = -3.50931738e-006
f0 = 1000.0

ITS-68 COEFFICIENTS

a = 3.64763318e-003
b = 5.86971024e-004
c = 7.01380593e-006
d = -3.50926465e-006
f0 = 2400.959

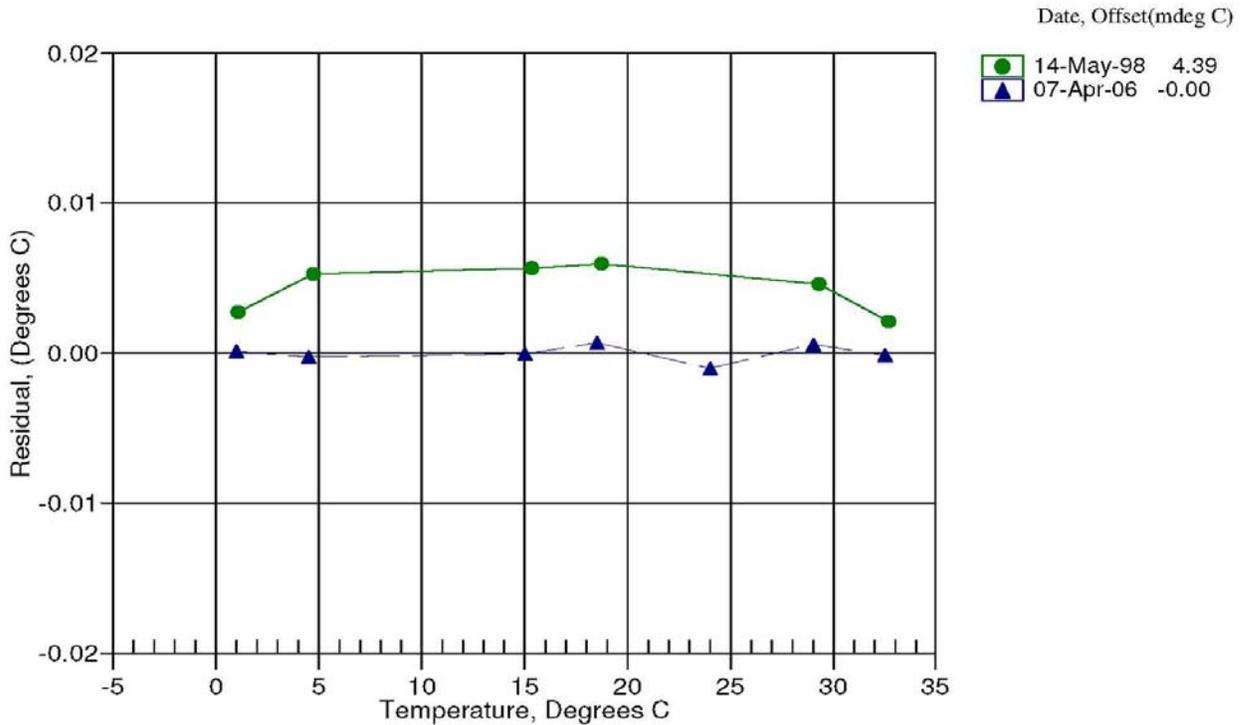
BATH TEMP (ITS-90)	INSTRUMENT FREQ (Hz)	INST TEMP (ITS-90)	RESIDUAL (ITS-90)
1.0000	2400.959	1.0001	0.00013
4.4999	2596.824	4.4997	-0.00024
14.9999	3251.528	14.9999	-0.00005
18.5000	3493.275	18.5007	0.00070
23.9999	3897.901	23.9989	-0.00099
29.0000	4293.444	29.0006	0.00059
32.5000	4586.281	32.4999	-0.00014

Temperature ITS-90 = $1/[g + h[\ln(f_0/f)] + i[\ln^2(f_0/f)] + j[\ln^3(f_0/f)]] - 273.15$ (°C)

Temperature ITS-68 = $1/[a + b[\ln(f_0/f)] + c[\ln^2(f_0/f)] + d[\ln^3(f_0/f)]] - 273.15$ (°C)

Following the recommendation of JPOTS: T_{68} is assumed to be $1.00024 * T_{90}$ (-2 to 35 °C)

Residual = instrument temperature - bath temperature





SEA-BIRD ELECTRONICS, INC.

1808 136th Place N.E., Bellevue, Washington, 98005 USA

Phone: (425) 643 - 9866 Fax (425) 643 - 9954 Email: seabird@seabird.com

SENSOR SERIAL NUMBER: 2249
CALIBRATION DATE: 07-Apr-06

SBE19 CONDUCTIVITY CALIBRATION DATA
PSS 1978: C(35,15,0) = 4.2914 Siemens/meter

GHIJ COEFFICIENTS

g = -4.02744781e+000
h = 4.80302214e-001
i = 1.260911116e-003
j = -2.94962296e-005
CPcor = -9.5700e-008 (nominal)
CTcor = 3.2500e-006 (nominal)

ABCDM COEFFICIENTS

a = 5.57001486e-002
b = 4.19625901e-001
c = -4.00752836e+000
d = -1.04132138e-004
m = 2.1
CPcor = -9.5700e-008 (nominal)

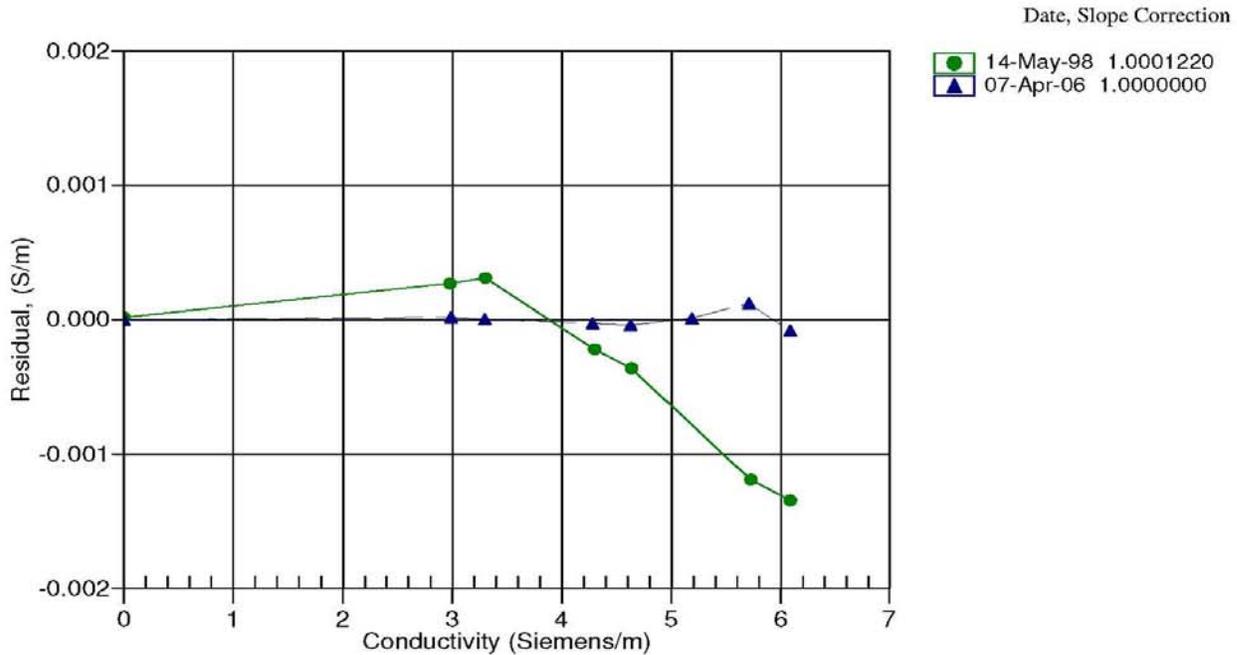
BATH TEMP (ITS-90)	BATH SAL (PSU)	BATH COND (Siemens/m)	INST FREQ (kHz)	INST COND (Siemens/m)	RESIDUAL (Siemens/m)
22.0000	0.0000	0.00000	2.88555	0.00000	0.00000
1.0000	34.9499	2.98629	8.32710	2.98631	0.00002
4.4999	34.9298	3.29437	8.69489	3.29437	0.00000
14.9999	34.8870	4.27936	9.77720	4.27933	-0.00003
18.5000	34.8779	4.62566	10.12991	4.62562	-0.00004
23.9999	34.8682	5.18548	10.67523	5.18549	0.00001
29.0000	34.8631	5.70912	11.16097	5.70924	0.00012
32.5000	34.8600	6.08275	11.49461	6.08267	-0.00008

Conductivity = (g + hf² + if³ + jf⁴) / 10(1 + δt + εp) Siemens/meter

Conductivity = (af^m + bf² + c + dt) / [10 (1 +εp) Siemens/meter

t = temperature[°C]; p = pressure[decibars]; δ = CTcor; ε = CPcor;

Residual = (instrument conductivity - bath conductivity) using g, h, i, j coefficients



ANEXO 2

**Criterios para la
descripción de las
condiciones
oceanográficas en la zona
de estudio**



Uno de los análisis de la condición oceanográfica superficial estacional de la zona de estudio, hace uso de valores de anomalía de temperatura y salinidad obtenidos de los datos de cruceo y de promedios de datos históricos para el mes. Así, los valores de estas variables, registrados en el sector oceánico de la zona de estudio y que comprenden el rango $\pm 1^{\circ}\text{C}$ y $\pm 0,1$ psu, respectivamente, no son significativos, ya que están en el rango de 1 desviación estándar, por lo tanto, se encuentran dentro lo que se considera como variación normal del sistema. En el caso del sector costero, en promedio, éste rango aumenta al doble, es decir $\pm 2^{\circ}\text{C}$ y $\pm 0,2$ psu.

La importancia de identificar un proceso local como generador de anomalías térmicas y salinas a nivel superficial radica en que éstos pueden abarcar un área menor de la zona de estudio dentro de un período de tiempo que va de horas a meses. Como procesos locales de corta duración (horas a días), se puede indicar el viento, el cual gobierna la intensidad de la surgencia y el espesor de la capa de mezcla. En los de mayor duración (semanas a meses), se encuentran los giros de mesoescala que provocan ascensos o hundimientos de agua y que afectan la distribución vertical de las variables físicas y químicas, incluso hasta profundidades mayores a 500 m (Narváez, 2000), definiendo también la distribución de oxígeno y la producción fitoplanctónica. Los procesos que provocan los cambios señalados se pueden clasificar como de procesos locales de frecuencia intraestacional.

Procesos no locales en la zona de estudio, como lo son el paso de ondas atrapadas a la costa (OAC), pueden producir cambios en el valor de la TSM en la frecuencia intraestacional (Hormazabal, *et al.*, 2001). Las características del muestreo y la información recopilada durante los cruceos no permiten distinguir el paso de las OAC.

El uso de promedios de temperatura y salinidad provenientes de una serie de datos de más de 30 años (Braun *et al.*, 2002), obtenidos mediante la metodología descrita por Blanco *et al.* (2001), como también la utilización de un criterio de "anomalía significativa" y el análisis de otras variables complementarias busca distinguir condiciones oceanográficas que pueden denominarse "anormales" para la zona y que pueden afectar la distribución y abundancia de los recursos pesqueros. Por la tanto, no solo se busca cuantificar la variación de una variable sino también distinguir el proceso que origina las anomalías, tanto las significativas como las que no lo son.

A N E X O 3

**Personal participante
por actividad**



PERSONAL PARTICIPANTE POR ACTIVIDAD

Hernán Reyes R.	Oceanógrafo Oceanografía, Participación Crucero, toma de datos, procesamiento muestras de salinidad, análisis de información histórica, preparación de informe.
Gabriel Claramunt Q.	Biólogo Marino, Ms. En Pesquerías. UNAP Coordinador general UNAP.
Rodolfo Serra	Biólogo Marino Evaluación y análisis
Victor Catasti B.	Ingeniero Pesquero Participación crucero, asociación con huevos de anchoveta y variables oceanográficas, SIG, preparación de informe.
Mauricio Braun A.	Biólogo Jefe de Proyecto, procesamiento y análisis de datos ictioplancton, análisis de información histórica, coordinación general y preparación de informe.
Juan Saavedra N.	Ingeniero Estadístico Análisis estadístico y Modelamiento estadístico de la densidad de huevos de anchoveta asociado a variables ambientales.
Rosalino Fuenzalida	Oceanógrafo Oceanografía.
Vivian Valenzuela C.	Biólogo Marino Recolecta de muestras de ictioplancton, Coordinación módulo Huevos.



Carlos Mart3nez F.	Bi3logo Marino Seguimiento Pesquer3as - Par3metros de adultos.
Paola Moreno	Bi3logo M3dulo Huevos.
Eduardo D3az	Bi3logo Marino Reproducci3n.
Carlos Gaspar	Coordinador M3dulo Adultos
Elisa Pizarro	Tecn3logo - Clorofila - <i>a</i>
Guillermo Galindo P.	T3cnico – M3dulo Huevos Jefe de crucero, recolecci3n muestras de ictioplancton.
Manuel Rojas	T3cnico Marino Crucero M3dulo Huevos
Cristian Barraza	T3cnico Crucero M3dulo Huevos
Pedro Pizarro	Bi3logo Pesquero Par3metros Adultos



HORAS/HOMBRE POR ACTIVIDAD PRINCIPAL

Monitoreo reproductivo

PERSONAL (*)	MUESTREO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
Carlos Martínez F.			40	20	60
Eduardo Díaz		60			60
Técnico Lab		60			60
Luis Garcia	90				90
Luis Quintana	90				90
Juan Ballet	90				90
Paolo Pasten	90				90
Juan Almazabal	90				90
TOTAL	450	120	40	20	630

(*) Aporte IFOP

Objetivo Específico 2.1.1

ACTIVIDADES					
PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Mauricio Braun A.	16	18	33	35	102
Vivian Valenzuela C.	184	50	40	38	312
Victor Catasti B.	180	10	10	4	204
Cristian Barraza C.	180				180
Manuel Rojas	94				94
Guillermo Galindo P.	180				180
UNAP					
Paola Moreno		160	25	20	205
Gabriel Claramunt			40	40	80
Yasna Muñoz		320			320
Cristian Azocar		320			320
TOTAL	834	878	148	137	1997

**Objetivo Específico 2.1.2**

ACTIVIDADES					
PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Hernán Reyes	184	13	40	14	251
Milena Pizarro	180	10	30	16	236
Victor Catasti	180	8	16	7	211
Juan Saavedra		16	46	15	77
UNAP					
Rosalino Fuenzalida			50	50	100
Gabriel Claramunt			10	10	20
TOTAL	544	47	192	112	895

Objetivo Específico 2.1.3

ACTIVIDADES					
PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Mauricio Braun			39	20	59
Eduardo Díaz		5	9		14
Carlos Gaspar		32			32
Luis García	120				120
Luis Quintana	120				120
Juan Ballet	120				120
Juan Almazabal	120				120
Pilar Paez	120				120
Paolo Pasten	120				120
UNAP					
Gabriel Claramunt			20	20	40
Pedro Pizarro		20	20	10	50
Yasna Muñoz		40			40
TOTAL	720	97	88	50	955

**Objetivo Específico 2.1.4**

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Mauricio Braun A.		15	75	20	110
Viivian Valenzuela C.		12	18		30
Juan Saavedra N.			24	5	29
Rodolfo Serra B.			14	10	24
UNAP					
Gabriel Claramunt			40	50	90
Paola Moreno			25	20	45
TOTAL		27	196	105	328

Objetivo Específico 2.1.5

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Mauricio Braun A.		12	8	18	38
Eduardo Díaz		4	8	4	16
Juan Saavedra N.			24	5	29
Carlos Martínez F.			20	5	25
Rodolfo Serra B.			16	10	26
UNAP					
Gabriel Claramunt				20	20
José Sánchez			140	20	160
Pedro Pizarro		20	10	10	40
Yasna Muñoz		300			300
Cristián Barría		300			300
TOTAL		636	226	92	954



Objetivo Específico 2.1.6

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Mauricio Braun A.			20	18	38
Eduardo Díaz.			8	6	14
Juan Saavedra N.			14	5	19
Carlos Martínez F.			14	10	24
UNAP					
Gabriel Claramunt			10	10	20
Pedro Pizarro		20	10	10	40
Yazna Muñoz		120			120
TOTAL		140	76	59	275

Objetivo Específico 2.1.7

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Mauricio Braun A.			17	12	29
Rodolfo Serra		6	4	5	15
Juan Saavedra N.			12	10	22
UNAP					
Gabriel Claramunt			40		40
TOTAL		6	73	27	106



Objetivo Específico 2.1.8

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Mauricio Braun A			15	15	30
Vivian Valenzuela C		8	12	6	26
Hernán Reyes R.		10	27	22	59
Víctor Catasti B.		5	15	15	35
Juan Saavedra N.			15	10	25
UNAP					
Gabriel Claramunt			40	20	60
Rosalino Fuenzalida			40	20	60
Paola Moreno				20	20
TOTAL		23	164	128	315

ANEXO 4

**Criterios para la
delimitación del área de
desove en la aplicación
del MPDH para la
estimación de la biomasa
desovante de anchoveta
en la zona norte de Chile**



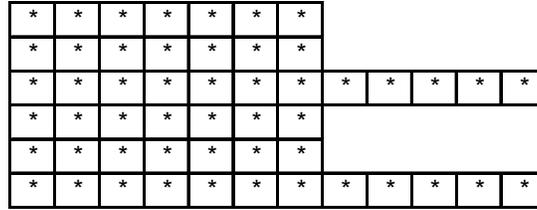
1. Diseño de muestreo de plancton y cobertura espacial

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

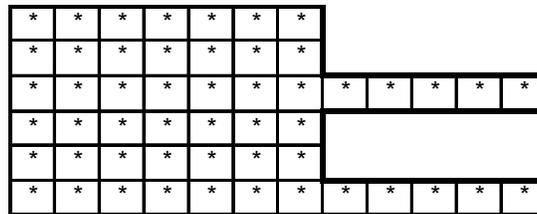
La distancia entre estaciones que se recomienda debe ser de 3 a 5 millas náuticas. El número de estaciones de muestreo dependerá básicamente del nivel de precisión deseado, de la varianza de la variable de interés y del error que se está dispuesto a asumir. Para tal decisión, se puede utilizar como variable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

2. Delimitación del área de estudio

El área de estudio o área de crucero (que para este efecto son sinónimos), debe ser delimitada a través de los contornos de las estaciones muestreadas, sin realizar interpolaciones inter-transectas, lo que se puede traducir en la suma aritmética de las áreas que representa cada estación de muestreo. Por ejemplo, si el diseño de muestreo establece transectas cada 10 mn, con estaciones cada 5 mn dentro de la transecta, se deberá realizar la sumatoria del área de cobertura de las estaciones muestreadas, en este caso de 50 mn². Por ejemplo, si la disposición de las estaciones de muestreo en seis transectas, se diagrama a través de la siguiente figura:



El c3lculo del 3rea de crucero debiera corresponder a la sumatoria de las 3reas representadas por cada estaci3n de muestreo, sin realizar interpolaciones entre las transectas m3s largas, de forma tal, que el 3rea delimitada se pueda diagramar de la siguiente manera:



De este modo las transectas largas (en general fuera de las 30 mn) conservan el 3rea de las transectas costeras.

El principio fundamental para la delimitaci3n del 3rea de estudio esta basado en el dise1o de muestreo propuesto, el cual considera estaciones equidistantes dentro de una transecta, las cuales son representativas del 3rea adyacente. Es decir, estaciones cada 5 mn, representan un 3rea de 25 mn² cuando la distancia entre transectas es de 5 mn, mientras que cuando la separaci3n entre 3stas es de 10 mn, la estaci3n representa un 3rea de 50 mn².



3. Delimitaci3n del 3rea de desove

En los distintos estudios se han utilizado diversos criterios para la delimitaci3n del 3rea de desove, los que en general han expandido el 3rea de desove a sectores no cubiertos por el muestreo (por ejemplo interpolaciones entre las transectas de 60 mn), cuyas consecuencias redundan en que las comparaciones de las estimaciones de biomazas entre un a3o y otro tengan ciertas restricciones.

Existen diversos criterios que se podr3an utilizar para la delimitaci3n del 3rea de desove del recurso en estudio:

- a) Considerar el 3rea que cumple con las condiciones oceanogr3ficas requeridas para el desarrollo del proceso de desove, como la temperatura y la oferta tr3fica del 3rea, entre otras.
- b) Plantear que el proceso de muestreo de ictioplancton debe delimitar el 3rea de desove, en funci3n de la presencia o ausencia de huevos de la especie objetivo del estudio.

Bas3ndose en la alternativa b), se propone que los c3lculos del 3rea de desove se ci3nan a los siguientes principios, los cuales dan lugar al criterio que se le llamar3 estructural o de l3mite inferior.

CRITERIO ESTRUCTURAL O DE L3MITE INFERIOR

- Al interior de una transecta, los l3mites estar3n establecidos por las estaciones positivas, es decir, aquellas estaciones con presencia de huevos



de la especie en estudio. Si al interior de una transecta existen estaciones negativas entre positivas, se considerar3 un m3ximo de tres estaciones negativas. De este modo, si se tienen dos transectas como las mostradas a continuaci3n, donde aquellas con signo (+) representan una estaci3n positiva:

+					+	+					
+	+	+				+	+	+			

el 3rea de desove queda delimitada de la siguiente forma:

+					+	+					
+	+	+				+	+	+			

Este criterio se basa en los resultados obtenidos del an3lisis geoestadístico de la densidad de huevos encontrada durante el ańo 2000, el cual, segun los modelos ajustados al variograma experimental, entrega una regi3n de influencia (rango) de 23,4 mn (Taller interno, Proyecto FIP 2000-06). Esto quiere decir que en promedio, las observaciones m3s distanciadas de este valor no presentan correlaci3n. As3, se puede establecer que si entre dos estaciones positivas existe un m3ximo de tres estaciones negativas, 3stas se encontrar3an en la regi3n de influencia de las estaciones adyacentes.

Si bien pueden existir diferencias en la regi3n de influencia entre un ańo y otro, se sugiere mantener el criterio de un m3ximo de 3 estaciones negativas entre dos positivas para hacer comparables las estimaciones entre un ańo y otro.

No se realizar3n interpolaciones entre transectas cuando exista un 3rea no muestreada entre ellas. Esto se debe a que el tiempo entre estaciones de distintas transectas puede llegar a superar las 24 horas, lo que para la duraci3n del estadio de huevo de la anchoveta (de no m3s de 72 horas) es una fracci3n importante.



CRITERIO FUNCIONAL O DE INTERPOLACION

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

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

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

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

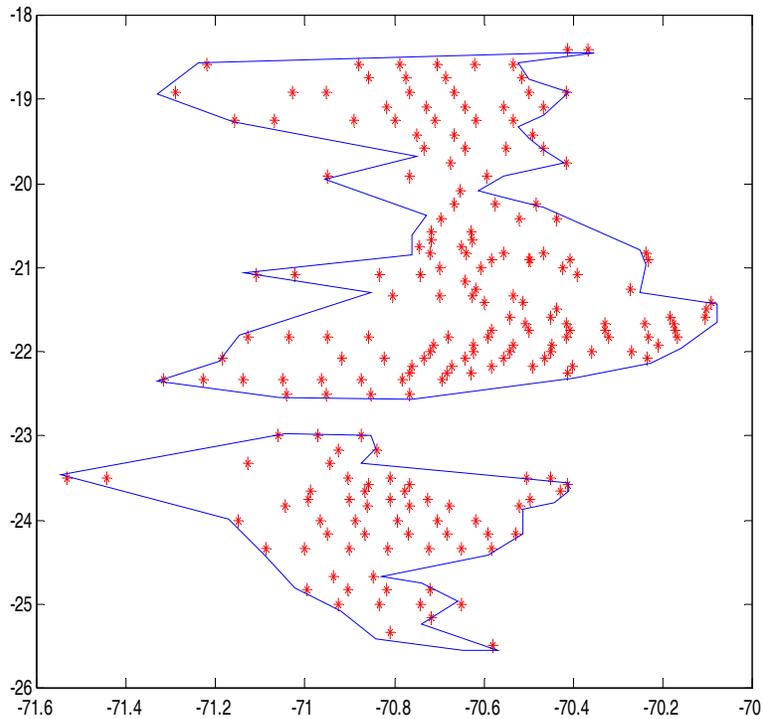


Figura 1. Polígono delimitando el área de desove de anchoveta en la zona norte de Chile, 2000.

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

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

ANEXO 5

**Taller Metodológico
Aplicaciones MPH
Zona Norte de Chile**



Como un objetivo dentro del proyecto se encuentra la realizaci3n de un taller metodol3gico de la evaluaci3n del stock desovante de anchoveta mediante el MPDH.

En el taller se discutieron y aplicaron distintas metodologías para la estimaci3n de la producci3n diaria de huevos (P_0) y la tasa diaria de mortalidad instantánea de los huevos, utilizando un conjunto de paquetes para el análisis de ictioplancton, bajo el software estadístico de análisis R (R Development Core Team, 2006).

El taller se realizo desde el 8 al 12 de enero de 2007 en conjunto con el proyecto FIP 2006-38, “Mejoramiento del Método de Producci3n Diaria de Huevos Aplicado en Pelágicos Pequeños”, donde participaron los equipos de trabajo de ambos proyectos supervisados por el Dr. Miguel Bernal.

Desde los días 8 al 12 de enero de 2007, se realizó el taller de trabajo de los proyectos FIP 2006-38 y 2006-06, con el objeto de aplicar mejoras metodol3gicas al método de producci3n diaria de huevos, en el marco de las aplicaciones desarrolladas por investigadores europeos. En este contexto se realizó el programa de trabajo, con la supervisi3n del Dr. Miguel Bernal, quien ha sido el principal gestor de las rutinas computacionales para la estimaci3n de parámetros involucrados en el MPH.

Participantes

Instituto Espa3ol de Oceanografía

- Miguel Bernal, Instituto Espa3ol de Oceanografía - I.E.O. Estaci3n Pesquera de Cádiz, Centro Andaluz de Ciencia y Tecnología CACYTMAR, República Saharahui s/n, Campus Río San Pedro, 11510 Puerto Real, Cádiz, Espa3a. E-mail: miguel.bernal@cd.ieo.es



Instituto de Fomento Pesquero

- Rodolfo Serra, Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso. E-mail: rserra@ifop.cl
- Vivian Valenzuela, Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso. E-mail: vvalenzuela@ifop.cl
- Juan Carlos Saavedra, Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso. E-mail: jsaavedra@ifop.cl

Universidad Arturo Prat

- Gabriel Claramunt. Departamento de Ciencias del Mar, Universidad Arturo Prat, Iquique. E-mail: gabriel.claramu@unap.cl
- Paola Moreno, Departamento de Ciencias del Mar, Universidad Arturo Prat, Iquique.

Universidad de Concepción

- Luis Cubillos, Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción. E-mail: lucubillos@udec.cl
- Katty Riquelme, Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción. E-mail: kriquelm@udec.cl



Programa de Trabajo

Lunes, 8 de enero de 2007

Expositor: Gabriel Claramunt

- Presentación general del Método de Producción de Huevos (MPH) aplicado en Chile.
- Resultados de los experimentos de tasas de desarrollo de huevos en función de la temperatura realizados en Chile.
- Asignación de edad a huevos.
- Metodologías aplicadas en Chile para estimar la Producción diaria de huevos.

Martes, 9 de enero de 2007

Expositor: Miguel Bernal

- Asignación probabilística de la edad. Teoría y aplicación.
- Trabajo práctico con datos de Chile.

Miércoles, 10 de enero de 2007

Expositor: Miguel Bernal

- Continuación trabajo práctico.
- Modelos Aditivos generalizados (GAM) para modelar la distribución de huevos y la producción diaria de huevos.
- Trabajo práctico en GAM.

Jueves, 11 de enero de 2007

Expositor: Miguel Bernal

- Continuación trabajo práctico.
- Estimación de Biomasa por parámetros estimados por GAMs y su varianza.
- Trabajo práctico.

Viernes, 12 de enero de 2007

Expositor: Miguel Bernal



- Continuación trabajo práctico.
- Discusión final y conclusiones.
- Planificación reestimaciones parámetros y comparación con estimados anteriores.

Resultados del Taller

En la actualidad se cuenta con mejoras metodológicas importantes al MPDH, las que han sido desarrolladas por investigadores europeos. En este taller se logro un avance importante en la aplicación de estas metodologías, conjugando la comprensión en el desarrollo teórico que las sustenta junto a la utilización de la herramienta computacional desarrollada para su aplicación.

El aspecto más relevante del Taller realizado es la adaptación y aplicación de modernas metodologías para la asignación de edad a los huevos de anchoveta. Es así que durante el Taller se trabajó con la información de experimentos de incubación de huevos a temperaturas controladas, lo que permitió ajustar tres modelos de desarrollo en función de la temperatura: El Modelo clásico de Lo (1985); un modelo basado en GLM y el modelo multinomial desarrollado por M. Bernal. En función de estos tres modelos se trabajó posteriormente en la metodología de datación (asignación de edad) de los huevos y en la estimación de producción diaria de huevos bajo los tres enfoques.

Las rutinas en R adaptadas específicamente para la problemática de la zona norte de Chile, están disponibles para su aplicación, lo que deja a Chile en relación al Método de Producción de Huevos a la vanguardia a nivel mundial.

Se destaca que gran parte de los tópicos abordados serán incorporados y aplicados en la problemática general de la producción diaria de huevos de anchoveta para el año 2007.



Bibliografía

Bernal, M. 1999. A likelihood model and a new ageing procedure for improving the daily egg production estimates in species with fast-developing eggs. M. Sc. thesis, University of St. Andrews, St. Andrews, Scotland.

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.

Borchers, D.L., S.T. Buckland, I.G. Priede, and S. Ahmadi. 1997. Improving the precision of the daily egg production method using generalized additive models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54: 2727 –2742.

Ibaibarriaga L., M. Bernal, L. Motos, A. Uriarte, D.L. Borchers, M.E. Lonergan, and S.N. Wood. 2005. Estimation of development properties of stage-classified biological processes using multinomial models: a case study of Bay of Biscay anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.) egg development. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1–23.

R Development Core Team (2006). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

ANEXO 6

**Base de datos,
Informe final y
Resumen ejecutivo
FIP N° 2006-06
(en CD)**





INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO
Blanco 839, Fono 56-32-2322000
Valparaíso, Chile
www.ifop.cl
